

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет»

**ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ:  
ТЕОРИЯ, ИНСТРУМЕНТЫ, ПРАКТИКА**

Материалы X Международной  
интернет-конференции молодых ученых,  
аспирантов, студентов  
(20 ноября – 31 декабря 2018 г.)

Издательство  
Пермского национального исследовательского  
политехнического университета  
2019

Представлены работы молодых ученых, аспирантов, а также лучшие работы студентов.

Конференция посвящена вопросам системных исследований и моделирования информационно-измерительных и управляющих систем, систем телекоммуникации и связи, энергетики и энергоресурсосбережения, информационных технологий и средств автоматизации, аппаратно-программного обеспечения информационно-управляющих систем.

Публикуемые результаты исследований могут быть интересны молодым исследователям, преподавателям и специалистам, интересующимся теоретическими и прикладными разработками в данной предметной области.

**Редакционная коллегия:**

*А.М. Костыгов*, доцент, канд. техн. наук;

*Б.В. Кавалеров*, доцент, д-р техн. наук;

*Д.К. Елтышев*, доцент, канд. техн. наук (отв. редактор);

*А.Б. Петроченков*, доцент, канд. техн. наук;

*Н.М. Труфанова*, профессор, д-р техн. наук;

*Р.А. Файзрахманов*, профессор, д-р экон. наук;

*А.Г. Щербинин*, профессор, д-р техн. наук;

*А.А. Южаков*, профессор, д-р техн. наук

**Рецензент**

Заслуженный деятель науки РФ, заслуженный машиностроитель Республики Башкортостан, доктор техн. наук, профессор кафедры автоматизированных систем управления Уфимского государственного авиационного технического университета *Г.Г. Куликов*

**Секция 1**

**НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ**

## **АВТОМАТИЧЕСКОЕ ОФОРМЛЕНИЕ СПИСКА ЛИТЕРАТУРЫ СОГЛАСНО ГОСТ Р 7.0.5–2008 И REFERENCES**

**Д.А. Алешкова, А.С. Александрова**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

В данной статье рассматривается задача корректного и быстрого оформления библиографического списка. Представлена разработанная программа, автоматизирующая процесс оформления библиографических ссылок на источники заимствования информации согласно ГОСТ Р 7.0.5–2008, а также формирующая соответствующую запись для References.

**Ключевые слова:** список литературы, библиографическая ссылка, ГОСТ Р 7.0.5–2008, References.

## **AUTOMATIC EDITING OF THE LIST OF LITERATURE ACCORDING TO GOST R 7.0.5–2008 AND REFERENCES**

**D.A. Aleshkova, A.S. Aleksandrova**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

This article deals with the task of correct and quick bibliography edit. A developed program is presented. The program automates the process of bibliographic references to sources of borrowing information editing in accordance with GOST R 7.0.5–2008, as well as forming a record for References.

**Keywords:** bibliography, bibliographic reference, GOST R 7.0.5–2008, References.

Для студенческих и научных работ требуется правильное оформление списка литературы, ссылок и библиографических сносок. При написании научных работ автор обязан давать ссылки на источник заимствования информации. Именно библиографическая ссылка подтверждает фактическую достоверность работы, дает возможность разыскать цитируемый документ [1].

Одним из обязательных требований, предъявляемых сегодня к научной статье, представляемой для публикации в научном журнале международного уровня, является References. References – это список литературы на английском языке. Считается, что такой список позволяет широкой читательской аудитории ознакомиться с литера-



турными источниками, использованными при подготовке статьи, узнать о текущем состоянии исследований по проблеме, выделить наиболее авторитетных исследователей в данной области [2].

Самостоятельное составление библиографических ссылок отбирает у автора немало времени и сил, при этом он должен знать все правила и нормы оформления списка литературы. Разработанная программа автоматизирует формальные этапы этого процесса, обеспечивает оформление литературных ссылок согласно ГОСТ Р 7.0.5–2008 и правилам оформления References [2]. Программа предназначена для авторов статей научных журналов Пермского национального исследовательского политехнического университета. Интерфейс программы представлен в нескольких диалоговых окнах. Главное окно программы «Выбор источника» предлагает выбрать тип источника (рис. 1).

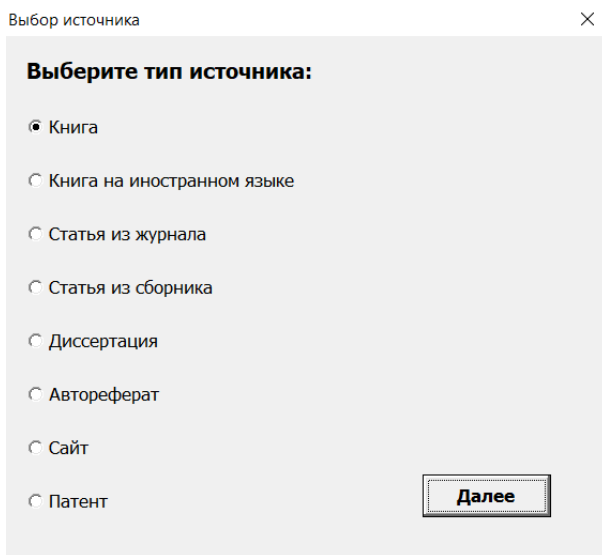


Рис. 1. Диалоговое окно «Выбор источника»

В зависимости от выбора выдается соответствующее типу источника диалоговое окно, содержащее необходимые для заполнения разделы. Например, при выборе типа источника *книга* открывается форма «Книга», где необходимо уточнить некоторую информацию об источнике и нажать кнопку «Далее» (рис. 2).

Книга

**Выберите необходимые объекты:**

Количество авторов:—

1-3 автора  Наличие дополнительных сведений (монография / учебник / уч.пособие)

4 автора и более  Наличие сведений об ответственности (под ред. В.В. Иванова / под общ. ред. Ю.М. Давыдова, М. К. Потапова / ФГУ НИИТО)

Без автора  Наличие номера издания (2-е)

**Далее**

Рис. 2. Диалоговое окно «Книга»

Далее в окне отобразятся поля, необходимые для заполнения. Например, для оформления литературной ссылки на книгу В.В. Васильева, В.Д. Протасова, В.В. Болотина, Н.А. Алфутова «Композиционные материалы» после выбора типа источника *книга* откроется диалоговое окно «Книга», где необходимо указать, что источник имеет 4 автора и более и содержит сведения о редакторах.

После нажатия кнопки «Далее» необходимо ввести данные об источнике в поля ввода (рис. 3) и нажать на кнопку «Сформировать литературную ссылку». При установке галочки References отображается кнопка «Сформировать References». Полученный результат можно копировать и вставлять в список литературы (см. рис. 3).

**Выберите необходимые объекты:**

Количество авторов:

1-3 автора  Наличие дополнительных сведений (монография / учебник / уч.пособие)

4 автора и более  Наличие сведений об ответственности (под ред. В.В. Иванова / под общ. ред. Ю.М. Давыдова, М. К. Потапова / ФГУ НИИТО)

Без автора  Наличие номера издания (2-е)

**Далее**

Введите первого автора: (В.В. Иванов)

Название: (Композиционные материалы)

Город издания: (Пермь / Санкт-Петербург)

Издательство: (Эксперимент / Изд-во Политех. ун-та)

Сведения об ответственности:

под ред. (В.В. Иванова)

под общ. ред. (Ю.М. Давыдова, М.К. Потапова)  в. в. васьильева, ю. н. тарнопольского

другое (ФГУ НИИТО)

**Примечание! Фамилии редакторов пишутся в родительном падеже.**

Год издания: (2005)

Количество страниц: (250)

**Сформировать литературную ссылку** **Сбросить**  **References**

Композиционные материалы / В.В. Васильев [и др.]; под общ. ред. В.В. Васильева, Ю.М. Тарнопольского. — М.: Машиностроение, 1990. — 512 с.

Введите название на английском языке: (Composite materials)

**Сформировать References**

VasFev V.V. et al. Kompozitsionnye materialy [Composite materials]. Eds. V.V. VasFev, Ju.M. Tarnopol'ski. Moscow, Mashinostroenie, 1990, 512 p.

Рис. 3. Формирование библиографической ссылки на книгу В.В. Васильева, В.Д. Протасова, В.В. Болотина, Н.А. Алфутова «Композиционные материалы»

Для книги В.В. Васильева, В.Д. Протасова, В.В. Болотина, Н.А. Алфурова «Композиционные материалы» получены следующие записи:

– Композиционные материалы / В.В. Васильев [и др.]; под общ. ред. В.В. Васильева, Ю.М. Тарнопольского. – М.: Машиностроение, 1990. – 512 с.

– Vasil'ev V.V. et al. Kompozitsionnye materialy [Composite materials]. Eds. V.V. Vasil'ev, Yu.M. Tarnopol'skii. Moscow, Mashinostroenie, 1990, 512 p.

Таким образом, в программе формализованы основные этапы оформления библиографического источника в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5–2008 и соответствующего ему пункта References.

### **Библиографический список**

1. Ильина И.В. Правила оформления списка литературы и References // Вестник Тамбов. ун-та. Сер. Гуманитарные науки. – Тамбов, 2016. – Т. 21, вып. 12(164). – С. 178–184. DOI: 10.20310/1810-0201-2016-21-12(164)-178-184

2. Правила оформления References в научном журнале: метод. пособие / сост. П.С. Волегов, В.В. Мальцева, Е.М. Сторожева, А.М. Щелудяков. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2017. – 23 с.

### **Сведения об авторах**

**Алешкова Дарья Андреевна** – студентка Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: [dasha221109@gmail.com](mailto:dasha221109@gmail.com)

**Александрова Анна Сергеевна** – старший преподаватель кафедры «Оборудование и автоматизация химических производств» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: [boyarshinovaann@gmail.com](mailto:boyarshinovaann@gmail.com)

### **About the authors**

**Aleshkova Daria Andreevna** – Student Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: [dasha221109@gmail.com](mailto:dasha221109@gmail.com)

**Aleksandrova Anna Sergeevna** – Senior Lecturer department of equipment and automation of chemical production Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: [boyarshinovaann@gmail.com](mailto:boyarshinovaann@gmail.com)

## МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИЕЙ

**М.Н. Апталаев, С.А. Зыкин**

Лысьвенский филиал Пермского национального исследовательского  
политехнического университета, Лысьва

В статье рассмотрена математическая модель эффективности системы управления образовательной организацией, выполненная на основе модели делового совершенства EFQM. Представлены и описаны критерии и показатели оценки эффективности управленческих решений в организации.

**Ключевые слова:** эффективность управления, модель EFQM, образовательная организация, управленческое решение.

## MODEL FOR EFFICIENCY ASSESSMENT OF THE EDUCATIONAL ORGANIZATION MANAGEMENT

**M.N. Aptalaev, S.A. Zykin**

Lysvas branch Perm National Research Polytechnic University, Lysva

The article considers a mathematical model of the educational organization management system effectiveness, maked on the basis of the EFQM business excellence model. Presented and described the criteria and indicators for evaluating the management decisions effectiveness in the organization.

**Keywords:** management efficiency, EFQM model, educational organization, management decision.

В настоящее время в образовательных организациях применяются четыре стандартные модели систем качества:

1. Премия Малькольма Болдриджа в сфере образования (1999 г., США) [1].

2. Версия модели EFQM (Европейского фонда управления качеством) для сферы образования (2003 г., Европа) [2], которая объединяет девять критериев, также разделенных на две группы: возможности (лидерство, политика и стратегия, люди, партнёрство и ресурсы, процессы) и результаты (для работников, потребителей, для общества, ключевые показатели деятельности организации).

3. Стандарты ISO серии 9000 версий 1994, 2000 и 2008 гг. Начиная с 2006 г., в России действует ГОСТ Р 52614.2 – 2006 «Системы менеджмента качества. Руководящие указания по применению ГОСТ ИСО 9001 – 2000 в сфере образования».

4. Типовая модель системы качества образовательного учреждения [3], интегрирующая рекомендации для гарантии качества в европейском регионе со стороны ENQA (Европейской ассоциации гарантий качества в высшем образовании) и требования стандартов ИСО 9000 версии 2000 г.

Стандарты ISO серии 9000 являются наиболее распространенными на территории России. Типовая модель, которую рекомендует Министерство просвещения РФ для вузов России, представляет собой упрощенную версию требований стандартов ISO серии 9000. Качество образования и подходы к его определению – предмет широких общественных дискуссий в современной России. По словам Т.Г. Озерниковой и Д.В. Братищенко, «именно на повышение качества образования направлены многочисленные новации Минобрнауки РФ, включая мониторинг эффективности вузов» [4].

После внедрения системы менеджмента качества образовательная организация ищет пути совершенствования и оценки своей деятельности в сравнении с лучшими мировыми образцами. Модель EFQM Европейского фонда менеджмента качества является моделью, в соответствии с которой можно проводить самооценку и совершенствование деятельности учебного заведения. Схема модели представлена на рис. 1.

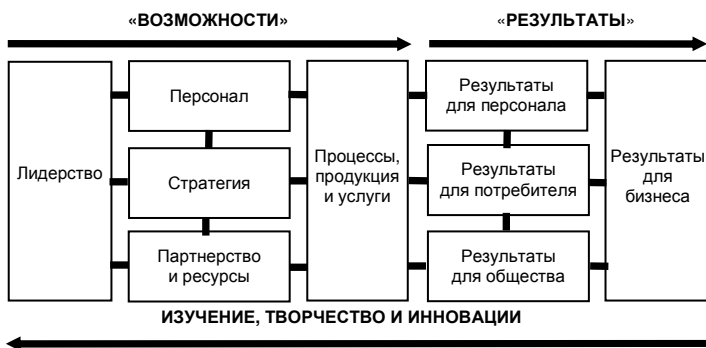


Рис. 1. Модель делового совершенства EFQM

Общеобразовательная организация как образовательная система, согласно А.Д. Новикову [5], представляется системой междисциплинарной природы и может рассматриваться как педагогическая, экономическая, социальная и организационная система. Если

в качестве базовых направлений человеческой деятельности рассматривать пять составляющих «человек – природа – общество – производство – техника», то в данное описание необходимо добавить техническую систему.

Применяя основные понятия и положения общей теории управления к общеобразовательному учреждению, объектом управления в модели системы управления образовательной организацией является «образовательный процесс» как технологический процесс формирования результата деятельности образовательной организации.

Требуется разработать модель системы управления образовательной организацией с учетом модели делового совершенства EFQM, описанной ранее. Схема разработанной модели представлена на рис. 2.

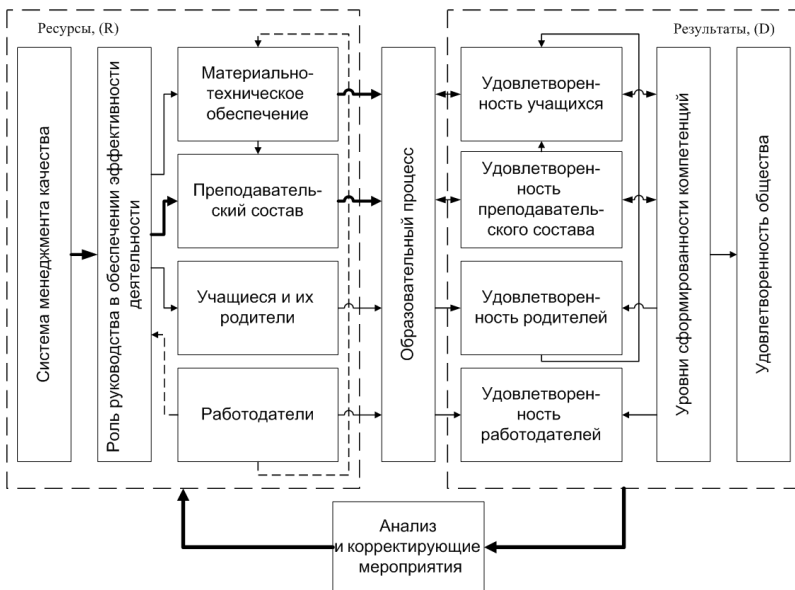


Рис. 2. Модель системы управления образовательной организацией (разработано автором)

Блоки «Ресурсы» и «Результаты» включают по четыре элемента, объединенных пунктирной линией. Неравнозначность влияния элементов друг на друга отображается толщиной и типом линий.

Устройство управления – элемент «Анализ и корректирующие мероприятия» – осуществляет в соответствии с алгоритмом управления воздействие на объект управления.

С учетом модели структуры управления общеобразовательной организацией, представленной группой ученых под руководством И.К. Гевлич [6], модель структуры управления образовательной организацией с точки зрения эффективности была приведена к виду, показанному на рис. 3.

Объектом управления в модели является образовательный процесс, управление которым осуществляется двумя контурами:

- 1) управление ресурсами ( $R$ ) организации;
- 2) управление результатами ( $D$ ) организации.

Входом модели служат два потока: ресурсы ( $R$ ) и результаты ( $D$ ). Выходом модели служит показатель  $k$ , являющийся оценочной характеристикой эффективности управления образовательным процессом в организации.

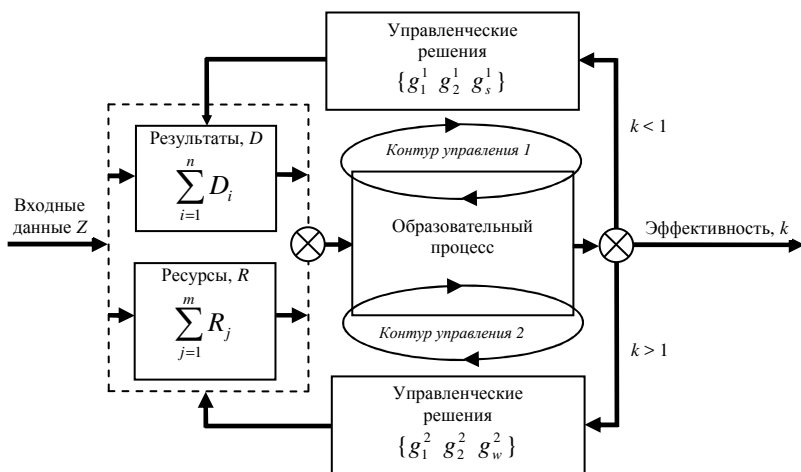


Рис. 3. Модель эффективности системы управления образовательной организацией (разработано автором)

Полагая, что эффективность деятельности образовательного учреждения  $k$  определяется как отношение полученных результатов  $D$  к затраченным ресурсам  $R$ , было получено выражение:

$$k = \frac{D}{R}. \quad (1)$$

Основываясь на ресурсном подходе, в качестве составляющих входного потока  $R$  авторами в дальнейшем будут рассматриваться следующие виды ресурсного обеспечения:

- финансовая обеспеченность ( $r_1$ );
- материально-техническая обеспеченность ( $r_2$ );
- методическая обеспеченность ( $r_3$ );
- организационная обеспеченность ( $r_4$ );
- кадровая обеспеченность ( $r_5$ );
- стимулирование ( $r_6$ );
- контингент ( $r_7$ ).

Структура входного потока  $D$  объединяет следующие элементы:

- удовлетворенность учащихся ( $d_1$ );
- удовлетворенность родителей ( $d_2$ );
- удовлетворенность преподавателей ( $d_3$ );
- удовлетворенность работодателей ( $d_4$ );
- удовлетворенность общества ( $d_5$ );
- уровень сформированности компетенций ( $d_6$ ).

Представленные выше элементы являются комплексными и включают в себя ряд показателей. Например, финансовое обеспечение рассчитывается как сумма следующих составляющих:

- доходы от собственности ( $r_{11}$ );
- доходы от оказания образовательных услуг ( $r_{12}$ );
- доходы от оказания прочих платных услуг ( $r_{13}$ );

$$r_1 = \sum_{i=1}^3 r_{1i}. \quad (2)$$

Уровень сформированности компетенций у обучающихся представляет собой интегральный показатель, включающий в себя уровни сформированности общекультурных, общепрофессиональных, профессиональных, предметных и метапредметных компетенций:

$$d_6 = \frac{\sum_{i=1}^5 c_i}{5}, \quad (3)$$

где  $c_i$  – уровень сформированности данной компетенции.

Таким образом, математическая модель управления оценки эффективности управления образовательной организацией представляет собой отношение суммы входных потоков  $D$  к сумме входных потоков  $R$ :

$$k = \lim_{s, w \rightarrow \infty} \frac{\sum_{i=1}^n D_i(g_1^1; g_2^1; \dots; g_s^1)}{\sum_{i=1}^5 R_i(g_1^2; g_2^2; \dots; g_w^2)}. \quad (4)$$



Значение показателя полученной эффективности  $k$  управленческих решений определяет дальнейший вектор управления в образовательной организации. Величину показателя эффективности можно рассматривать как в краткосрочной, так и в долгосрочной перспективе. В первом случае, если величина эффективности  $k$  равна единице, то алгоритм функционирования объекта управления оптимален и управляющие воздействия не требуются. Превышение показателем эффективности  $k$  единицы означает, что объем вложенных ресурсов меньше объема полученных достижений, следовательно, управляющие воздействия необходимо направить на увеличение объема ресурсов, в противном случае вложенных ресурсов больше, чем ожидаемых результатов, и управляющие воздействия должны в этом случае способствовать увеличению количества достижений. При долгосрочном планировании, если значение коэффициента  $k$  меньше либо равно единице, выбор управляющих воздействий аналогичен предыдущему случаю, если значение коэффициента  $k$  больше единицы, необходимо направить управляющие воздействия на увеличение вкладываемых в систему ресурсов.

Полученная модель требует доработки, в частности, необходимо провести анализ весов элементов входных потоков  $D$  и  $R$ . Тем не менее модель может служить ядром системы поддержки принятия решений в структуре управления образовательной организацией.

### **Библиографический список**

1. Иняц Н. Малая энциклопедия качества. Ч.III: Современная история качества. – М.: Стандарты и качество, 2003. – 224 с.
2. Маслов Д.В. От качества к совершенству. Полезная модель EFQM. – М.: Стандарты и качество, 2008. – 152 с.
3. Методические рекомендации по внедрению типовой модели системы качества образовательного учреждения / В.В. Азарьева, В.И. Круглов, В.В. Соболев [и др.]. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ, 2006. – 408 с.
4. Озерникова Т.Г., Братищенко Д.В. Качество образования: подходы к определению // Спрос и предложение на рынке труда и рынке образовательных услуг в регионах России : сб. докл. по материалам XI Всерос. науч.-практ. интернет-конф. / под ред. В.А. Гуртова. – Петрозаводск, 2014. – С. 154–165.

5. Новиков Д.А. Как оценивать качество образования? – URL: [http://www.anovikov.ru/artikle/kacth\\_obr.htm](http://www.anovikov.ru/artikle/kacth_obr.htm)

6. Гевлич И.К., Захаров А.А. Управление профессиональной деятельностью преподавательского корпуса образовательного учреждения // Вестник СГТУ. – Саратов, 2011. – № 4(59). – С. 228–233.

#### **Сведения об авторах**

**Апталаев Марат Назимович** – старший преподаватель кафедры «Общенаучные дисциплины» Лысьвенского филиала Пермского национального исследовательского политехнического университета, Лысьва, e-mail: aptalaev\_lfpstu@mail.ru

**Зыкин Сергей Анатольевич** – старший преподаватель кафедры «Общенаучные дисциплины» Лысьвенского филиала Пермского национального исследовательского политехнического университета, Лысьва, e-mail: serega.zykin@yandex.ru

#### **About the authors**

**Aptalaev Marat Nazimovich** – Senior Lecturer Department of General Scientific Disciplines Lysva branch of the Perm National Research Polytechnical University, Lysva, e-mail: aptalaev\_lfpstu@mail.ru

**Zykin Sergej Anatol'evich** – Senior Lecturer Department of General Scientific Disciplines Lysva branch of the Perm National Research Polytechnical University, Lysva, e-mail: serega.zykin@yandex.ru

## БЛОКЧЕЙН КАК ИННОВАЦИОННЫЙ ИНСТРУМЕНТ

**Д.О. Губин, А.В. Тарутин**

Пермский институт (филиал) Российского экономического  
университета им. Г.В. Плеханова, Пермь

Рассматривается блокчейн как одна из основных тенденций развития современных информационных и экономических технологий. Рассматривается сущность понятия «блокчейн». Приводятся примеры возможного использования технологии блокчейн в такой сфере социальной деятельности общества, как медицина. Особое внимание уделяется преимуществам и защищенности технологии блокчейн.

**Ключевые слова:** блокчейн, информационные технологии; криптовалюта, медицина.

## THE BLOCKCHAIN AS AN INNOVATIVE TOOL

**D.O. Gubin, A.V. Tarutin**

Perm Institute (branch) of the Russian Economic University  
named after G.V. Plekhanov, Perm

This article considers blockchain as one of the main trends in the development of modern information and economic technologies. The essence of the concept of blockchain is considered. Examples of the possible use of blockchain technology in such a sphere of social activity as medicine are given. Special attention is paid to the advantages and security of blockchain technology.

**Keywords:** blockchain, information technologies, cryptocurrency, medicine.

В XXI веке, когда мир оказался на пороге внедрения новых технологий, которые обязаны заменить старые, уже не справляющиеся с нуждами современного человека, приходит такой инструмент, как «блокчейн» [1]. Рассмотрим, чем же хорош и инновационен данный инструмент, и каким образом его можно применять в жизни обычных людей.

Целью исследования является получение данных о новых технологиях, которые можно внедрить в повседневную жизнь.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

1. Ознакомится с технологией в целом и обозначить её плюсы и минусы.

2. Выяснить возможность внедрения технологии в данный момент и среду её применения.

В первую очередь ознакомимся с понятием «блокчейн» и попробуем понять, как работает этот инструмент.

Блокчейн – выстроенная по определённым правилам непрерывная последовательная цепочка блоков (связный список), содержащих информацию [2]. Чаще всего копии цепочек блоков хранятся на множестве разных компьютеров независимо друг от друга. Многие относят понятие «блокчейн» к криптовалютам, но это отчасти ошибочно. Криптовалюты действительно построены на базе технологии блокчейн, тот же самый Bitcoin стал первым примером того, что можно сделать с помощью блокчейн-технологии [3]. Но данную технологию можно использовать и в совершенно других направлениях, например, в медицине. Зачем нужен блокчейн в медицине, именно на этот вопрос мы постараемся ответить.

В первую очередь, и это, пожалуй, одно из важнейших направлений, куда можно внедрить технологию блокчейн, – это наблюдение за цепочкой поставок медикаментов по всей стране. Поставки обычных лекарств в больницы будут возможны только после проверки надзорных органов и чёткого соответствия правилам закупки лекарств. Аптеки, в свою очередь, получают возможность использовать общий с медицинскими учреждениями реестр закупки лекарств, что так же будет строго отслеживаться органами надзора. Это поможет осуществлять контроль за всеми этапами покупки лекарств и доставки их до соответствующего места.

Данная система, имеющая общий реестр закупки лекарств напрямую у производителей, коснётся также и обычных людей, которые таким же образом, как и аптеки или больницы, будут покупать лекарства напрямую, минуя посредников, что впоследствии может снизить цену на приобретаемый товар. Так же любая из коробок с таблетками или ампула с лекарством будут получать уникальный цифровой номер, а человек, который будет покупать лекарства через общий реестр, – сертификат на возможность приобретения некоторых лекарств, которые продаются только по рецептам врачей. Так как сертификаты будут подтверждены надзорной инспекцией, а их уникальный цифровой номер будет занесён в базу, то их невозможно

будет подделать. Таким образом, контроль за лекарствами, имеющими наркотическое воздействие на человека или продающимися только по рецептам, будет обеспечен в полной мере.

Больницы смогут оставлять заявки на приобретение какого-либо препарата в базе, где будут находиться все производители данного препарата, что позволит создать систему конкурентного рынка. Ведь каждая из компаний будет бороться за тот или иной контракт.

Второе направление, где можно применять данную технологию, – это хранение данных пациентов. Сейчас записи о прививках и, вообще, все медицинские данные хранятся в неких электронных базах на стороне клиник. Как пользователи мы сами не имеем никаких механизмов контроля за тем, что происходит с нашими медкартами. Теоретически они могут быть переданы неизвестным нам организациям или просто потеряны в результате сбоя в системе.

Если информацию перевести в блокчейн, ситуация принципиально меняется. Можно реализовать приложение, с помощью которого пациент сам будет на время предоставлять доступ к своим данным лечащим врачам или исследовательским организациям. Он будет самостоятельно нести ответственность за доступ третьих лиц к своей медкарте, зато для него будет совершенно прозрачным, кто и каким образом ее использует.

Невозможность взломать систему и удалить данные позволяет развивать эту идею. Например, данные могут использовать страховые компании, причем исключительно с согласия клиента, т.е. любой из нас сможет предоставить им доступ к медкарте в обмен на скидку. Сейчас эти данные мы вынуждены вносить вручную, а страховщики верят нам на слово или не верят и обследуют заново.

Этому всему есть альтернативный пример: приехав в другую страну, даже если речь идет о путешествии из России в США, в случае медицинских проблем вы становитесь загадкой для врачей. Если иностранцу потребовалась операция, хирург понятия не имеет, с какими проблемами тот сталкивался раньше. Возможно, ему противопоказан наркоз. Вся информация он до сих пор должен получать со слов пациента, который может что-то забыть, соврать или быть без сознания. Ещё одно важное направление применения блокчейна – это смарт-контракты для страховщиков. Смарт-контракты – это, иными

словами, мини-программы, живущие внутри блокчейн-сети. Они выполняют определенный набор действий в зависимости от сигналов, которые поступают к ним на вход.

Для индустрии здравоохранения в этой части интересен смарт-клейм. Обычно в страховом случае нужно пройти по инстанциям, собирая подписи, а выплаты приходится ждать довольно долго. Например, если информация хранится в блокчейне, которому все доверяют, большую часть процесса можно автоматизировать. Как только записи попадают в цепочку, смарт-контракт проверяет, все ли условия выполнены, и делает выплату. Если информации не хватает, он запрашивает дополнительное исследование ситуации. Но, как и в любом внедрении новой технологии на место каких-либо старых форматов повседневности, мы можем столкнуться с трудностями.

В России миллионы сёл и деревень, где нет Интернета. Внедрение современных цифровых технологий возможно только там, где ими умеют пользоваться и есть все возможности для этого. А реальность такова, что даже в городских больницах не все врачи освоили компьютер. Но даже если эта технология охватит центры нашей страны, большие и малые города, где живут большинство людей, то это будет уже называться внедрением новой технологии, упрощающей жизнь граждан.

### **Библиографический список**

1. Галкина Л.С. К вопросу о нефитных электронных деньгах // Современная торговля: теория, практика, инновации: материалы VII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (г. Пермь, 1 ноября–15 декабря 2017 г.). – Пермь: Изд-во Перм. ин-т (филиал) РЭУ им. Г.В. Плеханова, 2017. – С. 103–108.

2. Винья П., Кейси М. Эпоха криптовалют. Как биткоин и блокчейн меняют мировой экономический порядок / пер. с англ. Э. Кондуковой. – М.: Манн, Иванов и Фербер, 2017. – 429 с.

3. Трендлеттер: Новые финансовые технологии [Электронный ресурс]. – URL: <https://issek.hse.ru/data/2016/12/16/1112515468/Layout.pdf> (дата обращения: 25.10.2018).

### **Сведения об авторах**

**Губин Дмитрий Олегович** – студент Пермского института (филиала) Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова, Пермь, e-mail: anatoliytarutin@yandex.ru

**Тарутин Анатолий Владимирович** – кандидат технических наук, доцент Пермского института (филиала) Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова, Пермь, e-mail: anatoliytarutin@yandex.ru

### **About the authors**

**Gubin Dmitriy Olegovich** – Student Perm Institute (branch) of the Russian Economic University named after G.V. Plekhanov, Perm, e-mail: anatoliytarutin@yandex.ru

**Tarutin Anatoliy Vladimirovich** – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor of Perm Institute (branch) of the Russian Economic University named after G.V. Plekhanov, Perm, e-mail: anatoliytarutin@yandex.ru

## **ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ СИСТЕМЫ РАСШИРЕННОЙ ВИБРОДИАГНОСТИКИ**

**В.С. Ковтун, А.В. Тарутин**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

В статье рассматриваются проблемы существующих SCADA-систем, приведены схема работы системы вибродиагностики TIK-RVM и результаты разработки собственной системы визуализации TIK-SCADA.

**Ключевые слова:** разработка программного обеспечения, человеко-машинный интерфейс, SCADA, WPF.

## **VISUALIZATION OF THE INDUSTRIAL SYSTEM ADVANCED VIBRATION DIAGNOSTICS**

**V.S. Kovtun, A.V. Tarutin**

Perm national research polytechnic university, Perm

The article deals with the problems of existing SCADA systems, the scheme of the system of vibrodiagnostics TIK-RVM and the results of the development of its own visualization system TIK-SCADA.

**Keywords:** software development, HMI, SCADA, WPF.

В современном мире при ведении бизнеса важную роль играет цифровая экономика. Развитие цифровой экономики эффективно влияет на внутреннюю и внешнюю среду международного бизнеса [1]. Благодаря Интернету фирмы способны реализовать собственную продукцию по всему миру, имея незначительные вложения.

Основополагающим документом развития цифровой экономики в Российской Федерации является Федеральная программа «Цифровая экономика Российской Федерации» [2]. В ней помимо целей, задач, направлений, объема и сроков реализации, основных мер государственной политики Российской Федерации по созданию необходимых условий для развития цифровой экономики Российской Федерации представлены уровни, определяющие влияние цифровой экономики на жизнь общества в целом. При этом каждое направление



развития цифровой экономики опирается как на уже имеющиеся, так и на прорывные и перспективные технологии. К основным цифровым технологиям относятся промышленные технологии, в том числе технология визуализации результатов деятельности технологического оборудования.

На каждом производстве необходим контроль состояния оборудования и, в случае возникновения критических ситуаций, удаленное изменение параметров системы. В таких случаях применяют системы сбора данных и оперативного диспетчерского управления – SCADA.

Одним из компонентов SCADA-системы является человеко-машинный интерфейс (HMI). HMI необходим для отображения состояния компонентов системы и управления ими.

Современные SCADA-системы представляют собой многослойные прикладные пакеты, в которые входят:

- система хранения данных;
- система скриптов;
- система отчетов;
- редактор мнемосхем;
- журнал действий оператора;
- набор тэгов с OPC сервера;
- просмотр трендов и прочие.

На каждую подсистему существуют свои ограничения.

Ограничение № 1. Поддержка фиксированного набора визуальных компонентов, которые не рассчитаны на конкретный случай применения.

Ограничение № 2. Сложная интеграция со сторонними системами. Инженерам АСУ ТП приходится тратить большое количество времени, чтобы встроить, например, систему отчетов по заданным шаблонам.

Ограничение № 3. Невозможность добавить пользовательские визуальные компоненты или настроить их вид в соответствии с современными тенденциями.

Ограничение № 4. Сложнореализуемая возможность добавлять в проект дополнительный незначительный функционал в виде всплывающей подсказки, контекстного меню и т.д.

Ограничение № 5. Отсутствие возможности описать полную иерархию объекта. В тэгах содержится неполная информация.

Ограничение № 6. Необходимость платить слишком большие деньги за количество доступных тэгов (1000, 3000 и т.д.). Также необходимость платить за каждого клиента.

Ограничение № 7. Визуальный компонент для отображения трендов выполнен некачественно. В каждой существующей системе есть недочеты, приходится пользоваться тем, что есть.

Ограничение № 8. Если отсутствует библиотека, разработанная 3-й стороной, то проект отказывается работать.

Перечисленные ограничения являются основополагающими в выборе SCADA-системы. Исходя из условий наличия максимально гибкого HMI и относительной дешевизны, наиболее подходящей SCADA-системой для проектирования системы расширенного вибромониторинга является МастерSCADA V3. В данной системе реализована возможность добавлять пользовательские визуальные компоненты и настраивать большинство функций, хотя и не всегда это удобно.

Но у данной системы существуют свои недостатки, а именно:

- дорогие наборы тэгов;
- долгое создание первого кадра;
- необходимость покупать ключ на каждого пользователя;
- слабая техподдержка;
- в большинстве случаев работа на 1 потоке;
- синхронное обновление всех свойств (чтобы увидеть изменения на 60-м агрегате, надо дождаться обновления всех предыдущих);
- двойная работа при формировании списка тэгов;
- отсутствие современных графических объектов, а также специфичных элементов, применимых для системы ТИК RVM;
- архитектурная сложность для отображения локального пункта управления;
- отсутствие собственной расширяемой (пополняемой) базы объектов;
- очень долгий запуск наиболее крупного проекта (20–30 мин);
- большое потребление оперативной памяти.

С учетом вышеприведенных ограничений и недостатков было принято решение на разработку собственной системы визуализации для системы расширенного вибромониторинга. Используя современные системы программирования [3–9], такая система была создана. На рис. 1–6 представлены основные результаты данного проекта.

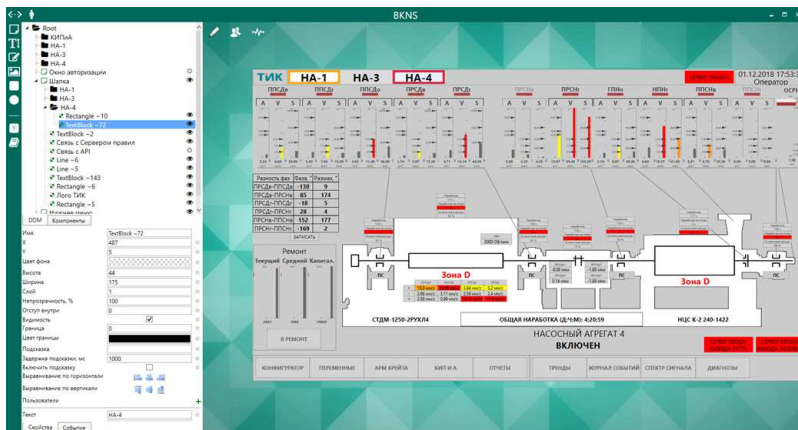


Рис. 1. Редактирование проекта

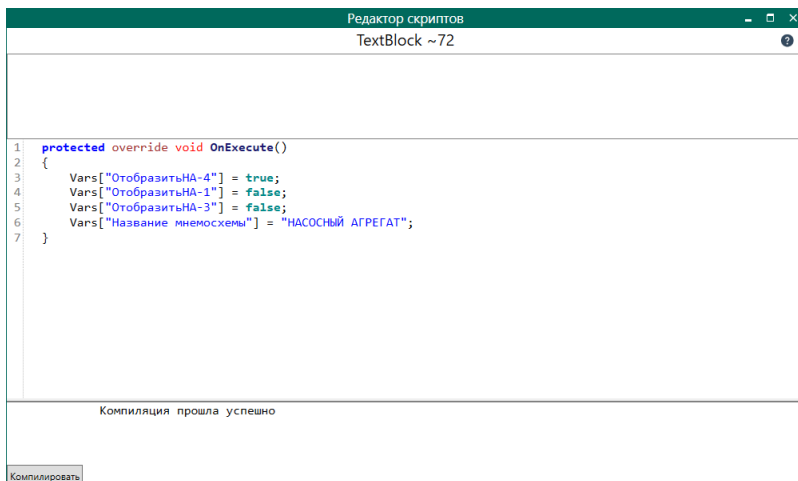


Рис. 2. Редактирование скрипта

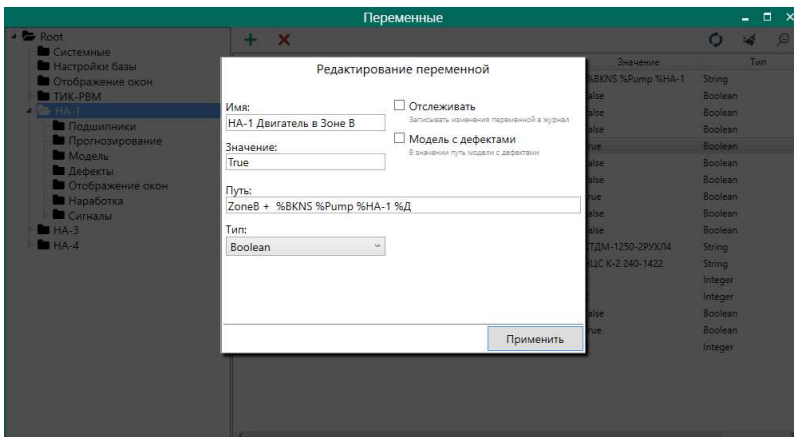


Рис. 3. Редактирование переменной

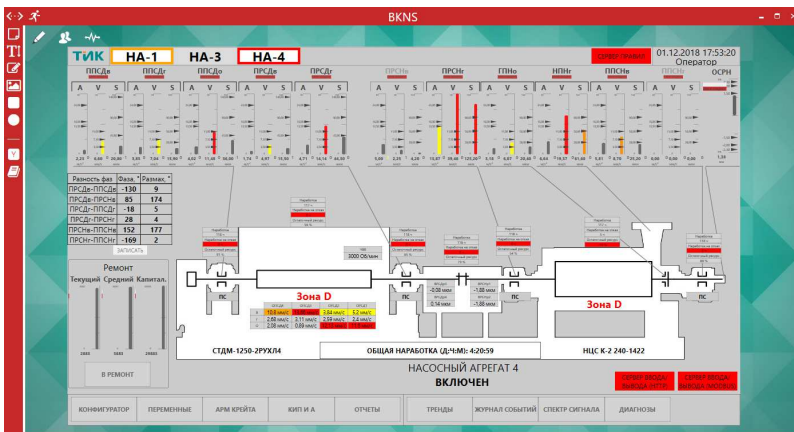


Рис. 4. Запущенный проект

Перечень выявленных дефектов

Приоритет: Все | Состояние: Выбрать...

### НАСОСНЫЙ АГРЕГАТ 7

| Сигнал тревоги              | Квитирование | Состояние | Имя                            | Детали | Ф     |
|-----------------------------|--------------|-----------|--------------------------------|--------|-------|
| <b>Задний подшипник ЗПД</b> |              |           |                                |        |       |
| Исправлен                   | Квитировать  | Низкий    | Дефект внутренней обоймы (ЗПД) | ППДг   | Прове |
| Исправлен                   | Квитировать  | Низкий    | Дефект тел качения (ЗПД)       | ППДг   | Прове |
| Исправлен                   | Квитировать  | Низкий    | Дефект внешней обоймы (ЗПД)    | ППДг   | Прове |
| <b>Насос Н</b>              |              |           |                                |        |       |
| Исправлен                   | Квитировать  | Высокий   | Гидроудар                      | ППНг   | Техог |
| Исправлен                   | Квитировать  | Высокий   | Прохват                        | ППНг   | Неном |

Рис. 5. Результаты диагностики

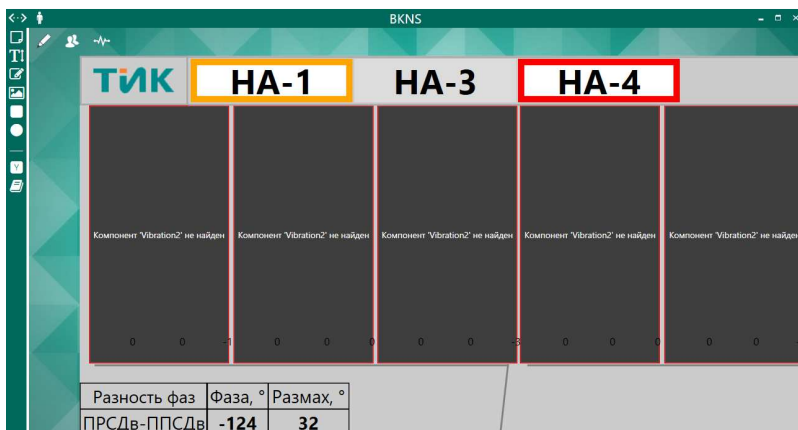


Рис. 6. Успешный запуск без библиотеки внешнего компонента

Таким образом, новая подсистема визуализации позволит сократить ручной труд, а также прямые затраты на покупку программного обеспечения. Данный модуль позволяет разрабатывать современный HMI. При дальнейшем развитии модуль визуализации станет достойной заменой используемой SCADA-системы.

### Библиографический список

1. Цифровая экономика – новые возможности для бизнеса [Электронный ресурс]. – URL: <http://kak-bog.ru/cifrovaya-ekonomika-novye-vozmozhnosti-dlya-biznesa> (дата обращения: 17.11.2018).
2. Федеральная программа «Цифровая экономика Российской Федерации». Распоряжение Правительства Российской Федерации от 28 июля 2017 г. № 1632-р //Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс.
3. Климов Л.П. С#. Советы программистам. – СПб.: БХВ-Петербург, 2008. – 544 с.
4. Мак-Дональд Мэтью. WPF Windows Presentation Foundation в .NET 3.5 с примерами на C# 2008 для профессионалов. – М.: Вильямс, 2008. – 928 с.
5. Павловская Т.А. С#. Программирование на языке высокого уровня: учебник для вузов. – СПб.: Питер, 2009. – 432 с.
6. Робисон У. С# без лишних слов. – М.: ДМК Пресс, 2002. – 352 с.

7. Скит Д. С#: программирование для профессионалов. – М.: Вильямс, 2011. – 544 с.

8. Троелсен Э. Язык программирования С# 5.0 и платформа .NET 4.5. – М.: Вильямс, 2013. – 1312 с.

9. Шилдт Г. Полный справочник по С#. – М.: Вильямс, 2004. – 752 с.

### **Сведения об авторах**

**Ковтун Виталий Сергеевич** – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: vitas-kovtun@yandex.ru

**Тарутин Анатолий Владимирович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: anatoliytarutin@yandex.ru

### **About the authors**

**Kovtun Vitaly Sergeevich** – Student Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: vitas-kovtun@yandex.ru

**Tarutin Anatoliy Vladimirovich** – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor of the Information Technologies and Automated Systems department Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: anatoliytarutin@yandex.ru

## ИНТЕГРАЦИЯ ПЛАНИРОВЩИКА ЗАДАЧ СУПЕРКОМПЬЮТЕРА SLURM С ТЕХНОЛОГИЕЙ SDN

**М.А. Мещеряков<sup>1</sup>, Г.Ф. Масич<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

<sup>2</sup>Институт механики сплошных сред УрО РАН, Пермь

В статье сформулирована задача необходимости интеграции планировщика задач суперкомпьютера SLURM с сетью SDN для автоматического формирования гарантированного высокоскоростного канала связи между приложениями, обрабатывающими интенсивные потоки данных. Предложен подход к ее решению с помощью использования плагина для SLURM. Показаны результаты работы прототипа плагина.

**Ключевые слова:** суперкомпьютер, SLURM, сеть, SDN, плагин.

## INTEGRATION OF SLURM WORKLOAD MANAGER WITH SDN

**M.A. Mescheryakov<sup>1</sup>, G.F. Masich<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Perm National Research Polytechnic University, Perm

<sup>2</sup>Institute of Continuous Media Mechanics of the Ural Branch, RAS, Perm

The article describes the task of integrating the SLURM workload manager with the SDN network to automatically create a guaranteed high-speed communication channel between applications that process intensive data flows. An approach to its solution is proposed using the plug-in for SLURM. The results of the prototype work of the plug-in are shown.

**Keywords:** supercomputer, SLURM, network, SDN, plugin.

**Введение.** В ходе проведения научных экспериментов генерируются большие объемы данных, требующие перемещения до места их обработки на суперкомпьютере. Высокоскоростные сети научно-образовательной сети могут обеспечить быструю передачу данных между приложениями с использованием гарантированного скоростного канала связи. Однако перед обработкой данных на суперкомпьютере требуется создание канала в силу специфики подхода обработки потока измеряемых данных в реальном времени [1].

**SLURM workload manager.** SLURM – система управления ресурсами суперкомпьютера, включающая в себя планировщик и очередь заданий для вычислительных узлов. Распределяет нагрузку по

выделенным узлам и управляет общей загрузкой суперкомпьютера. Система имеет открытый исходный код [2]. Пользовательские плагины, взаимодействующие с системой через API в виде динамически подключаемых модулей [3], позволяют частично модернизировать систему. На рис. 1 [4] представлена архитектура SLURM.

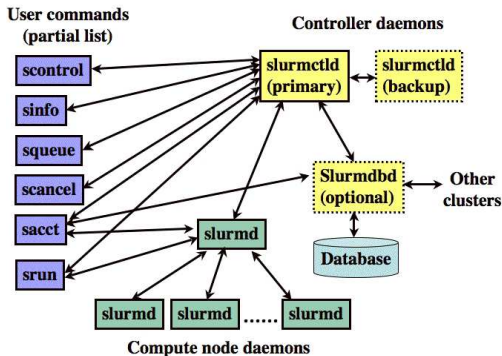


Рис. 1. Архитектура SLURM

На управляющем узле располагается контроллер суперкомпьютера, содержащий сервис `slurmctld` и занимающийся распределением вычислительных ресурсов между заданиями. На каждом вычислительном узле располагается сервис `slurmd`, который управляет соответствующим узлом, принимает и распределяет задания по ядрам узла, осуществляет мониторинг выполняющихся задач. Контроллер и узлы суперкомпьютера поддерживают базу данных для логирования, авторизации и аутентификации пользователей [5], выполняют различные пользовательские команды [6].

Для запуска задачи в пакетном режиме используется команда `sbatch` [7], ее вид следующий:

```
sbatch -n <число процессов> -t <время> <имя скрипта>
```

Основные параметры для запуска задачи в пакетном режиме:

- 1) `-n <число процессоров>` – устанавливает число процессоров, по умолчанию 1;
- 2) `-t <время>` – заказывает время на решение задачи, по умолчанию 30 минут, в виде дни-часы:минуты:секунды;
- 3) `--mem-per-cpu=<MB>` – задает минимальное количество памяти на одно ядро, по умолчанию 1 Гб;
- 4) `--mem =<MB>` – задает память на узле;



- 5) -p <раздел> – указывает имя раздела кластера для запуска задачи;  
6) --begin=<время> – запускает задачу не ранее указанного времени в формате YYYY-MM-DD[THH:MM[:SS]].

**Моделирование.** Для исследования возможности интеграции планировщика задач суперкомпьютера SLURM с сетью SDN были использованы виртуальные машины, соединенные в сеть. Исследование было проведено на примере сети, представленной на рис. 2.

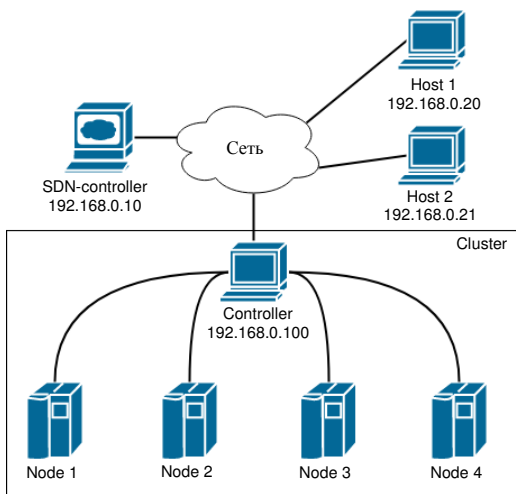


Рис. 2. Исследуемая сеть

Node 1, Node 2, Node 3 и Node 4 представляют собой вычислительные узлы суперкомпьютера с установленным slurmd. Controller – головная машина суперкомпьютера с установленным slurmctld. Host 1 и Host 2 являются экспериментальными установками, генерирующими экспериментальные данные. SDN-controller – контроллер SDN, позволяющий конфигурировать каналы связи.

В случае обработки интенсивного потока данных перед запуском задачи необходимо создать канал связи, а после выполнения разорвать его. SDN предоставляет такую возможность по формированию требуемого гарантированного канала связи. Отправку команд SDN-контроллеру можно реализовать с помощью плагина для SLURM. В ходе исследования был написан прототип плагина, определяющий дополнительные параметры запуска задачи и подготавливающий команду на соединение для отправки на SDN-контроллер.

Написанный плагин требуется скомпилировать [8] и поместить в папку с другими динамическими библиотеками на контроллере и на вычислительных узлах (в CentOS 7 по умолчанию папка /usr/lib/x86\_64-linux-gnu/slurm). Также в конфигурационном файле /etc/slurm.conf следует указать тип плагина и его имя [9], например, JobSubmitPlugins=job\_submit/sdn\_connect.

Запуск задачи на суперкомпьютере в системе SLURM в пакетном режиме осуществляется командой sbatch. При необходимости установления канала связи пользователь должен указать в параметрах запуска задачи требуемые точки соединения (в виде IP-адресов). В ходе проведения исследования был составлен пример задачи, требующей соединения между узлами Host 1 и Controller:

```
sbatch -n 4 --connect-src 192.168.0.20 --connect-dst 192.168.0.100 hostname
```

где --connect-src и --connect-dst – адреса конечных точек.

При работе системы SLURM с использованием плагина планировщик работает согласно своей заданной логике, при выявлении свободных вычислительных ресурсов перед запуском задачи вызываются различные функции из Launch Plugin API [10], которые обрабатывает плагин. Из соответствующей функции плагина, при наличии в параметрах точек соединения, отправляется команда на соединение SDN-контроллеру, задача запустится только при положительном ответе от контроллера (когда соединение установлено). После завершения задачи плагин отправит команду SDN-контроллеру на закрытие соединения.

**Заключение.** Возможность написания плагинов для SLURM делает осуществимым интеграцию технологии SDN и планировщика заданий задач суперкомпьютера SLURM, что позволит приблизиться к реализации комплексной автоматизированной системы управления ресурсами научно-образовательной сети.

### Библиографический список

1. Shchapov V.A., Masich A.G., Masich G.F. The technology of processing intensive structured dataflow on a supercomputer // Journal of Systems and Software. – 2017. – Vol. 127. – P. 258–265.
2. Slurm: A Highly Scalable Workload Manager [Электронный ресурс]. – URL: <https://github.com/SchedMD/slurm> (дата обращения: 28.04.2018).

3. Slurm Plugin API [Электронный ресурс]. – URL: <https://slurm.schedmd.com/plugins.html> (дата обращения: 28.04.2018).
4. Quick Start User Guide [Электронный ресурс]. – URL: <https://slurm.schedmd.com/quickstart.html> (дата обращения: 28.04.2018).
5. Accounting and Resource Limits [Электронный ресурс]. – URL: <https://slurm.schedmd.com/accounting.html> (дата обращения: 28.04.2018).
6. Man Pages [Электронный ресурс]. – URL: [https://slurm.schedmd.com/man\\_index.html](https://slurm.schedmd.com/man_index.html) (дата обращения: 28.04.2018).
7. Sbatch [Электронный ресурс]. – URL: <https://slurm.schedmd.com/sbatch.html> (дата обращения: 28.04.2018).
8. Job Submit Plugin API [Электронный ресурс]. – URL: [https://slurm.schedmd.com/job\\_submit\\_plugins.html](https://slurm.schedmd.com/job_submit_plugins.html) (дата обращения: 28.04.2018).
9. Slurm.conf [Электронный ресурс]. – URL: <https://slurm.schedmd.com/slurm.conf.html> (дата обращения: 28.04.2018).
10. Launch Plugin API [Электронный ресурс]. – URL: [https://slurm.schedmd.com/launch\\_plugins.html](https://slurm.schedmd.com/launch_plugins.html) (дата обращения: 28.04.2018).

### Сведения об авторах

**Мещеряков Максим Александрович** – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: [in1gma@ya.ru](mailto:in1gma@ya.ru)

**Масич Григорий Федорович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, заведующий лабораторией Института механики сплошных сред УрО РАН, Пермь, e-mail: [masich@icmm.ru](mailto:masich@icmm.ru)

### About the authors

**Mescheryakov Maksim Aleksandrovich** – Master Student Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: [in1gma@ya.ru](mailto:in1gma@ya.ru)

**Masich Grigorii Fedorovich** – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor of the Information Technologies and Automated Systems department Perm National Research Polytechnic University, Head of the Laboratory at the ICMM UB RAS, Perm, e-mail: [masich@icmm.ru](mailto:masich@icmm.ru)

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И АЛГОРИТМОВ КОНТРОЛЯ ВХОДНЫХ ДАННЫХ ФОРМАТА DXF ДЛЯ СИСТЕМЫ ITAS NESTING**

**И.И. Минибаев, А.В. Тарутин**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

На кафедре ИТАС ПНИПУ ведется разработка программного комплекса ITAS NESTING, предназначенного для решения задач раскроя листовых материалов. В данной статье рассмотрены проблемы и типовые ошибки, возникающие при работе с входными данными, поступающими в систему, также предложено возможное решение по их устранению.

**Ключевые слова:** входные данные, система ITAS Nesting, типовые ошибки.

## **DEVELOPMENT OF METHODS AND ALGORITHMS OF MONITORING OF INPUT DATAS OF THE DXF FORMAT FOR THE ITAS NESTING SYSTEM**

**I.I. Minibaev, A.V. Tarutin**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

The ITAS PNIPU department is developing a program complex ITAS Nesting. In this article describes the problems and typical mistakes that arise in the process of working with input data, also the possible solution for their elimination is proposed.

**Keywords:** input data, ITAS Nesting system, typical mistakes.

Оптимальный раскрой листовых материалов является важнейшей задачей заготовительного производства. Системы автоматизированного раскроя могут применяться в таких областях промышленности, как аэрокосмическая, металлообрабатывающая, легкая, стекольная и деревообрабатывающая [1]. С годами спрос на подобного рода комплексы только возрос. Связано это в основном с тем, что предприятия в целях экономии затрачиваемых ресурсов и времени, а также из-за растущей сложности математических алгоритмов заинтересованы в быстро развивающихся системах раскроя.

Большинство программных комплексов, предназначенных для раскроя, включают в себя графические инструменты редактирования, которые позволяют существенно упростить процесс работы

пользователя системы. К таким инструментам относятся и графические редакторы. Графический редактор, в свою очередь, является эффективным средством, позволяющим наглядно представить результат работы программы.

При решении задач промышленного раскроя важной составляющей приложения является не только возможность сборки карты раскроя в автоматическом режиме, но и удобная работа с банком данных деталей [2], а именно возможность добавлять, удалять и изменять детали.

Детали могут поступать практически с любых внешних источников в виде входных данных системы. Нельзя гарантировать, что поступающие данные не содержат ошибок и недочетов. В свою очередь, несвоевременное обнаружение и исправление ошибок может привести к полной невозможности или непригодности дальнейших работ. Плохое качество входных данных может негативно отразиться на качестве продукции, а также на временных и финансовых затратах. Таким образом, контроль входных данных для систем автоматизированного раскроя является актуальной задачей, которую необходимо решить.

В настоящее время контроль входных данных в системе ITAS Nesting осуществляется только на этапе формирования задания на раскрой. При обнаружении на данном этапе чертежей деталей, содержащих ошибки, с задания на раскрой эти детали удаляются до момента их устранения пользователем системы непосредственно в самом графическом редакторе, что может повлечь серьезные временные затраты, связанные с обнаружением и исправлением этих ошибок.

В связи с этим появляется необходимость обнаружения типовых ошибок входных данных и разработки алгоритмов их устранения непосредственно из самого графического редактора еще до формирования задания на раскрой, что в дальнейшем позволит существенно сэкономить затрачиваемое время.

Целью данной работы являются исследование и разработка методов и алгоритмов контроля входных данных формата DXF, которые в дальнейшем будут применены в программном комплексе ITAS Nesting в виде программного модуля.

Объектом исследования является процесс контроля входных данных для системы ITAS Nesting, предметом исследования – автоматизированное исправление типовых ошибок.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Проанализировать существующий процесс контроля входных данных.

2. Разобрать типовые ошибки.

3. Разработать алгоритмы исправления типовых ошибок.

К типовым ошибкам входных данных формата DXF относятся:

– разрыв контура;

– дублирование элементов;

– пересечение элементов.

Возможны два варианта пересечений:

– элементы пересекаются в одной точке;

– элементы пересекаются с частичным наложением.

Подробнее рассмотрим алгоритм исправления ошибок входных данных, элементами которых являются отрезки:

1. Исправление разрывов контура:

– поиск конечных точек, принадлежащих лишь одному отрезку;

– поиск минимальных расстояний между парами точек;

– связывание соответствующих пар точек по минимальному расстоянию.

2. Исправление дублирования элементов:

– поиск отрезков с одинаковыми углами;

– проверка соответствующих отрезков на частичное или полное совпадение;

– объединение совпадающих отрезков в один.

3. Исправление пересечений отрезков с одной общей точкой:

– поиск отрезков, имеющих общую точку, которая не совпадает с концами обоих отрезков;

– уменьшение длины найденных отрезков на расстояние между общей точкой и ближайшей конечной точкой отрезка. Общая точка становится конечной для обоих отрезков.

4. Исправление пересечений отрезков с частичным наложением:

– поиск отрезков с одинаковыми углами;

– попарная проверка отрезков на взаимное включение конечных точек;

– смещение конечной точки одного отрезка к соответствующей конечной точке второго.

5. Конец.

В результате исследования обоснована необходимость контроля входных данных, поступающих в системы раскроя. На примере программного комплекса ITAS Nesting выявлены текущие недостатки в работе с входными данными и предложено возможное решение по улучшению текущего функционала системы, которое позволит сократить затрачиваемое время на формирование карты раскроя. Также выявлены типовые ошибки и рассмотрен алгоритм их исправления.

### **Библиографический список**

1. Система автоматизированного раскроя «ITAS Nesting» [Электронный ресурс]. – URL: <http://itas.pstu.ru> (дата обращения: 23.10.2018).
2. Мурзакаев Р.Т., Шилов В.С., Брюханова А.А. Программный комплекс фигурного раскроя листового материала ITAS Nesting // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2015. – № 13. – С. 15–25.

### **Сведения об авторах**

**Минибаев Ильназ Ильдусович** – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: [anatoliytarutin@yandex.ru](mailto:anatoliytarutin@yandex.ru)

**Тарутин Анатолий Владимирович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: [anatoliytarutin@yandex.ru](mailto:anatoliytarutin@yandex.ru)

### **About the authors**

**Minibaev Ilnaz Ildusovich** – Master Student Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: [anatoliytarutin@yandex.ru](mailto:anatoliytarutin@yandex.ru)

**Tarutin Anatolii Vladimirovich** – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor of the Information Technologies and Automated Systems department Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: [anatoliytarutin@yandex.ru](mailto:anatoliytarutin@yandex.ru)

## НЕОБХОДИМОСТЬ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КВАДРОКОПТЕРОВ ДЛЯ КОНКРЕТНОЙ ЗАДАЧИ

**А.В. Овечкин, В.С. Петров, Д.А. Проскурин, Н.З. Султанов**  
Оренбургский государственный университет, Оренбург

В данной статье рассмотрены аспекты применения квадрокоптеров, особенности их конструкции и необходимость автоматизации проектирования аппарата, подходящего под конкретную задачу.

**Ключевые слова:** квадрокоптер, беспилотный летательный аппарат.

## THE NEED FOR AUTOMATION OF QUADROCOPTER DESIGN FOR A SPECIFIC TASK

**A.V. Ovechkin, V.S. Petrov, D.A. Proskurin, N.Z. Sultanov**  
Orenburg State University, Orenburg

This article discusses aspects of the use of quadcopters, the features of their design and the need to automate the production of the device, suitable for a specific task.

**Keywords:** quadcopter, unmanned aerial vehicle.

Многовинтовые вертолёты разрабатывались ещё в первые годы вертолётостроения. Один из первых квадрокоптеров (англ. quadcopter, четырёхроторный вертолёт), который оторвался от земли и мог держаться в воздухе, был создан Георгием Ботезатом и испытан в 1922 г. Недостатком этого аппарата была сложная трансмиссия, передававшая вращение одного мотора на несколько винтов. Изобретение рулевого винта и автомата перекоса упростило конструкцию, и попытки создания четырехвинтовых машин временно были приостановлены. Новое рождение квадрокоптеры получили в XXI в., уже как беспилотные аппараты. Благодаря простоте конструкции они стали широко применяться для недорогой аэрофото- и киносъёмки.

Квадрокоптеры имеют четыре винта. В отличие от одновинтовых и двухвинтовых вертолетов данный вид летательных аппаратов не имеет автомата перекоса, так же как и рулевого винта. Все винты являются винтами постоянного шага, которые приводятся в движение двигателями, количество которых равно количеству винтов. Два винта вращаются по часовой стрелке, два – против, все движение квад-



рокоптера целиком производится за счет изменения их скорости. Так, если все винты ускоряются, аппарат начнет подниматься вверх. При ускорении двух соседних винтов квадрокоптер будет двигаться в соответствующую сторону. Для поворота вокруг своей оси необходимо ускорить два винта, расположенных друг напротив друга.

В качестве источника питания электродвигателей в современных квадрокоптерах используются полимерные аккумуляторы. Запаса таких батарей теоретически хватит для полета на расстояние до 12 км (до 15 минут полета). Но на практике максимальное расстояние, которое сможет преодолеть аппарат, благополучно вернувшись на место старта, ограничено зоной прямой видимости, т.е. не более 200 м при ручном управлении, при условии, что хватает дальности аппаратуры радиуправления. Отдельные модели средств управления позволяют осуществлять радиуправление и передачу видеосигнала на расстояния до 100 км благодаря использованию различных усилителей мощности радиосигнала и системы направленных антенн.

Важным параметром, помимо расстояния и времени полета, является грузоподъемность. Полезный груз, который способны поднять квадрокоптеры среднего размера, составляет 2–3 кг, это позволяет прикрепить к аппарату небольшую фото- или видеокамеру либо груз, подлежащий доставке в место назначения [1].

Основой квадрокоптера, на которую крепятся все остальные элементы, является рама, которую изготавливают из полимеров или легких и прочных сплавов. Также широко используются карбон, стекловолокно и подобные материалы, обеспечивающие максимальную жесткость конструкции для предотвращения повреждения рамы при падении или встрече с препятствием. Рама представляет собой крестовину, по крайним ее точкам крепятся двигатели с воздушными винтами. По центру крестовины располагается полетный контроллер, который программируют и в результате получают систему управления, работающую под руководством оператора при помощи аппаратуры радиуправления (комплект «передатчик–приемник»). Полетный контроллер при помощи шлейфа соединяется со всеми четырьмя моторами и подает на них команду, регулирующую обороты каждого двигателя по отдельности [2].

Беспилотные летательные аппараты все больше внедряются во многих сферах деятельности. Использование квадрокоптеров при анализе дорожно-транспортных происшествий позволяет снизить

время осмотра и облегчить работу экспертов. Беспилотные аппараты применяются в сельском хозяйстве для мониторинга сельхозугодий. Востребованы квадрокоптеры и при аварийно-спасательных работах как для поиска, так и для доставки провианта и медикаментов пострадавшим. Незаменимы данные аппараты для съемки объектов с воздуха, доступ к которым затруднен, в том числе при кадастровых и геодезических работах.

По оценкам J'son & Partners Consulting, мировой рынок беспилотных летательных аппаратов в 2017 г. составил \$7,8 млрд и продолжит активный рост. Основную долю в количестве занимают потребительские дроны (84 %), 15 % приходится на коммерческие и всего 0,5 % – на военные.

В связи с постепенным удешевлением компонентной базы беспилотных летательных аппаратов, а также с выходом на рынок многочисленных новых производителей, в том числе и в военном сегменте, средняя стоимость дронов продолжит снижаться к 2020 г. по всем сегментам на 7–27 %. Это приведет и к изменению структуры рынка как в денежном, так и в количественном выражении, поскольку на рынок будут поступать сотни тысяч и даже миллионы постоянно дешевеющих потребительских дронов, по функционалу сравнимых уже с коммерческими аппаратами.

По итогам 2017 г. Россия занимала 0,3 % доли в количестве и 2 % доли в стоимости мирового рынка. В 2017 г. российский рынок беспилотников оценивается в 163 млн долларов (9,5 млрд руб.) и к 2020 г. рынок может вырасти в 1,5 раза. Россия занимает более весомую долю в сегменте военных аппаратов – 15 % в количестве продаж.

По оценке J'son & Partners Consulting, доля дронов отечественного производства на рынке РФ составляет в 2017 г. 10 % и увеличится до 11 % к 2020 г. Основной прирост придется на коммерческий сегмент, где ожидается большая активность российских производителей и который увеличится в два раза к текущему уровню – до 40 % коммерческих дронов, продаваемых в РФ, будут отечественного производства. Потребительский массовый сегмент будет полностью контролироваться популярными марками иностранного производства с незначительным присутствием российских производителей (5 %) [3].

Приведенный прогноз показывает, что необходимость использования квадрокоптеров будет расти, но при этом остро встает вопрос выбора представленных на рынке существующих решений для по-

ставленной задачи. Дешевые модели не надежны и могут не справиться с возложенной на них функцией, например, будут иметь существенно меньшее время полета, чем необходимо для качественной фотосъемки. Универсальные же конфигурации аппаратов, во-первых, дорогие, во-вторых, обладают избыточными функциями, следовательно, экономически неэффективны.

Поэтому наиболее оптимальным вариантом является сборка квадрокоптера из комплектующих, наиболее подходящих для поставленной задачи. Но, учитывая, что беспилотный летательный аппарат является сложным объектом для проектирования, так как необходимо учесть множество входных параметров, проектирование квадрокоптера вручную – очень трудоемкий процесс. При этом программное обеспечение, облегчающее выбор компонентов для решения конкретной задачи (рассмотрен популярный калькулятор для мультикоптеров xCalc), имеет низкую точность (отклонение от требуемых значений до 15 %). Кроме того, указанный калькулятор рассчитывает необходимые параметры (полетное время – время висения, смешанное; полезная нагрузка; максимальная скорость) лишь при указании на входе конкретных комплектующих, что неудобно, ведь для получения нужных параметров аппарата необходимо перебирать компоненты вручную.

В связи с этим на данный момент очень актуальна проблема написания программного обеспечения автоматизации проектирования квадрокоптеров для конкретной задачи по заданным входным параметрам.

### **Библиографический список**

1. Демичев А.П. Проектирование и разработка беспилотного летательного аппарата для мониторинга воздушного пространства на наличие ядовитых газов // Перспективы развития информационных технологий. – 2016. – № 32. – С. 94–96.
2. Горелова А.В., Кривобоков Е.А. Устройство и применение квадрокоптеров // Университетская наука. – 2017. – № 1 – С. 52–56.
3. Рынок дронов в России и в мире, 2017 г. (беспилотные летательные аппараты, БЛА, БПЛА) [Электронный ресурс]. – URL: [http://json.tv/ict\\_telecom\\_analytics\\_view/rynok-dronov-v-rossii-i-v-mire-2017-g-bespilotnye-letatelnye-apparaty-bla-bpla-20180427124557](http://json.tv/ict_telecom_analytics_view/rynok-dronov-v-rossii-i-v-mire-2017-g-bespilotnye-letatelnye-apparaty-bla-bpla-20180427124557) (дата обращения: 04.11.2018).

### Сведения об авторах

**Овечкин Александр Владимирович** – магистрант Оренбургского государственного университета, Оренбург, e-mail: kinofswords@gmail.com

**Петров Вадим Сергеевич** – магистрант Оренбургского государственного университета, Оренбург, e-mail: programersap@gmail.com

**Проскурин Дмитрий Александрович** – кандидат технических наук Оренбургского государственного университета, Оренбург, e-mail: dimitrpro@mail.ru

**Султанов Наиль Закиевич** – доктор технических наук, профессор Оренбургского государственного университета, Оренбург, e-mail: sultanov@mail.osu.ru

### About the authors

**Ovechkin Aleksandr Vladimirovich** – Master Student of Orenburg state university, Orenburg, e-mail: kinofswords@gmail.com

**Petrov Vadim Sergeevich** – Master Student of Orenburg state university, Orenburg, e-mail: programersap@gmail.com

**Proskurin Dmitriy Aleksandrovich** – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor Orenburg State University, Orenburg, e-mail: dimitrpro@mail.ru

**Sultanov Nail Zakievich** – Doctor of Technical Sciences, Professor Orenburg State University, Orenburg, e-mail: sultanov@mail.osu.ru

## ОСОБЕННОСТИ ИЗУЧЕНИЯ ШАГАЮЩИХ МАШИН

**В.С. Петров, А.В. Овечкин**

Оренбургский государственный университет, Оренбург

В данной статье рассмотрены аспекты применения шагающих машин, различия их конструкций и актуальность их изучения.

**Ключевые слова:** шагающая машина, потребность в роботах, применение роботов, изучение роботов.

## PECULIARITIES OF STUDYING A STEPPING MACHINE

**V.S. Petrov, A.V. Ovechkin**

Orenburg State University, Orenburg

This article discusses aspects of the use of walking machines, differences in their designs and the relevance of their study.

**Keywords:** walking machine, the need for robots, the use of robots, the study of robots.

На сегодняшний день происходит активное внедрение роботизированных систем в разные области деятельности людей. Прародителями роботов считаются различные механизмы, устройства для управления перемещениями и манипулирования предметами, непосредственный контакт с которыми для человека опасен или невозможен. Такие устройства впервые появились в 1940–1950 гг. для проведения опытов и исследований с радиоактивными материалами, а позже и для атомной промышленности. Аналогичные устройства получили широкое применение в глубоководной технике, металлургии и ряде других отраслей промышленности. Первые, полностью автоматически действующие манипуляторы были созданы в США в 1960–1961 гг. В 1961 г. был создан такой манипулятор, которым управляла ЭВМ, он был снабжен устройством захвата, осязательным при помощи различных датчиков – контактных и фотоэлектрических. Данный манипулятор МН-1 получил название «рука Эрнста» в честь его создателя Г. Эрнста. По сегодняшним меркам это был прообраз осязательного робота второго поколения с адаптивным управлением, что позволяло ему, например, находить и брать произвольно расположенные предметы. В 1962 г. на рынке США появились первые роботы марки «Версотран», получившие применение в промышленности. История развития производства роботов за рубежом такова:

в 1967 г. начинается выпуск роботов в Англии по лицензии США, в 1968 г. – в Швеции и Японии (тоже по лицензиям США), в 1971 г. – в ФРГ, в 1972 г. – во Франции, в 1973 г. – в Италии [1].

На данный момент идет активное развитие мобильных роботов различного назначения и сфер использования. Наиболее популярными роботами для наземных работ в условиях решения специфических задач считаются мобильные шагающие роботы (МШР). Существует множество вариантов конструкций мобильных шагающих робототехнических систем: с двумя, четырьмя, шестью, восьмью и более ногами-конечностями. В данной работе рассмотрены некоторые особенности наиболее распространенных МШР, обладающих не более восьмью конечностями. Одна из популярных форм робота на сегодняшний день – паук (рис 1.)



Рис. 1. Четырехопорный робот-паук

Четырехопорная шагающая машина (ШМ) обычно имеет малые габариты, вес и простую конструкцию, она также может двигаться в рамках статической устойчивости. Но ее профильная и опорная проходимость меньше, чем иных ШМ, скорость движения также меньше при прочих равных условиях. Справедливости ради отметим, что машины фирмы Boston Dynamics демонстрируют весьма высокую проходимость и устойчивость на сложных грунтах и поверхностях [2].

Несмотря на то, что создание таких шагающих систем затруднено из-за большого числа конечностей (двигателей), одновременно совершающих перемещения, подобные системы позволяют не только обеспечить проходимость и высокую маневренность системы. В отличие от платформ на колесах конструкция паука предусматривает движение в любую сторону без поворота, что экономит время перемещения и мо-

жет быть решающим фактором в осуществлении определенных задач. В то же время существуют недостатки подобных систем, как низкое быстродействие, высокое энергопотребление, которые ограничивают распространение шагающих роботов. Задачи изучения роботов, использующих шагающее перемещение, – это, прежде всего, задачи создания машин и устройств, способных перемещаться в естественных условиях либо, вообще, использующих нетрадиционные движители. В таких задачах шагающие машины важны и актуальны, особенно как средство решения проблемы передвижения по бездорожью или по местности со сложным рельефом. Объясняется это следующими обстоятельствами: изучение мест, куда не могут попасть люди из-за определенных факторов, зоны бедствия, радиации, перемещение больших грузов в зоне ограниченной подвижности, решение задач в военном деле и т.п.

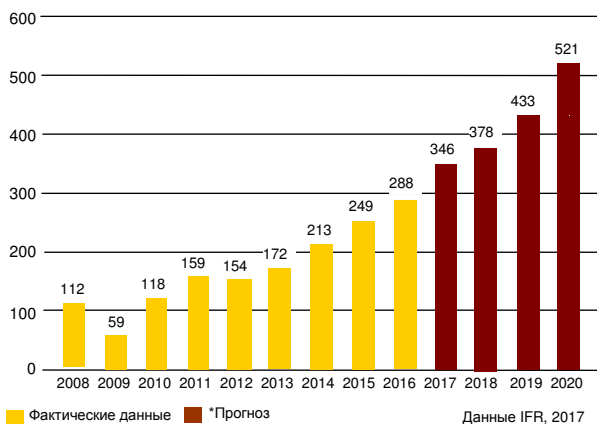


Рис. 2. Примерный объем ежегодных поставок промышленных роботов, тыс. единиц

Актуальность исследования данных роботизированных машин достаточно высока. В источнике [3] указывается, что продажи промышленных роботов с 2013 по 2014 г. выросли со 160 тыс. шт. до 178 тыс. шт., продажи сервисных роботов с 2013 по 2016 г., по предположению экспертов, вышли на уровень – 15,5 млн. шт., бытовых роботов – 3,5 млн. шт., роботизированных игрушек – 3 млн. шт. для образовательных целей и 6,4 тыс. шт. для помощи инвалидам. Основные покупатели промышленных роботов – Япония, Южная Корея, Китай, США, Германия, основные производители роботов – Япония и Германия (более 50 % и около 22 % соответственно мирового

производства промышленных роботов). По данным IFR, в 2016 г. продажи промышленных роботов выросли на 16 % – до 294 312 единиц, достигнув нового максимума (так происходило четыре года подряд) (рис. 2). Между 2011 и 2016 г. средние темпы годового роста продаж роботов составляли 12 %. Общий мировой парк эксплуатируемых промышленных роботов на конец 2016 г. вырос до 1 828 тыс. единиц. Согласно оценкам IFR, мировой эксплуатационный парк промышленных роботов вырастет примерно с 1 828 тыс. единиц в конце 2016 г. до 3053 тыс. единиц в конце 2020 г., что соответствует среднегодовым темпам роста в 14 % в 2018–2020 гг.

Исходя из вышеизложенной информации, следует, что изучение шагающих машин и внедрение их в различные сферы деятельности человека имеет перспективное направление. Также решение специальных задач требует все более и более актуальных машин.

### **Библиографический список**

1. Зятыгов Д.Д., Ефимов А.Р. Аналитический обзор мирового рынка робототехники // Лаборатория робототехники сбербанка. – 2017. – URL: <http://www.sberbank.ru/common/img/uploaded/analytics/2018/analiticeskij-obzor-mirovogo-rynka-robototehniki.pdf>

2. Ильясова Ф.С., Александров А.П. Робототехника: развитие, современное положение и перспективы // Информационно-компьютерные технологии в экономике, образовании и социальной сфере, 2016. – № 1. – С. 85–95.

3. Павловский В.Е. О разработках шагающих машин. – М.: Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша, 2013. – 32 с.

### **Сведения об авторах**

**Петров Вадим Сергеевич** – магистрант Оренбургского государственного университета, Оренбург, e-mail: [programersap@gmail.com](mailto:programersap@gmail.com)

**Овечкин Александр Владимирович** – магистрант Оренбургского государственного университета, Оренбург, e-mail: [kinofswords@gmail.com](mailto:kinofswords@gmail.com)

### **About the authors**

**Petrov Vadim Sergeevich** – Master Student Orenburg State University, Orenburg, e-mail: [programersap@gmail.com](mailto:programersap@gmail.com)

**Ovechkin Aleksandr Vladimirovich** – Master Student Orenburg State University, Orenburg, e-mail: [kinofswords@gmail.com](mailto:kinofswords@gmail.com)



## **АНАЛИЗ СПОСОБОВ ИНТЕГРАЦИИ, НЕОБХОДИМЫХ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ИНТЕГРАЦИОННОГО МОДУЛЯ ИАС «УНИВЕРСИТЕТ» ДЛЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ФИС ГИА И ПРИЕМА**

**А.Н. Прохоров, А.В. Тарутин**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

В отделе автоматизированного управления ПНИПУ ведется поддержка ИАС «Университет». В данной статье рассмотрены системы и механизмы интеграции систем между собой, необходимые для проектирования интеграционного модуля интеграции ИАС «Абитуриент» и ФИС ГИА и приема.

**Ключевые слова:** интеграция, интеграционный модуль, университет, ИАС «Университет», ФИС ГИА и приема, механизм интеграции.

## **ANALYSIS OF THE INTEGRATION METHODS NECESSARY FOR THE DESIGN OF THE INTEGRATION MODULE IAS UNIVERSITY FOR INTERACTION WITH FIS GIA AND RECEPTION**

**A.N. Prokhorov, A.V. Tarutin**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

In the department of automated management of PNIPU, IAS University is being developed. In this article, the systems and mechanisms of their integration among themselves, for the development of the program module for integration of IAS Entrant and FIS GIA and reception are considered.

**Keywords:** integration, integration module, university, IAS University, FIS GIA and reception, integration mechanism.

Сегодня нельзя представить предприятие без собственной информационной системы. Неотъемлемой частью таких систем являются базы данных, в которых хранится вся информация, необходимая для полноценного функционирования организации. Эта информация помогает автоматизировать процесс управления, что позволяет повысить эффективность работы сотрудников и избавиться от хранения бумажных носителей информации. При взаимодействии организаций между собой начинается процесс передачи информации между

информационными системами. Для этого необходимы инструменты интеграции. Необходимо передавать данные об абитуриентах из информационно-аналитической системы (ИАС) «Университет» в федеральную информационную систему обеспечения проведения государственной итоговой аттестации обучающихся, освоивших основные образовательные программы основного общего и среднего общего образования, и приема граждан в образовательные организации для получения среднего профессионального и высшего образования (ФИС ГИА и приема) [1] во время приемной кампании для обеспечения работы ФИС ГИА и приема, что будет способствовать повышению прозрачности и информативности процедур приема в образовательные организации высшего и среднего профессионального образования.

Вопросы, связанные с интеграцией систем, рассматриваются в работах Д.Ю. Степанова «Интеграция корпоративных информационных систем», А.А. Кусова «Проблемы интеграции корпоративных информационных систем», Дж. Лодона, К. Лодона «Управление информационными системами».

Таким образом, проектирование подобного интеграционного модуля является актуальной задачей.

Интеграционный модуль – программа или функционально завершенный фрагмент программы, предназначенный для связи разных систем между собой. Использование интеграционного модуля позволит отправлять данные в ФИС ГИА и приема членам приемной кампании без вмешательства разработчика.

В настоящее время в ПНИПУ реализован интеграционный модуль ИАС «Университет», но при возникновении ошибок во время импорта данных необходимо вмешательство разработчика, что негативно отражается на производительности системы в целом, поэтому необходимо разработать контур обратной связи, который будет обрабатывать ошибки и формировать новые импортируемые пакеты данных. Контур обратной связи – в некоторой системе процесс, который переносит на вход в виде нового сигнала часть сигнала с выхода системы.

Целью данной работы является анализ систем и способов интеграции систем между собой, необходимых для проектирования интеграционного модуля ИАС «Университет» для взаимодействия с ФИС ГИА и приема. На основе данного проекта будет разработан интеграционный модуль.

Объектом исследования является процесс проектирования интеграционного модуля, необходимый для реализации данного модуля, предметом – анализ данных.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Анализ системы ИАС «Университет».
2. Анализ системы ФИС ГИА и приема.
3. Аналитический анализ механизмов интеграции.
4. Выбор наиболее подходящего метода.

ФИС ГИА и приема применяется для координации проведения приема в образовательные организации высшего образования (ВО) и среднего профессионального образования (СПО), сбора и проверки достоверности сведений о проведении приема. Создание системы является основной задачей проекта по повышению прозрачности и информативности процедур приема в образовательные организации ВО и СПО за счет обеспечения согласованного взаимодействия образовательных организаций, абитуриентов и федеральных органов исполнительной власти в сфере образования [1].

ИАС «Университет» – система, решающая задачи комплексной информатизации и автоматизации процессов вуза, повышающая эффективность управления автоматизируемыми процессами.

Интеграция систем происходит множеством методов, основные из них:

- 1) инфраструктура обмена данных XI/PI;
- 2) простой протокол доступа к объектам SOAP;
- 3) обмен плоскими файлами.

SAP XI/PI обеспечивает интеграцию данных в режиме онлайн, а также высокий уровень безопасности, поддержку открытых стандартов взаимодействия и механизмы централизованного мониторинга [2].

Простой протокол доступа к объектам (Simple Object Access Protocol) представляет собой стандарт удаленного вызова процедур RFC (Remote Function Call), который позднее был дополнен механизмами обмена произвольными сообщениями. Модель SOAP является «прародителем» инфраструктуры обмена данными XI/PI. В основе данной архитектуры лежит SOAP-сервер, включающий такие компоненты, как обработчик SOAP-запросов (Envelop), синтаксический анализатор запросов (Parser) и программа формирования результатов (Response). Интеграция информационной системы (ИС) может

осуществляться, как и в случае XI/PI, на уровнях данных, приложений и веб-сервисов. В отличие от механизма XI/PI, ориентированного преимущественно на интеграцию SAP-систем, SOAP обеспечивает большую универсальность.

При использовании механизма плоских файлов обмен информацией происходит следующим образом: на стороне ИС-отправителя осуществляется выгрузка файла в строго заданном формате представления данных, на стороне корпоративной информационной системы получателя – загрузка выгруженного файла [2].

Вследствие использования SAP XI/PI и SOAP-механизмов появляется необходимость в интеграционном сервере, из-за чего скорость передачи данных замедляется, потому что отправка данных происходит не напрямую. Также это влияет на стоимость обслуживания из-за необходимости постоянной работы сервера и на сложность реализации, потому что появляется необходимость понимания принципов работы компонентов сервера [3].

При использовании механизма экспорта/импорта плоских файлов отправка данных происходит напрямую, что влияет на скорость передачи данных. Также данный механизм имеет более низкую стоимость обслуживания и сложность реализации по сравнению с SAP XI/PI и SOAP-механизмами [4].

Таким образом, с учетом того, что необходима выгрузка данных каждый день в течение всей приемной кампании, для выбора метода интеграции выполнено сравнение на основе следующих факторов: скорость передачи данных, сложность реализации, стоимость обслуживания. Результаты сравнения приведены в таблице.

Анализ механизмов интеграции

| Метод                  | Скорость передачи данных | Сложность реализации | Стоимость обслуживания |
|------------------------|--------------------------|----------------------|------------------------|
| XI/PI                  | Средняя                  | Средняя              | Средняя                |
| SOAP                   | Средняя                  | Средняя              | Средняя                |
| Обмен плоскими файлами | Высокая                  | Низкая               | Низкая                 |

Для проектирования интеграционного модуля выбран механизм экспорта/импорта плоских файлов.

В ходе выполнения работы был спроектирован интеграционный модуль ИАС «Университет»:

1. Проведен анализ системы ИАС «Университет».
2. Проведен анализ системы ФИС ГИА и приема.
3. Проведен анализ механизмов интеграции.
4. Выбран механизм интеграции.

### **Библиографический список**

1. Руководство пользователя ФИС ГИА и приема / v. 6.5. – М., 2017.
2. Официальный сайт поддержки SAP [Электронный ресурс]. – URL: <http://help.sap.com/> (дата обращения: 24.11.2018).
3. Официальный сайт SOAP [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.w3.org/TR/soap/> (дата обращения: 24.11.2018).
4. О’Лири Д. ERP-системы. Современное планирование и управление ресурсами предприятия. Выбор, внедрение, эксплуатация. – М.: Вершина, 2004. – 272 с.

### **Сведения об авторах**

**Прохоров Арсений Николаевич** – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: [prokhorov159@gmail.com](mailto:prokhorov159@gmail.com)

**Тарутин Анатолий Владимирович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: [anatoliytarutin@yandex.ru](mailto:anatoliytarutin@yandex.ru)

### **About the authors**

**Prokhorov Arseny Nikolaevich** – Student of Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: [prokhorov159@gmail.com](mailto:prokhorov159@gmail.com)

**Tarutin Anatoliy Vladimirovich** – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor of the Information Technologies and Automated Systems department Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: [anatoliytarutin@yandex.ru](mailto:anatoliytarutin@yandex.ru)

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СОСТАВЛЕНИЯ ТЕСТ-ПЛАНОВ ПРИ ТЕСТИРОВАНИИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ**

**А.А. Тютюных, И.С. Полевщиков**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

Рассматривается актуальная проблема создания автоматизированной системы управления процессом тестирования программного обеспечения, в частности, подсистемы планирования (разработки тест-планов). Приведены функциональные требования к разрабатываемой подсистеме, типовой алгоритм создания тест-плана, пример пользовательского интерфейса.

**Ключевые слова:** тестирование программного обеспечения, тест-план, автоматизированная система управления.

## **AUTOMATION OF THE PROCESS OF DRAWING UP TEST PLANS FOR SOFTWARE TESTING**

**A.A. Tyutyunikh, I.S. Polevshchikov**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

The article is devoted to the actual problem of creating an automated process control system for software testing, in particular the planning subsystem (development of test plans). The proposed functional requirements for the developed subsystem, a typical algorithm for creating a test plan, an example of a user interface are presented.

**Keywords:** software testing, test plan, automated control system.

Процесс тестирования сложных программных продуктов состоит из нескольких взаимосвязанных этапов [1, 2], в ходе выполнения которых многие трудоемкие интеллектуальные задачи остаются возложенными на человека. Современные средства автоматизации фактически позволяют решать только некоторые частные задачи, возникающие в процессе тестирования программного обеспечения (ПО). Поэтому актуальной является проблема создания автоматизированной системы управления (АСУ) процессом тестирования программного обеспечения [3, 4]. Одной из частных задач в рамках решения данной проблемы является разработка подсистемы АСУ, предназначенной для составления тест-планов [5]. В ходе подготовки данного

документа без применения специальных средств автоматизации у специалиста по тестированию могут возникать сложности по корректному подбору значений ряда атрибутов, что может негативно отразиться на выполнимости тест-плана.

Например, в ходе планирования требуется подобрать наиболее подходящие для данного программного продукта методы разработки тест-кейсов. Для сложной программы, представляющей взаимосвязь множества отдельных программных модулей и характеризуемой большим количеством различных требований (как функциональных, так и нефункциональных), при составлении тест-плана необходимо выбрать те модули, подсистемы, требования, которые будут или, наоборот, не будут подвергаться проверке на данном этапе программного проекта.

Таким образом, при создании тест-плана применение АСУ фактически должно способствовать решению задачи оптимизации [3, 5]: требуется максимизировать функцию оценки эффективности составления тест-плана, зависящую от множества значений атрибутов плана, минимизировать функцию оценки требуемых ресурсов и при этом учесть возможные ограничения на ресурсы (в частности, программные, аппаратные, временные).

На основе анализа атрибутов тест-плана [1, 5] сформулированы функциональные требования к подсистеме планирования АСУ, формализованно описанные с применением диаграммы вариантов использования UML (рис. 1). Как видно на диаграмме, в ходе разработки тест-плана тестировщиком выполняются следующие задачи: описание цели разработки приложения; выбор областей, подвергаемых и не подвергаемых тестированию; выбор тестовой стратегии; определение критериев (например, критериев приостановки, возобновления, завершения тестирования); определение программных, аппаратных, финансовых, временных, человеческих ресурсов; определение ролей специалистов в процессе тестирования, областей их ответственности; оценка рисков; определение тестовой документации и процесса ее подготовки; определение необходимых метрик; создание расписаний разработки и выполнения тест-кейсов.

Задание значений атрибутов может выполняться либо посредством ввода произвольного текста, либо ввода числа, либо выбора значения из перечня. Для многих атрибутов системой может быть сформировано рекомендуемое значение. АСУ позволяет специалисту помимо стандартных атрибутов добавлять свои атрибуты тест-плана.

Типовой процесс разработки тест-плана с применением АСУ представлен на рис. 2 в форме диаграммы деятельности UML. Как видно из рис. 2, система позволяет генерировать советующие воздействия для специалиста о подборе рекомендуемых значений атрибутов тест-плана на основе накопленных данных о программных проектах.



Рис. 1. Функциональные требования к подсистеме планирования



Например, на основе имеющихся данных об областях тестирования (модули программного продукта, требования к продукту) АСУ позволяет определить наиболее важные области для включения в тест-план в качестве подвергаемых тестированию.

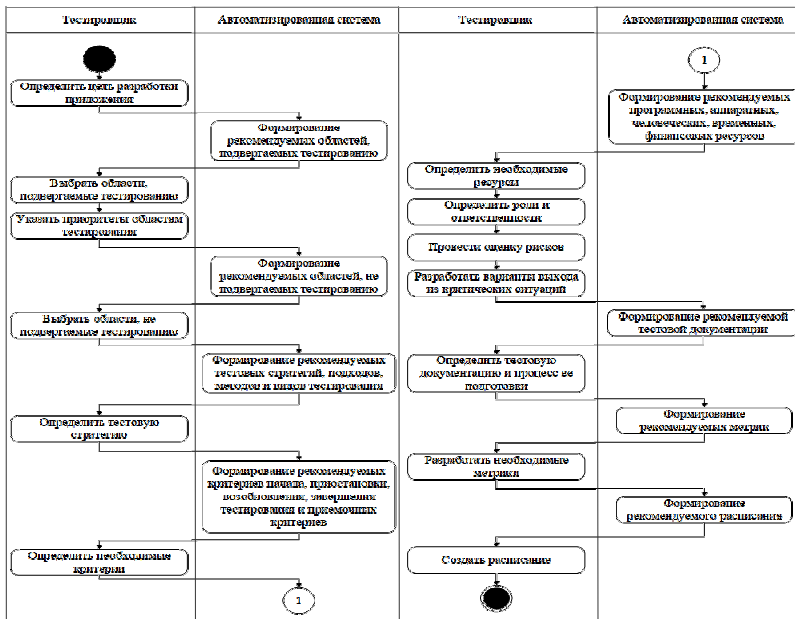


Рис. 2. Типовой процесс разработки тест-плана

| Тест-план 3   |   |
|---------------|---|
| Тест-план 1   | <p><b>Цель:</b> Обеспечение корректного просмотра веб-страниц, содержания веб-документов, компьютерных файлов и их каталогов, а также управления веб-приложениями.</p> <p><b>Области, подвергаемые тестированию:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ПТ-1: Запуск и остановка приложения</li> <li>ПТ-2: Настройка приложения</li> <li>АК-1: Высокая производительность</li> </ul> <p><a href="#">Добавить область</a></p> <p><b>Области, не подвергаемые тестированию:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>О-1: Кроссплатформенность</li> </ul> <p>Комментарий:<br/> <input type="text" value="Введите комментарий"/></p> <p><a href="#">Добавить область</a></p> |
| Тест-план 2   |   |
| Тест-план 3 > |   |
| Тест-план 4   |   |
| Тест-план 5   |   |

Рис. 3. Пример макета экранной формы редактирования тест-плана

На основе выбранных областей тестирования АСУ может порекомендовать наиболее эффективные методы тестирования.

Проанализировав рекомендованные системой значения атрибутов, специалист сможет принять окончательное решение о том, использовать эти значения или внести в них коррективы.

Реализованы макеты пользовательских веб-интерфейсов подсистемы. Пример макета веб-интерфейса подсистемы планирования представлен на рис. 3.

Перспективами дальнейшего развития подсистемы составления тест-планов является совершенствование алгоритмов для подбора рекомендуемых значений атрибутов, основанных на применении нейронных сетей [3], позволяющих определять различные зависимости на основе архива данных о программных проектах.

### **Библиографический список**

1. Куликов С.С. Тестирование программного обеспечения. Базовый курс. – Минск: Четыре четверти, 2017. – 312 с.

2. Орлов С.А., Цилькер Б.Я. Технологии разработки программного обеспечения: учеб. для вузов. – 4-е изд. (Стандарт третьего поколения). – СПб.: Питер, 2012. – 608 с.

3. Полевщиков И.С., Файзрахманов Р.А. Автоматизированное управление тестированием программных систем с применением нейронных сетей // Инженерный вестник Дона. – 2018. – № 4. – URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5283](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5283)

4. Тютюных А.А., Полевщиков И.С. Разработка автоматизированной системы управления процессом тестирования программного обеспечения // Автоматизированные системы управления и информационные технологии: материалы всерос. науч.-техн. конф.; г. Пермь, 17 мая 2018 г. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2018. – Т. 1. – С. 104–109.

5. Полевщиков И.С., Тютюных А.А. Автоматизация управления фазой планирования при тестировании сложных программных систем // Научно-технический вестник Поволжья. – 2018. – № 12. – С. 281–283.

### **Сведения об авторах**

**Полевщиков Иван Сергеевич** – старший преподаватель кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы», Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: i.s.polevshchikov@mail.ru

**Тютюных Артём Александрович** – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: artbox1g@gmail.com

### **About the authors**

**Polevshchikov Ivan Sergeyeovich** – Senior Lecturer of the Information Technologies and Automated Systems department Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: i.s.polevshchikov@mail.ru

**Tutyunykh Artyom Aleksandrovich** – Master Student Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: artbox1g@gmail.com

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ ДОБЫЧЕ НЕФТИ**

**Ф. Хадавимогаддам, М.Г. Мостаджеран**

Российский государственный университет нефти и газа  
им. И.М. Губкина, Москва

В статье рассмотрены аспекты использования искусственного интеллекта при добыче нефти, а также приведен пример использования нейронных сетей для расчета давления насыщения на некоторых месторождениях Ирана.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, нейронные сети, свойства нефти.

## **USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN OIL PRODUCTION**

**F. Hadavimoghaddam, M.G. Mostajeran**

Russian State University of Oil and Gas named after I.M. Gubkina, Moscow

In this article the aspects of using artificial intelligence in oil production are considered and also as a example provided evaluation of neural network to predict bubble point pressure from some Iranian reservoirs.

**Keywords:** Artifical intelligence, neural network, Oil properties.

В течение последних двух десятилетий в нефтяной промышленности во всем мире растет процесс внедрения машин с искусственным интеллектом. Этот рост обусловлен появлением и ростом в этой области специалистов, а также большим количеством тематических исследований и публикаций.

Искусственный интеллект – это технология создания интеллектуальных машин. Искусственный интеллект посвящен разработке программ, способных заставить компьютеры выполнять задачи, которые ранее выполнялись человеком. Исследования искусственного интеллекта делятся на две основные категории; исследования, которые пытаются имитировать работу человеческого мозга, и исследования, которые применяют методологии мышления. Первый – это искусственные нейронные сети, а второй – классический искусственный интеллект. С тех пор, как в середине 1980-х гг. методы искусственного интеллекта стали согласовываться с традиционной архитектурой компьютерного оборудования, стали доступны их приложения для разведки и добычи нефти. Искусственные нейронные сети, системы нечеткой логики и экспертные системы – три технологии искусственного интеллекта, которые востребованы в нефтяной промышленности [6].

Искусственные нейронные сети, биологически вдохновленные методики вычислений, имеют способность к обучению, имитируя метод обучения, используемый человеческим мозгом. Это взаимосвязанная сборка простых обрабатывающих элементов, блоков или нейронов, функциональность которых в значительной степени основана на нейроне мозга. Способность сети к обработке сохраняется в сильных сторонах или весах соединения между блоками, получаемых в процессе адаптации или обучения на основе набора обучающих шаблонов.

Нейронные сети хорошо подходят для сложных задач. Как правило, они имеют большую степень свободы, поэтому они могут охватить нелинейность. Процесс изучается лучше, чем традиционные методы регрессии. Нейронные сети относительно не чувствительны к шуму данных, поскольку они способны определять основную взаимосвязь между входами и выходами модели, что приводит к хорошей способности к обобщению. Модель нейронной сети может быть подвергнута дополнительному обучению для адаптации к новым ситуациям, в которых ее производительность ввода-вывода неадекватна (рис. 1).

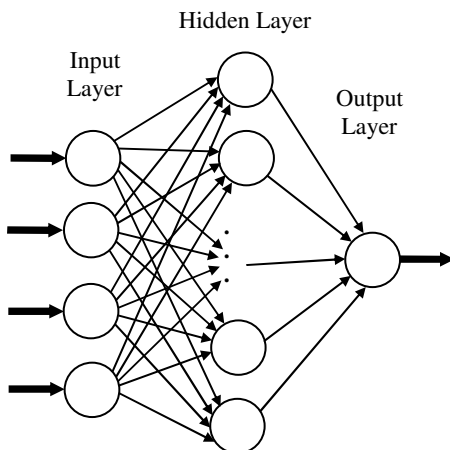


Рис. 1. Схема системы нейронных сетей

Экспертные системы, также известные как системы, основанные на знаниях, представляют собой программы, которые содержат базу знаний и набор алгоритмов или правил, которые выводят новые факты из знаний и поступающих данных. Экспертная система использует базу знаний человеческого опыта для предоставления экспертных советов и помощи в решении проблем. Степень решения проблем зави-

сит от качества данных и правил, полученных от человека-эксперта. Экспертные системы позволяют накопить человеческий опыт и сохранить его в компьютере. После сохранения опыт может быть извлечен в любое время и использован для решения проблем в специализированной области. Экспертные системы после успешного развития обеспечивают постоянную базу знаний. Эта база может быть легко перенесена в сжатой и экономичной форме. Экспертные системы также могут быть использованы для улучшения работы отдельных лиц благодаря включению знаний других экспертов в этой области [7] (рис. 2).

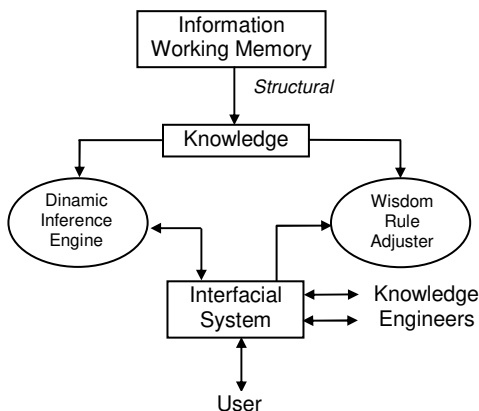


Рис. 2. Схема экспертной системы

Программа экспертной системы состоит из трех частей: базы знаний, механизма логического вывода и пользовательского интерфейса. База знаний – это первая часть экспертной системы, которая содержит все знания или опыт в форме правил и фактов. Этот этап требует приобретения или сбора доступных знаний, а затем хранения этих знаний с использованием языка представления знаний в форме, распознаваемой компьютером. Экспертная система вырабатывает ответы, выполняя базу знаний через механизм логического вывода (программное обеспечение, которое взаимодействует с пользователем и обрабатывает результаты из правил и данных в базе знаний). Таким образом, механизм логического вывода обеспечивает путь, который направляет человека к решению. Пользовательский интерфейс – это та часть, которая устанавливает связь между пользователем и экспертной программой. Он запрашивает ввод от пользователя и представляет пользователю результаты, полученные из экспертной системы.

**Оценка свойств PVT.** Реализация нейронной сети, вектор регрессии и функциональные сети были использованы для прогнозирования «давление–объем–температура» (PVT) свойств нефти. Вместо обычного точечного прогнозирования по одной или нескольким данным, который описывается кривой, подход прогнозировал PVT в указанном диапазоне требуемых пластовых давлений. Форма предсказанных кривых была гладкой и соответствовала экспериментальным кривым. Ниже приведена таблица, в которой сравнивали точность методики нейронных сетей с другими известными методиками расчета свойств нефти [1–7]. В этой работе использовались 30 образцов сырой нефти из иранских месторождений [8] для оценки применимости модели искусственных нейронных сетей.

Сравнение точности разных методика расчета свойства нефти

|                                 | Al-Mahroun | Standing | Standing (Middle East) | Vasquez-Beggs | Искусственные нейронные сети |
|---------------------------------|------------|----------|------------------------|---------------|------------------------------|
| Относительная ошибка, %         | 5,29       | 7,1      | 19,43                  | -15,4         | 0,56                         |
| Средняя относительная ошибка, % | 12,1       | 11,4     | 20,2                   | 17,1          | 1,78                         |

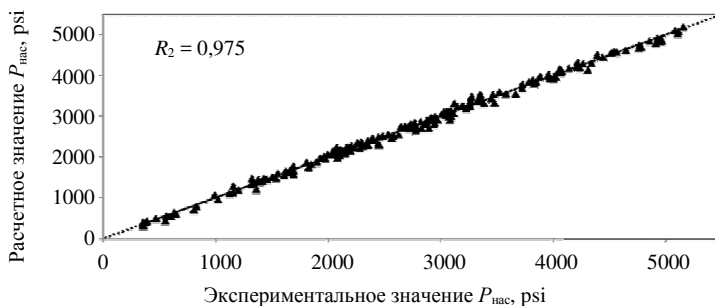


Рис. Оценка давления насыщения по модели нейронных сетей для некоторых месторождений Ирана

Результаты и анализ применения искусственного интеллекта для расчета свойств нефти представлены в таблице и на рис. 3.

### Библиографический список

1. Al-Marhoun M.A. PVT correlations for Middle East crude oils // J. Pet. Technol. – 1988. – 40(5). – P. 650–666.
2. Al-Marhoun M.A. New correlations for formation volume factors of oil and gas mixtures // J. Can. Pet. Technol. – 1992. – 31. – P. 22–26.

3. Al-Marhoun M.A. Evaluation of empirically derived PVT properties for Middle East crude oils // J. Pet. Sci. Eng. – 2003. – 42. – P. 209–221.

4. Standing M.B. A pressure-volume-temperature correlation for mixtures of California oils and gasses // Drilling and Production Practice. Tulsa, OK: American Petroleum Institute. – 1947. – P. 275–278.

5. Vasquez M.E., Beggs H.D. Correlation for fluid physical property prediction // J. Pet. Technol. – 1980. – 32. – P. 968–970.

6. Al-Fattah S.M. Artificial-Intelligence Technology Predicts Relative Permeability of Giant Carbonate Reservoirs. Paper SPE 109018 presented at the SPE Offshore Europe Conference, Aberdeen, Scotland, U.K. – 4–7 September 2007.

7. Abu-Mostafa Y.S., Magdon-Ismail M., Lin H.T. Learning from data. AML Book, AMLbook.com. – 2012.

8. Hadavimoghaddam F. Introducing a new method to predict PVT Properties from Russian and Iranian reservoir // Proceeding of International Student technical conference. – November 2018, Freiberg-Germany.

### **Сведения об авторах**

**Хадавимогаддам Фахиме** – аспирант кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных месторождений» Российского государственного университета нефти и газа (Национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина, Москва; Oil and gas Consultant, Karandish Data Law Firm, Islamic republic of Iran, e-mail: Hadavimoghaddam.f@gubkin.ru

**Мостаджеран Гортани Масуд** – аспирант кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных месторождений» Российского государственного университета нефти и газа (Национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина, Москва, e-mail: Mostajerang.m@gubkin.ru

### **About the authors**

**Hadavimoghaddam Fahime** – Graduate Student Department Faculty of Oil and Gas Field Development Russian State University of Oil and Gas (National Research University) named after I.M. Gubkina, Moscow; Oil and gas Consultant, Karandish Data Law Firm, Islamic republic of Iran, e-mail: Hadavimoghaddam.f@gubkin.ru

**Mostajeran Gortani Masoud** – Graduate Student Department Faculty of Oil and Gas Field Development Russian State University of Oil and Gas (National Research University) named after I.M. Gubkina, Moscow, e-mail: Mostajerang.m@gubkin.ru



## АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТРЕНАЖЕРОВ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ СЕНСОМОТОРНЫМ НАВЫКАМ

**А.В. Шушарина, И.С. Полевщиков**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

В статье представлены результаты решения актуальной задачи анализа и систематизации информации о разработанных компьютерных тренажерах в области обучения сенсомоторным навыкам. На основе проведенного анализа выявлены наиболее значимые критерии, которые можно использовать как рекомендации для компьютерного тренажера оператора портального крана.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 18-38-00835.*

**Ключевые слова:** компьютерный тренажер, сенсомоторные навыки, профессиональные компетенции.

## ANALYSIS AND DEVELOPMENT PROSPECTS OF COMPUTER SIMULATORS FOR TRAINING SENSORIMOTOR SKILLS

**A.V. Shusharina, I.S. Polevshchikov**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

The article presents the results of solving the actual problem of analyzing and systematizing information about the developed computer simulators in the field of training sensorimotor skills. Based on the analysis performed, the most significant criterias were identified that can be used as recommendations for the computer simulator of the portal crane operator.

*The reported study was funded by RFBR according to the research project № 18-38-00835.*

**Keywords:** computer simulator, sensorimotor skills, professional competence.

Во многих областях человеческой деятельности (медицина, электроэнергетика, авиация, различные технологические процессы и т.д.) сенсомоторные навыки являются важнейшим специфическим элементом профессиональных компетенций.

Сенсомоторными навыками называют освоенные до степени автоматизма системы движений как операций в структуре предметной деятельности человека [1]. Навыки данного вида представляют комплексы моторных (двигательных) и сенсорных (отвечающих за восприятие машины и технологической среды) навыков [2].

Наиболее характерным примером технологических процессов, для эффективного и безопасного выполнения которых требуются сенсомоторные навыки, являются погрузочно-разгрузочные, подъемно-транспортные и экскаваторные работы, широко применяемые в народном хозяйстве (строительство, лесная промышленность, добыча полезных ископаемых, внутрицеховая транспортировка грузов и т.д.) [2]. Обучение работников указанных отраслей с целью совершенствования их компетенций и, в частности, уровня сформированности сенсомоторных навыков является одной из важнейших задач на сегодняшний день. Известно, что обучение рабочего персонала на реальных объектах бывает затруднительно или вовсе невозможно по ряду причин: угроза жизни и здоровью обучаемого и инструктора; крупные финансовые затраты на использование реальных объектов; возможность неполадок и аварийных ситуаций во время обучения [2]. В связи с этим возникает необходимость замены реального объекта его моделью. Наиболее распространенной заменой являются компьютерные тренажеры.

Тренажер – это техническое средство обучения, позволяющее имитировать трудовые условия в учебном процессе [2, 3]. Компьютерный тренажер является разновидностью тренажера и представляет, как правило, сложный программно-аппаратный комплекс, состоящий из средств моделирования, анализа, симуляции и визуализации [4].

Каждая профессиональная область обладает своими особенностями, и не всегда готовые тренажеры можно модифицировать под свои нужды, в таких случаях возникает необходимость создания своего собственного тренажера. Как правило, разработка компьютерного тренажера начинается с понимания его места на рынке и изучения существующих аналогов. Поиск подобной информации часто представляет собой трудоемкую задачу, поскольку требуется изучить достаточно большое количество разрозненных сведений из различных источников (в частности, книг и научных статей).

Поэтому актуальной является задача анализа и систематизации информации о разработанных компьютерных тренажерах в области обучения сенсомоторным навыкам. Выделенные общие черты послужат критериями для сравнительного анализа компьютерных тренажеров. На основе проведенного анализа будут выделены наиболее значимые критерии, которые можно использовать как рекомендации для компьютерных тренажеров операторов перегрузочных машин.

Компьютерный тренажер в общем случае включает в себя три основных взаимосвязанных составляющих [5]: тренажерную модель; информационную модель; модель обучения. На рис. 1 представлена общая схема тренажера, состоящая из указанных элементов.

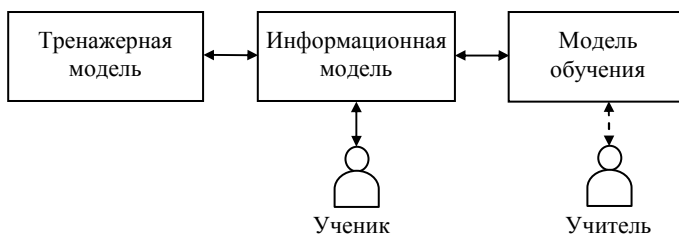


Рис. 1. Обобщенная схема тренажера

В табл. 1 приведено описание каждого элемента из рис. 1.

Таблица 1

#### Описание элементов тренажера

| Элемент тренажера                            | Описание элемента   |
|--|---|
| Тренажерная модель                           | Имитатор предмета тренинга. Представляет виртуальную или реальную копию объекта тренинга. На основе этой модели осуществляется обучение   |
| Информационная модель (интерфейс обучаемого) | Является связующим звеном между субъектом тренинга и тренажерной моделью, поскольку посредством информационной модели обучаемый может наблюдать за состоянием тренажерной модели и влиять на нее. Вид данной модели может варьироваться от простой приборной панели до виртуальной реальности   |
| Модель обучения                              | Содержит инструментальную (контроль и организация тренинга), методическую (дидактика и упражнения) и оценочную (результаты и качество обучения) составляющие тренинга. Отвечает за контроль и оценку качества обучения и может быть представлена как в виде рабочего места преподавателя/инструктора, так и в виде автоматизированной обучающей системы (АОС) |

На основании исследованных тренажеров [6–27] выявлен ряд обобщенных критериев, согласно которому составлена классификация, представленная в табл. 2 (номера в круглых скобках после названия тренажера будут использованы ниже в табл. 3).

Таблица 2

**Классификация компьютерных тренажеров по аппаратным платформам и обучающим возможностям**

| Наименование   | Без аппаратной части         | С аппаратной частью (PC, кресло-пульт, контейнеры)  | С аппаратной частью (AR, VR)   |
|--|------------------------------|---|--|
| С обучающей системой/интеллектуальным выбором упражнений | АСО<br>“Машинист крана” (20) | Медицинский тренажер<br>SimSurgery (10)   | –  |
| С набором упражнений, назначаемых инструктором           | Тренажер<br>RTsim (6)        | Корнет (1)<br>ТРЕНАРИЗ (3)<br>ТК учебного центра ВМФ (4)<br>Гидроакустический ТК “ПЛАТИНА-ЭТ” (5)<br>Тактический тренажер “Рубеж” (8)<br>КТ экипажа вертолета МИ-28Н (9)<br>КТ сварщика МДТС-05М (2)<br>Vortex Port simulator (11)<br>КТ LiSIM (12)<br>Тренажер козлового крана Forward (16)<br>КТ Crane Simulator GlobalSIM (13)<br>Крановый тренажер КранМастер (15)<br>КТ KoneCranes (18)<br>Тренажер CS800 ABB (19)<br>TRANSAS (21) | Тренажеры GlobalSIM в комплектации VR/AR<br><br>LiSIM в комплектации AR<br><br>KoneoCranes в комплектации VR |
| Симулятор  | Тренажеры SIKE (7)           | Тренажеры SIKE (7)<br>Симулятор крана Спец-ПрофМат (14)   | Симулятор SimCrane3D+ с кинестетическим и стереоскопическим видением (17)                                    |

Также выявлены общие черты и проведено сравнение компьютерных тренажеров (некрановые тренажеры).

В табл. 3 представлены результаты сравнения тренажеров для выработки сенсомоторных навыков (номер столбца соответствует номеру тренажера из табл. 2).

Таблица 3

**Сравнительный анализ компьютерных тренажеров  
для выработки сенсомоторных навыков**

| Отличительная черта   | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| Рабочее место обучаемого  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| Рабочее место снабжено реальными управляющими элементами  | + | + |   | + | + |   | + | + | + | +  |
| Рабочее место снабжено виртуальными управляющими элементами (применяются технологии VR)   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| Все управляющие элементы тренажера расположены на экране монитора   |   |   | + |   |   | + |   |   |   |    |
| В тренажере реализована имитация ощущений от реального использования объекта  | + | + | + |   |   |   |   | + | + |    |
| Обучение  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| В тренажере присутствует рабочее место инструктора  | + | + | + | + | + | + |   | + |   |    |
| Инструктор может управлять процессом обучения (формировать и настраивать окружение, изменять параметры тренажерной модели и модели обучения, формировать задачи, оценивать выполненные задания) | + | + | + | + |   | + |   |   |   |    |
| Для инструктора доступен режим «наблюдателя»  |   |   | + |   |   |   |   | + |   |    |
| В тренажере работает автоматизированная обучающая система (без инструктора)   |   | + |   |   |   |   | + |   | + | +  |
| В тренажер внедрен блок теоретических сведений (текстовые лекции, аудио- и видео-уроки, нормативные акты)   |   | + |   |   |   | + |   |   |   | +  |
| Реализована автоматическая система оценки действий обучаемого   | + | + |   | + |   | + | + |   |   | +  |
| Наличие интерфейса для вывода результатов оценки действий обучаемого  | + | + |   |   | + | + | + |   |   | +  |
| Рейтинговая система   |   |   |   |   |   |   |   |   |   | +  |
| Настройка сложности упражнения  |   |   |   |   |   |   |   |   |   | +  |
| Возможность просмотра повтора выполненного упражнения   |   |   |   | + |   |   |   |   |   | +  |
| Возможность сертификации с помощью компьютерного тренажера  |   |   |   |   |   |   |   |   |   | +  |
| Режимы обучения   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| Режим демонстрации  |   |   | + |   |   | + |   |   |   | +  |
| Режим обучения «с подсказкой»   |   | + | + |   |   | + |   |   |   | +  |
| Режим обучения «без подсказки»  | + | + | + |   | + | + | + |   | + | +  |
| Зачет   | + | + | + | + | + | + |   | + |   | +  |
| Командный (многопользовательский) режим   |   |   | + | + | + |   |   | + | + |    |
| Режимы работы   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| Тренинг осуществляется в нормальном режиме работы объекта управления  | + | + | + | + | + | + | + | + | + | +  |

| Отличительная черта  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| Тренинг осуществляется в аварийном режиме работы объекта управления  |   |   | + | + |   | + |   |   | + | +  |
| Тренинг осуществляется в режиме обучения (функциональность ограничена)   | + | + | + |   |   | + |   |   |   | +  |
| Моделирование объекта управления   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| Математические модели объектов на сцене  | + |   | + | + | + | + | + | + | + | +  |
| Математическая модель объекта управления   | + | + | + |   | + | + | + | + | + | +  |
| Реалистичное моделирование взаимодействия объектов на сцене  | + |   | + | + |   | + |   | + | + | +  |
| В тренажере присутствуют независимые участники реального процесса работы на управляемом объекте (ездят машины, ходят люди, другие участники имитируемого процесса) |   |   |   |   |   |   |   | + | + |    |
| Возможности при работе с компьютерным тренажером   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| Обучаемый может самостоятельно выбирать, с какими объектами он будет работать (грузы, материалы)   |   | + | + |   |   |   |   | + |   |    |

Проведенный анализ современных крановых тренажеров [2, 9, 18–27] позволил выявить, что большинство из них обладает схожим набором возможностей для обучения операторов, в частности, высокое качество имитации объектов и процессов реального мира (в части 3D-модели, звук, математические модели оборудования и процессов), что позволяет создать динамическую модель мира с развитием ситуаций в реальном времени, имитацией нештатных ситуаций и погодных условий; органы управления тренажеров в значительной степени соответствуют реальному оборудованию.

Однако фактически не производится управление формированием сенсомоторных навыков с учетом специфических особенностей данного вида навыков и деятельности оператора, требующей их применения [2]: процесса овладения комплексом сенсомоторных навыков, основанного на итеративном формировании каждого навыка у будущего оператора; поэтапного формирования навыка посредством постепенного усложнения выполняемых упражнений путем добавления новых оцениваемых показателей качества; определения фактического уровня сформированности навыка при неполноте исходных данных о нормативах выполнения технологической операции и с учетом «значимости» каждого показателя качества.

По результатам проведенного исследования можно сделать вывод, что при разработке тренажера оператора крана для обеспечения

его конкурентоспособности на рынке необходимо обеспечить сочетание всех преимуществ рассмотренных тренажеров.

Результаты исследования планируется использовать при совершенствовании разрабатываемого на кафедре ИТАС ПНИПУ тренажера AnyCrane, предназначенного для выработки сенсомоторных навыков у операторов порталных кранов [2]. В отличие от аналогов при разработке данного тренажера уделяется особое внимание адекватности физической модели перегрузочного процесса и разработке АОС, в частности, математических моделей и алгоритмов в области автоматизированного управления формированием сенсомоторных навыков [2, 28].

### **Библиографический список**

1. Психология человека от рождения до смерти / под ред. А.А. Реана. – СПб., 2002. – 656 с.

2. Полевщиков И.С. Модель и алгоритмы системы автоматизированного управления формированием сенсомоторных навыков у операторов технологических установок с применением компьютерных тренажеров: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.10. – Пермь, 2018.

3. Профессиональная педагогика: учебник для студ., обучающихся по пед. спец. и направл. / под ред. С.Я. Батышева, А.М. Новикова. – 3-е изд., перераб. – М.: ЭГВЕС, 2009. – 456 с.

4. Грибова В.В., Петряева М.В., Федорищев Л.А. Разработка виртуального мира медицинского компьютерного обучающего тренажера // Дистанционное и виртуальное обучение. – 2011.– № 9. – С. 56–66.

5. Дозорцев В.М. Компьютерные тренажеры для обучения операторов технологических процессов. – М.: СИНТЕГ, 2009. – 372 с.

6. Тактические тренажеры ближнего боя // Тренажеры для армии. – URL: [bizorg.ru/trenazhery-imitatory-voennye-dlya-armii-r/p3951253-takticheskie-trenazhery-blizhnego-boya](http://bizorg.ru/trenazhery-imitatory-voennye-dlya-armii-r/p3951253-takticheskie-trenazhery-blizhnego-boya) (дата обращения: 29.01.2018).

7. Комплекс учебных средств для нового ударного боевого вертолета МИ-28Н // Авиационные технологии «Динамика». – URL: [dinamika-avia.ru/mcenter/forum/detail.php?id=1134](http://dinamika-avia.ru/mcenter/forum/detail.php?id=1134) (дата обращения: 29.01.2018).

8. Виртуальные симуляторы в медицине: SimSurgery // MedSim. – URL: [medsim.ru/goods/simsurgery.html](http://medsim.ru/goods/simsurgery.html) (дата обращения: 29.01.2018).

9. Официальный сайт компании Vortex. – URL: <https://www.cm-labs.com/> (дата обращения: 01.09.2018).

10. Принципы построения учебно-тренировочных средств и опыт создания тренажера оперативно-тактического ракетного комплекса // Вестник РГРТУ. – 2016. – № 57. – С. 94–104.

11. Шарафутдинов А.А. Совершенствование оценки эффективности совместной тренажерной подготовки персонала объектов ТЭК и личного состава пожарной охраны: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03. – Уфа, 2016.

12. Осипова В.А., Данькина Г.Б. Повышение эффективности обучения операторов технологических процессов на базе компьютерных тренажеров // Системы. Методы. Технологии. – 2011. – №. 3. – С. 106–114.

13. Мельник М.В. Совершенствование обучения учащихся рабочей профессии «сварщик» с применением сварочных тренажеров (имитаторов) // Вестник Белорус.-Рос. ун-та. – 2015. – № 2(47). – С. 48–57.

14. Опыт разработки учебно-тренировочных средств для военноморского флота / А.Ф. Базлов, С.Н. Соколов, В.Б. Рисунков, А.М. Стручков // Программные продукты и системы. – 2016. – № 1(113). – С. 27–31.

15. Тренажеры и обучающие системы / НИИ «Центрпрограммсистем». – URL: [cps.tver.ru/trenageri\\_i\\_obuchaushie\\_sistemi/izdeliya/platinaet/](http://cps.tver.ru/trenageri_i_obuchaushie_sistemi/izdeliya/platinaet/) (дата обращения: 25.01.2018).

16. О динамическом компьютерном тренажере RTsim // RTsim – компьютерные тренажеры для нефтегазового сектора. – URL: [rtsim.ru/rtsim/](http://rtsim.ru/rtsim/) (дата обращения: 28.01.2018).

17. Тренажерный комплекс «Обработка стали на АПК» // SIKE Software. – URL: [shop.sike.ru/shop/trenazherniy-kompleks-obrabotka-stali-na-apk/](http://shop.sike.ru/shop/trenazherniy-kompleks-obrabotka-stali-na-apk/) (дата обращения: 28.01.2018).

18. Официальный сайт компании «Liebherr». – URL: <https://www.liebherr.com> (дата обращения: 03.09.2018).

19. GlobalSim: Crane Simulators & Training Systems. – URL: <https://www.globalsim.com> (дата обращения: 03.09.2018).

20. СпецПрофМат: Разработки. – URL: <http://specprofmat.ru/> (дата обращения: 04.09.2018).

21. Медиавизор: Тренажер оператора козлового крана. – URL: [mediavisor.ru/produkcija/programmno-apparatni-kompleks/](http://mediavisor.ru/produkcija/programmno-apparatni-kompleks/) (дата обращения: 04.09.2018).

22. FORWARD: Прайс-лист тренажеров. – URL: [autotrenajer.ru/cost/price-6](http://autotrenajer.ru/cost/price-6) (дата обращения: 05.09.2018).



23. SimCrane 3D+: A Crane Simulator with Kinesthetic and Stereoscopic Vision. – URL: [airitilibrary.com/Publication/alDetailedMesh?docid=U0001-1708201107473100](http://airitilibrary.com/Publication/alDetailedMesh?docid=U0001-1708201107473100) (дата обращения: 06.09.2018).
24. Официальный сайте Конесranes. – URL: <https://www.konecranes.com> (дата обращения: 07.09.2018).
25. ABB: Crane simulator for operator training. – URL: [new.abb.com/ports/solutions-for-marine-terminals/our-offerings/container-terminal-automation/crane-simulator-for-operator-training](http://new.abb.com/ports/solutions-for-marine-terminals/our-offerings/container-terminal-automation/crane-simulator-for-operator-training) (дата обращения: 08.09.2018).
26. Автоматизированная система обучения «Машинист крана». – URL: [is-it.ru/p\\_crane.html](http://is-it.ru/p_crane.html) (дата обращения: 09.09.2018).
27. Transas Crane Simulator. – URL: [alfamarine.com/transas-crane-simulator/](http://alfamarine.com/transas-crane-simulator/) (дата обращения: 10.09.2018).
28. ANYCRANE: Towards a better Port Crane Simulator for Training Operators / R.A. Fayzrakhmanov, I.S. Polevshchikov, A.F. Khabibulin, F.I. Shklier, R.R. Fayzrakhmanov // Proc. of the 15th International Industrial Simulation Conference (ISC'2017), Warsaw (Poland), 31 May–1 June 2017. – P. 85–87.

### Сведения об авторах

**Шушарина Анастасия Владиславовна** – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: [ana.shusharina@gmail.com](mailto:ana.shusharina@gmail.com)

**Полевщиков Иван Сергеевич** – старший преподаватель кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, e-mail: [i.s.polevshchikov@mail.ru](mailto:i.s.polevshchikov@mail.ru)

### About the authors

**Shusharina Anastasia Vladislavovna** – Master Student Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: [ana.shusharina@gmail.com](mailto:ana.shusharina@gmail.com)

**Polevshchikov Ivan Sergeevich** – Senior Lecturer of the Information Technologies and Automated Systems department Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: [i.s.polevshchikov@mail.ru](mailto:i.s.polevshchikov@mail.ru)

## КОНЦЕПЦИЯ ЦИФРОВИЗАЦИИ

**Т.В. Бочкарникова, Л.Н. Юдина**

Новосибирский государственный технический университет,  
Новосибирск

В данной статье рассматриваются концепция цифровизации, возможности и области применения.

**Ключевые слова:** киберфизические системы, автоматизация и роботизация, методы искусственного интеллекта, цифровая экономика, математический метод MSET, прогнозирование работы, цифровая среда.

## CONCEPT OF DIGITALIZATION

**T.V. Bochkarnikova, L.N. Yudina**

Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk

The article discusses the concept of digitalization, capabilities and applications.

**Keywords:** cyber-physical systems, automation and robotization, artificial intelligence methods, digital economy, mathematical method MSET, work forecasting, digital environment.

На современном этапе развития общества цифровизация – процесс, который происходит абсолютно во всех сферах деятельности человека. Традиционные сегодня виды жизнедеятельности – от медицинского обслуживания, образования до финансовых услуг – переходят в цифровой формат, что должно их, по замыслу, сделать более качественными, удобными и широкодоступными. Но ряд ученых ставит вопрос: что же несет с собой ЦЭ: свободу или цифровой концлагерь? [1, с. 61]. И в первую очередь это касается промышленного производства. Концепция цифрового производства существенно изменяет деятельность предприятий, которые рассматриваются не просто как производство и персонал. Значительно возрастает роль нематериальных активов – методологий, бизнес-процессов, информации, компетенций, навыков и умений, способности справляться с различными нештатными ситуациями.

Цифровизация связана, прежде всего, с интенсивным развитием информационно-коммуникационных технологий. Очевидно развитие Интернета и мобильных коммуникаций, которые являются базовыми

технологиями цифровизации. Но в итоге эти процессы повлияли на все секторы экономики и социальной деятельности, в том числе на производство, здравоохранение, образование, финансовые услуги, транспорт и т. д. Четвертая промышленная революция стремительно набирает обороты за счет активного внедрения киберфизических систем, автоматизации и роботизации производственных процессов. Так возникает Интернет вещей и даже Интернет «всего» [2, с. 197]. Развитие Интернета вещей и цифровых технологий приводит не только к созданию новых секторов и рынков, но и к кардинальной трансформации традиционных и инфраструктурных отраслей. Так, значительные изменения, ставшие результатом перехода к новому технологическому укладу, сегодня наблюдаются в сфере электроэнергетики.

В первую очередь возникает возможность эффективного использования ресурсов для достижения бизнес-целей за счет сокращения времени на планирование наиболее оптимального варианта производства, обеспечения прозрачности и управления на основе данных, полученных в режиме реального времени. Для достижения этих целей на всех этапах производства процесс должен быть полностью управляемым и прозрачным. Все эти явления в нашей жизни рождают новую реальность – цифровую экономику, где основой производства должны стать не станки и оборудование, а программное обеспечение и технологии. Причем именно новые технологии: роботизация производства, трехмерное моделирование и печать, компьютерное зрение, промышленный Интернет вещей, виртуальная реальность, машинное обучение, цифровой двойник завода и многое другое.

Цифровизация – это результат внедрения и дальнейшего развития информационно коммуникационных технологий (ИКТ), основанных на использовании двоичного кода.

Развитие технологической инфраструктуры и использование больших баз данных вызвали масштабную цифровую трансформацию нашего общества. И если предыдущий этап цифровизации характеризовался расширением доступа в Интернет для миллионов потребителей, то новый этап отличает интеграция широкого спектра цифровых сервисов, продуктов и систем в киберфизическую систему. Согласно оценкам экспертов и аналитиков в области цифровой экономики, уже в ближайшем десятилетии около половины товаров и услуг на потребительском и инвестиционном рынках будут абсолютно или относительно «новыми умными» («умный город», «умный дом», «умная дорога», «умная машина», «умная одежда» и т.д.) [5, с. 246–247]. При

внедрении инструментов цифровизации создаются условия для получения дополнительной прибыли, объединяя виртуальную реальность и материальный мир, также это информационная безопасность. Благодаря этому возможно одновременно мониторить не один, а сразу многие объекты (например, электростанции), активно используя методы искусственного интеллекта для автоматической диагностики. Цифровизация нашего жизненного хозяйственного пространства, в том числе с помощью таких компаний, как Uber, – это, безусловно, мегатренд современности. Несмотря на неоднозначность бизнес-модели Uber (например, в части финансовой устойчивости компании), благодаря новым технологиям обмена большими данными создаются новые модели ведения бизнеса, а устаревшие – исчезают [3].

Цифровизация – это часть очень большого комплекса, в рамках которого важно развивать накопители энергии нового поколения, энергоэффективность как стратегическую задачу России, технологии обеспечения краткосрочных оперативных резервов, распределенную генерацию, осуществлять переход на газомоторное топливо и при этом не забывать о том, что все это еще и часть решения экологических проблем.

В программе цифровой экономики заданы ключевые цели и уровни, для всех отраслей имеются сквозные цифровые технологии. На промышленных предприятиях ключевыми являются большие данные, элементы искусственного интеллекта, система распределенного реестра и промышленный Интернет. Это те основные цифровые технологии, которые применимы и востребованы в различных отраслях для различных задач.

Парадигма цифровой экономики представлена таким образом: горизонтальная и вертикальная интеграция внутри корпораций, внутри компаний и внутри отрасли между всеми этапами технологического процесса и производственной цепочки, а также межотраслевая интеграция. Не секрет, что основные цифровые технологии идут из зарубежных стран, которые адаптируются в России. Первые версии системы мониторинга создавались еще на платформах иностранных производителей, при этом происходило изучение, как они работают, как происходят сбор и анализ данных. На основе этого возник проект: в 2012 г. в «РОТЕК» было создано подразделение сервиса энергетических газовых турбин. Одним из направлений долгосрочного сервиса стал удаленный мониторинг и контроль технического состояния оборудования.

Такая система универсальная, ее можно использовать в разных областях и на разных рынках. Состав оборудования на производственных площадках нефтегазовой и химической промышленности схож, и принципы подхода к мониторингу, контролю, прогнозу состояния оборудования тоже достаточно универсальны [4]. Поэтому внедрение подобных систем возможно как на энергетических машинах, так и на любом другом промышленном оборудовании. Цифровизация и переход на современные методы управления дают большие преимущества, в том числе и для топ-менеджмента, который получает абсолютно объективную и прозрачную информацию о состоянии оборудования: достаточно зайти в приложение, в том числе на мобильном устройстве, посмотреть, в каком состоянии находится актив, и принять решение по его дальнейшей работе. В основу системы положен математический метод MSET – техника оценки многомерных состояний, он крайне чувствителен к минимальным отклонениям в работе оборудования, благодаря чему появилась возможность выявлять и прогнозировать отклонения в работе оборудования более чем за два-три месяца до возникновения реальной аварийной ситуации.

Примеры мониторинга и прогнозирования состояния оборудования в режиме реального времени, а также возможности прогнозирования работы оборудования в будущем позволяют достаточно гибко эксплуатировать большое количество распределенного оборудования и делать это эффективно. Также это позволяет рассчитывать экономические характеристики, планирование, оптимизацию, создание решений смежных задач по инвестиционной составляющей (в частности, по замене оборудования, продлению срока службы).

Таким образом, цифровизация процессов актуальна не только на уровне отдельных предприятий, целые отрасли выбирают для себя этот путь развития как единственную возможность соответствовать стремительно меняющимся условиям окружающего мира. Благодаря этому цифровая трансформация промышленности, розничной торговли, государственного сектора и других сфер уже сегодня меняет жизнь каждого человека и каждой компании. Она предполагает максимальное удовлетворение потребностей индивидов за счет использования информационных технологий, цифровой инфраструктуры. Особенностью является повышение эффективности взаимодействия всех участников процесса создания, распределения и обмена товаров и услуг. Основой данной экономики должна стать цифровая среда, обеспечивающая потребности производителей и потребителей при их взаимодействии.

## Библиографический список

1. Катасонов В.Ю. Цифровые финансы. Криптовалюты и электронная экономика. Свобода или концлагерь? – М.: Книжный мир, 2017.
2. Мировой опыт и перспективы развития индустриального (промышленного) Интернета вещей в России. – 19 сентября 2016 г. Исследование J'son&PartnersConsulting [Электронный ресурс]. – URL: [http://json.tv/ict\\_telecom\\_analytics\\_view/mirovoy-opyt-vnedreniya-proektov-v-sfereindustrialnogo-promyshlennogo-interneta-veschey-i-perspektivy-ih-realizatsii-v-rossii--20160919061924](http://json.tv/ict_telecom_analytics_view/mirovoy-opyt-vnedreniya-proektov-v-sfereindustrialnogo-promyshlennogo-interneta-veschey-i-perspektivy-ih-realizatsii-v-rossii--20160919061924)
3. Уберизация всего. Как бизнес-модель Uber и Airbnb меняет традиционные индустрии, и какие еще компании пошли по стопам сетевых гигантов [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.theinternet.com/articles/5942-uberizatsiya-vsego>
4. Цифровизация жизненного пространства стала мегатрендом нашего времени [Электронный ресурс]. – URL: <http://sk.ru/news/b/articles/archive/2015/10/27/cifrovizatsiya-zhiznennogo-prostranstva-stalamegatrendom-nashego-vremeni.aspx>
5. Тушканов И.М., Юдина Т.Н. Форсаж цифровой экономики // Системное моделирование социально-экономических процессов: тр. 39-й Междунар. науч. школы-сем.; г. Санкт-Петербург, 30 сентября – 6 октября 2016 г. / под ред. д-ра экон. наук В.Г. Гребенникова, д-ра экон. наук И.Н. Щепиной. – Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. пед. ун-та, 2016.

## Сведения об авторах

**Бочкарникова Татьяна Владимировна** – студентка Новосибирского государственного технического университета, Новосибирск, e-mail: [udinaln@ngs.ru](mailto:udinaln@ngs.ru)

**Юдина Лилия Николаевна** – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Производственный менеджмент и экономика энергетики» Новосибирского государственного технического университета, Новосибирск, e-mail: [udinaln@ngs.ru](mailto:udinaln@ngs.ru)

## About the authors

**Bochkarnikova Tatiana Vladimirovna** – Student Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, e-mail: [udinaln@ngs.ru](mailto:udinaln@ngs.ru)

**Yudina Liliya Nikolaevna** – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor at the Department of Industrial Management and Energy Economics Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, e-mail: [udinaln@ngs.ru](mailto:udinaln@ngs.ru)

## РАЗРАБОТКА ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ CMU SPHINX

**А.М. Перевалов, Д.С. Курушин**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

В статье описана проведенная работа по разработке языковых моделей для системы распознавания речи CMU Sphinx. В ходе исследования был создан корпус, на основе которого были разработаны языковые модели. Экспериментальное сравнение исходных и созданных нами моделей показало, что в результате работы удалось увеличить точность и снизить время распознавания речи.

**Ключевые слова:** обработка естественного языка, распознавание речи, языковые модели, word error rate, CMU Sphinx.

## BUILDING LANGUAGE MODELS FOR AUTOMATIC SPEECH RECOGNITION SYSTEM CMU SPHINX

**A.M. Perevalov, D.S. Kurushin**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

In this paper we describe our work in developing language models for speech recognition system CMU Sphinx. During the research, corpus and language models were created. Experimental comparison revealed that language models created by us perform better than default models in accuracy and speed of recognition.

**Keywords:** natural language processing, speech recognition, language models, word error rate, CMU Sphinx.

За последние десятилетия появилось большое количество систем распознавания речи. С одной стороны, это коммерческие проекты, такие как Microsoft Speech-To-Text [1], Google Speech API [2] и Яндекс SpeechKit [3]. С другой стороны, существуют системы с открытым исходным кодом, которые позволяют собственноручно контролировать параметры распознавания и интегрировать себя в стороннее программное обеспечение. Среди распознавателей open source выделяют такие системы, как: Julius [4], Kaldi [5], CMU Sphinx [6]. Главными отличиями систем распознавания речи с открытым исходным кодом от коммерческих являются их автономность – независимость

от подключения к Интернету, анонимность, которая достигается за счёт безсетового использования, а также гибкость настроек.

В соответствии с вышеизложенным использование систем позволяет не только создавать такие продукты, которые были бы полностью автономными, работающими в специфической предметной области, но и применять их на предприятиях и в структурах с высокой степенью секретности. Основываясь на исследовании зарубежных ученых [7], в котором проводилось сравнение opensource-систем, был сделан выбор на CMU Sphinx.

Цель исследования – разработать языковые модели для системы распознавания речи, которые бы позволяли осуществлять более точное и быстрое распознавание.

В ходе работы планируется создать словарную и языковую модель для русского языка на основе разработанного корпуса. Также планируются адаптация акустической модели и проведение экспериментов, сравнивая исходные и созданные нами модели, для того чтобы оценить эффективность проведённой работы.

Адаптация исходных языковых моделей началась с выбора предметной области, в которой будет работать система. Был собран языковой корпус, содержащий в себе тексты статей на такие темы как программирование, сети и телекоммуникации, информатика и т.д. На основе данного корпуса были составлены языковая модель и словарная модель.

Акустическая модель была адаптирована на основе двухсот записей различных фраз на тематику выбранной предметной области. Фразы были записаны респондентами в возрасте от 18 до 24 лет мужского и женского пола. Параметры голосовых файлов указаны в табл. 1.

Таблица 1

Параметры аудиозаписей

|                       |                     |
|-----------------------|---------------------|
| Тип файла             | WaveForm Audio File |
| Частота дискретизации | 16000 Гц            |
| Бит                   | 16                  |
| Тип записи            | Моно                |

Тестирование полученных моделей проводилось по следующей методике: каждый тестируемый индивид должен был произнести список из шести фраз (неизменный для всех индивидов), при этом частными измерениями в эксперименте для одного индивида являлись



языковые модели – исходные и адаптированные. В проведении экспериментов приняло участие 4 женщины и 4 мужчины в возрасте 18–24 лет. Итого было произведено 48 записей тестовых данных. Измеряемыми параметрами были точность распознавания (Word Error Rate) [8] и скорость распознавания (Real Time Factor) [8]. Цель данных экспериментов – оценить эффективность проведенной работы по адаптации языковых моделей.

Пример записи эксперимента для одного индивида приведен в табл. 2.

Таблица 2

Запись эксперимента для одного индивида

| № записи | Исходная модель |             | Адаптированная модель |             | Индивид | № Фразы |
|----------|-----------------|-------------|-----------------------|-------------|---------|---------|
|          | Точность (WER)  | Время (RTF) | Точность (WER)        | Время (RTF) |         |         |
| 1        | 100             | 8,3         | 80                    | 2,2         | 1       | 1       |
| 2        | 81,8            | 9,4         | 28                    | 2,2         |         | 2       |
| 3        | 100             | 6,5         | 100                   | 1,6         |         | 3       |
| 4        | 77,8            | 9,1         | 66,6                  | 2,5         |         | 4       |
| 5        | 70              | 7,2         | 60                    | 2,1         |         | 5       |
| 6        | 120             | 10,5        | 20                    | 2,3         |         | 6       |

По результатам экспериментов были построены графики. На рис. 1 изображен график точности (Word Error Rate).

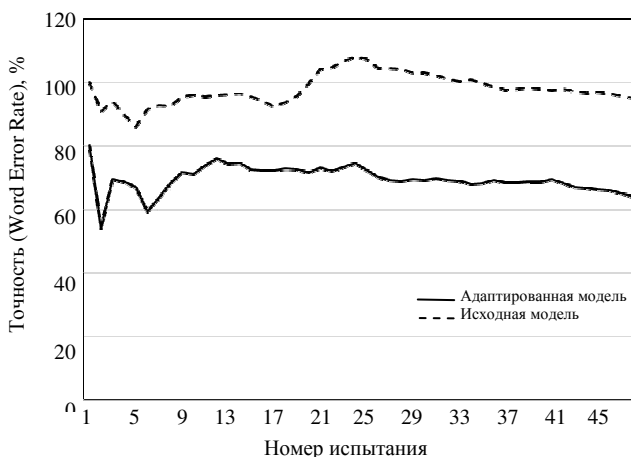


Рис. 1. График Word Error Rate

Из рис. 1 видно, что в результате работы удалось снизить целевой показатель Word Error Rate с 99 на исходных языковых моделях до 62 единиц на адаптированных. Это означает, что точность распознавания речи была увеличена.

На графике Real Time Factor (рис. 2) также видно, что нам удалось сократить целевой показатель с 8 единиц на исходных языковых моделях до 2 единиц на адаптированных.

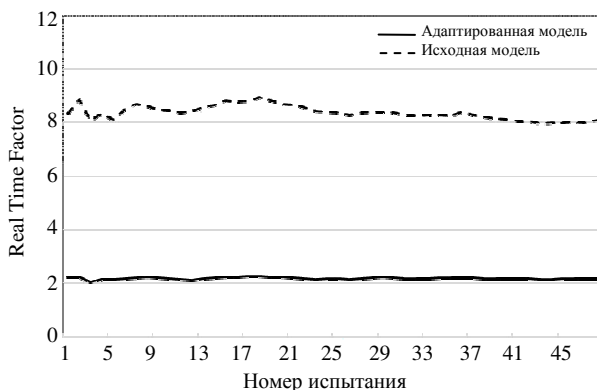


Рис. 2. График Real Time Factor

В ходе данной работы было проведено исследование системы автоматического распознавания речи CMU Sphinx. На основе собранного текстового корпуса были созданы языковая и словарная модели, а также адаптирована акустическая модель. Проведя эксперименты, было сделано заключение, что выполненная работа позволила снизить время распознавания речи, а также увеличить точность распознавания.

Данное исследование планируется продолжить в следующих направлениях:

- расширение языкового корпуса для повышения точности;
- создание языковых моделей для различных предметных областей;
- интеграция разработанного модуля распознавания речи в систему обработки естественного языка.

### Библиографический список

1. Microsoft Speech-To-Text [Электронный ресурс] // Microsoft speech API. – URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/cognitive-services/speech/home> (дата обращения: 17.04.2018).

2. Google Speech API [Электронный ресурс] // Cloud speech-to-text. – URL: <https://cloud.google.com/speech-to-text/> (дата обращения: 17.04.2018).

3. Yandex SpeechKit [Электронный ресурс] // Cloud – Распознавание речи – Технологии Яндекса. – URL: <https://tech.yandex.ru/speechkit/cloud/doc/guide/concepts/asr-overview-technology-docpage/> (дата обращения: 17.04.2018).

4. Julius [Электронный ресурс] // Julius: open-source large vocabulary continuous speech recognition engine. – URL: <https://github.com/julius-speech/julius> (дата обращения: 17.04.2018).

5. Kaldi [Электронный ресурс] // Kaldi speech recognition toolkit. – URL: <https://github.com/kaldi-asr/kaldi> (дата обращения: 17.04.2018).

6. CMU Sphinx [Электронный ресурс] // CMU Sphinx open source speech recognition toolkit. – URL: <https://cmusphinx.github.io/> (дата обращения: 17.04.2018).

7. Comparing open-source speech recognition toolkits / С. Gaida, P. Lange, R. Petrick, P. Proba, A. Malatawy, D. Suendermann-Oeft // Natural language processing and cognitive science. – Venice, Italy, 2014.

8. Wooll Kim, Erik Jonsson, John H.L. Hansen Speechfind: Advances in Rich Content Based Spoken Document Retrieval. – 2009.

### **Сведения об авторах**

**Перевалов Александр Максимович** – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: [perevalovproduction@gmail.com](mailto:perevalovproduction@gmail.com)

**Курушин Даниил Сергеевич** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: [dan973@yandex.ru](mailto:dan973@yandex.ru)

### **About the authors**

**Perevalov Alexander Maksimovich** – Student Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: [perevalovproduction@gmail.com](mailto:perevalovproduction@gmail.com)

**Kurushin Daniil Sergeevich** – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor of the department Information Technologies and Automated Systems Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: [dan973@yandex.ru](mailto:dan973@yandex.ru)

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УКЛАДКИ МАТЕРИАЛА В ПРОФИЛИРОВАННЫХ ЭЛЕМЕНТАХ КОНСТРУКЦИЙ

**О.А. Кашин, Р.Т. Мурзакаев**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

В данной статье описано построение программной системы численного моделирования укладки материала при изготовлении профилированного композиционного элемента конструкции на основе метода интегрирования Верле.

**Ключевые слова:** численное моделирование, САПР, интегрирование Верле, разложение Холецкого, композиционные элементы конструкций.

## NUMERICAL SIMULATION OF THE MATERIAL PACKING PROCESS IN PROFILED ELEMENTS OF STRUCTURES

**O.A. Kashin, R.T. Murzakaev**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

In this article describes an approach to the construction of a software system for numerical simulation of the material packing process in profiled elements of structures by Verlet integration method.

**Keywords:** numerical modeling, CAD, Verlet integration, Cholesky decomposition, composite parts of constructions.

**Введение.** В настоящее время композиционные материалы успешно применяются в авиационной промышленности и вытесняют большинство традиционных. При этом эффективность применения композиционного материала во многом зависит от эффективности методов моделирования их механических свойств.

В процессе технологического изготовления элементов авиационных конструкций могут меняться геометрические характеристики и структура слоистого композиционного материала, что приводит к значительному изменению механических свойств в объеме конструкции. В связи с этим возникают проблемы сертификации материалов и паспортизации таких конструкций [1].

Математическое моделирование процесса укладки материала при изготовлении профилированного элемента позволит учитывать

изменение механических характеристик слоистого материала для получения необходимых эффективных свойств композиционного элемента конструкции.

**Описание задачи.** Рассмотрим задачу укладки материала при изготовлении композиционного профиля. Композиционный профиль изготавливается с применением технологии пултрузии, когда предварительно пропитанный связующим армирующий материал пропускается сквозь нагретую фильеру. В результате на выходе получается профилированный элемент, геометрическая форма которого соответствует фильере [1].

Технологический процесс изготовления делится на стадии:

1. Пропитывание связующим.
2. Предварительное придание формы.
3. Отверждение и механическая обработка.
4. Протягивание.
5. Разрезание.

Требуется разработать программную систему численного моделирования укладки материала при изготовлении профилированного композиционного элемента конструкции. Программная система будет охватывать стадии предварительного придания формы элемента конструкции и протягивания, когда элемент проходит через систему фильер с постепенно уменьшающимся сечением.

**Описание системы.** Программная система численного моделирования укладки материала является системой автоматизированного проектирования и состоит из проектирующих и обслуживающих подсистем. Система построена на основе классической трехуровневой архитектуры, в которой данные передаются через брокера сообщений с целью снижения и распределения нагрузки при моделировании. Структурная схема программной системы отображена на рис. 1.

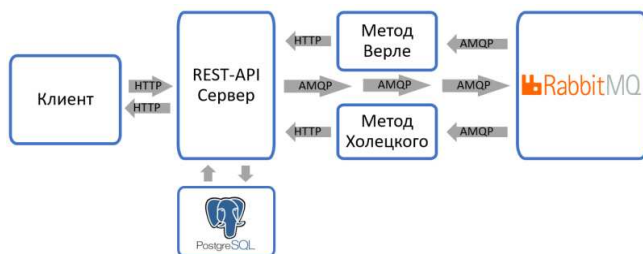


Рис. 1. Структурная схема программной системы

Численное моделирование укладки материала в процессе технологического изготовления делится на два последовательных этапа: предварительная укладка материала в форму и воздействие сжимающих сил на поверхность композиционного элемента.

Проектирующая подсистема предварительной укладки дискретной численной модели материала в форму реализована на основе метода интегрирования Верле. Это позволяет добиться высокой скорости вычисления движения материальных частиц, а также большей устойчивости решения, чем на основе полунявного метода Эйлера [2].

Проектирующая подсистема воздействия сжимающих сил на поверхность композиционного элемента реализована на основе метода конечных элементов. Моделирование воздействия сил на непрерывную численную модель осуществляется на основе метода квадратного корня (разложения Холецкого). Это позволяет решить систему линейных алгебраических уравнений за примерно вдвое меньшее количество арифметических операций, чем метод Гаусса или LU-разложение [3].

Клиентское приложение предназначено для получения данных о форме элемента конструкции в формате обмена данными САД-систем DXF и ABAQUS INP, а также сохранения результатов моделирования в форматах DXF, SVG, PLY, STL, OBJ.

Рассмотрим интегрирование укладки материала в форме на основе метода Верле.

#### **Интегрирование укладки материала на основе метода Верле.**

Численная модель материала представляет собой набор взаимосвязанных последовательностей материальных точек. Взаимосвязи придают реалистичность поведению материала при растяжении-сжатии и сдвиге. Моделирование взаимодействия объектов происходит на основе методов описания движения тел, обнаружения и реагирования на коллизии. Одно из преимуществ использования данного метода в том, что материальные точки могут взаимодействовать с любыми другими объектами, позволяя «обволакивать» их и взаимодействовать с внешними силами.

Базовый алгоритм интегрирования по положению методом Верле описывается формулами (1)–(3) [2]:

$$x_{n+\frac{1}{2}} = x_n + \frac{1}{2} \Delta t v_n, \quad (1)$$

$$v_{n+1} = v_n + \Delta t F(x_{n+\frac{1}{2}}), \quad (2)$$

$$x_{n+1} = x_{n+\frac{1}{2}} + \frac{1}{2} \Delta t v_{n+1}. \quad (3)$$

На основании (4)–(6) выводится формула вычисления положения материальной точки методом Верле по текущему и предыдущему положениям:

$$x_{n+2} = x_{n+1} + \Delta t v_{n+\frac{3}{2}}, \quad (4)$$

$$v_{n+\frac{3}{2}} = v_{n+\frac{1}{2}} + \Delta t F(x_{n+1}), \quad (5)$$

$$x_{n+2} = x_{n+1} + \Delta t (v_{n+\frac{1}{2}} + \Delta t F(x_{n+1})). \quad (6)$$

Вычисление положения материальной точки методом Верле при условии (7) описывается формулой (8) [2, 4]:

$$v_{n+\frac{1}{2}} = \frac{x_{n+1} - x_n}{\Delta t}, \quad (7)$$

$$x_{n+2} = 2x_{n+1} - x_n + \Delta t^2 F(x_{n+1}), \quad (8)$$

Вычисление положения материальной точки методом Верле с учетом относительной вязкости среды (9) описывается формулой (10):

$$v_{n+\frac{1}{2}} = \frac{\mu_r (x_{n+1} - x_n)}{\Delta t}, \quad (9)$$

$$x_{n+2} = \mu_r (x_{n+1} - x_n) + x_{n+1} + \Delta t^2 F(x_{n+1}), \quad (10)$$

где  $\mu_r$  – относительная вязкость среды,  $F(x_n)$  – внешние силы на шаге  $n$ ,  $x$  – положение материальной точки,  $\Delta t$  – временной шаг,  $v_{n+1/2}$  – скорость посередине между шагами  $n$  и  $n+1$ .

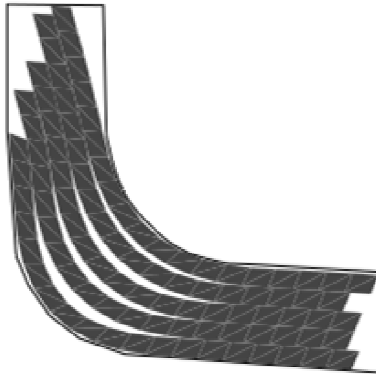


Рис. 2. Пример укладки пяти слоев материала в форму

В результате тестирования укладки пяти слоев модели с 40 материальными точками и 38 треугольными элементами на слой, при 4000 шагах интегрирования с временным шагом 0,1 с, были получены следующие результаты, представленные на рис. 2.

Погрешность вычисления положения первого слоя представлена на рис. 3, из которого следует, что погрешность вычисления положения материала слоя в форме не превосходит  $\pm 0,0075$  мм [5].

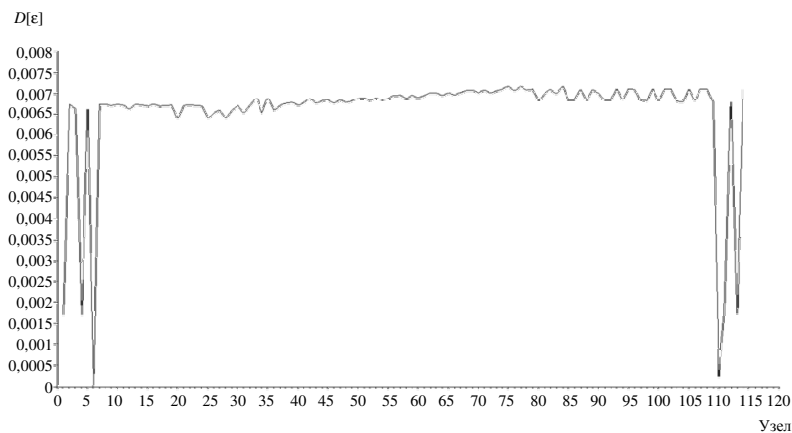


Рис. 3. Погрешность вычисления положения первого слоя

В результате численного моделирования была получена модель укладки материала в форму в форматах DXF, SVG, STL, OBJ, PLY.

**Заключение.** В данной статье описан подход к численному моделированию укладки материала при изготовлении профилированного композиционного элемента конструкции. Данный подход применен при разработке программной системы численного моделирования укладки материала при изготовлении профилированного композиционного элемента конструкции. Погрешность вычислений не превосходит  $\pm 0,0075$  мм.

### Библиографический список

1. Щеглов Б.А., Сафонов А.А. Теоретические основы и прикладные задачи технологии композитов. – М.: URSS, 2015. – 105 с.
2. Hairer E., Lubich C., Wanner G. Geometric numerical integration illustrated by the Störmer/Verlet method // Acta Numerica. – 2003. – № 12. – С 399–450.



3. Зенкевич О., Морган К. Конечные элементы и аппроксимация: пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – 318 с.

4. Конгер Д. Физика для разработчиков компьютерных игр / пер. с англ. А.С. Молявко. – М.: БИНОМ: Лаборатория знаний, 2007. – 520 с.

5. Колмогоров, А.Н. Основные понятия теории вероятностей. – 2-е изд. – М.: Наука, 1974. – 120 с.

### **Сведения об авторах**

**Кашин Олег Андреевич** – аспирант Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: kashin.oleg@list.ru

**Мурзакаев Рустам Талгатovich** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: rustmur@gmail.com

### **About the authors**

**Kashin Oleg Andreevich** – Graduate Student Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: kashin.oleg@list.ru

**Murzakayev Rustam Talgatovich** – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor of the Department Information Technologies and Automated Systems Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: rustmur@gmail.com

## СЕМАНТИЧЕСКИЕ СЕТИ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ СОСТОЯНИЙ ВИРТУАЛЬНОГО РОБОТА

**Н.А. Кондратович, Е.В. Долгова**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

В данной статье рассматривается применение семантической сети взаимосвязей состояний виртуального робота в момент создания анимационного скелета модели виртуального робота.

**Ключевые слова:** семантическая сеть, виртуальный робот, искусственный интеллект, персонаж, Unreal Engine, Animation Blueprint.

### ANALYTIC REVIEW OF VIRTUAL ROBOT DESCRIPTION

**N. A. Kondratovich, E. V. Dolgova**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

This article discusses the application of a semantic network of relationships between virtual robot states at the time of the creation of the animation skeleton of the virtual robot model.

**Keywords:** semantic network, virtual robot, artificial intelligence, character, Unreal Engine, Animation Blueprint.

Тысячелетия эволюции подарили человеку возможность вербально (и/или письменно) выражать свои мысли, обмениваться ими с другими людьми, поэтому в наше время общение с кем-то для человека стало неотъемлемой частью его жизни.

Естественное и интуитивное взаимодействие между пользователями и сложными системами является важной темой исследования в области взаимодействия человека и компьютера. Важным направлением является определение и внедрение систем с возможностями понимания естественного языка. Такие системы являются одним из актуальных направлений в области развития искусственного интеллекта.

Взаимодействие на естественном языке часто выполняется с помощью систем, называемых чатботами. Чатбот – это диалоговый агент с заданной базой знаний, способной взаимодействовать с пользователями. Внешний вид чатботов может быть очень сложным с 3D-аватарами и модулями обработки речи [1].

Однако взаимодействие между системой и пользователем выполняется только через текстовые области для ввода и ответов. Графическое взаимодействие, включающее также естественный язык, может повысить комфорт пользователя.

Поэтому одной из важных задач при разработке подобной системы является создание некой модели виртуального робота. Поскольку виртуальный робот (персонаж) должен быть максимально приближен к человеку, он должен обладать состояниями, свойственными человеку.

Представить классификацию возможных состояний виртуального робота можно при помощи ментальной карты (рис. 1).



Рис. 1. Ментальная карта состояний виртуального робота

Состояния образно можно разделить на три класса: эмоциональные, физические, вербальные. В свою очередь, физические делятся на основные и дополнительные [2].

В настоящее время существует множество способов создания анимированных персонажей – от написания всего кода с нуля до более простых. Технологию создания можно разделить на три этапа:

1. Первый этап – моделирование робота.
2. Второй этап – создание анимации робота.
3. Третий этап – создание виртуального мира и взаимодействия с ним.

Для того чтобы виртуальный робот существовал в своем виртуальном мире и взаимодействовал с ним, наилучшим инструментом является игровой движок. Игровой движок – многоазовый программный уровень, позволяющий разделять общие игровые концепции из игровых активов (уровни, графика и т.д.). При помощи игрового движка есть возможность создать не только анимированного персонажа, обладающего ИИ, но и поместить его в некий сценарий, где он сможет совершать различные действия с окружающим его миром [3].

Среди числа игровых движков была выбрана среда Unreal Engine. Основной отличительной чертой этого движка является наличие системы визуальных сценариев Blueprints. Для обработки анимации скелетных сеток в Unreal Engine имеется ресурс Animation Blueprint (рис. 2) [4].

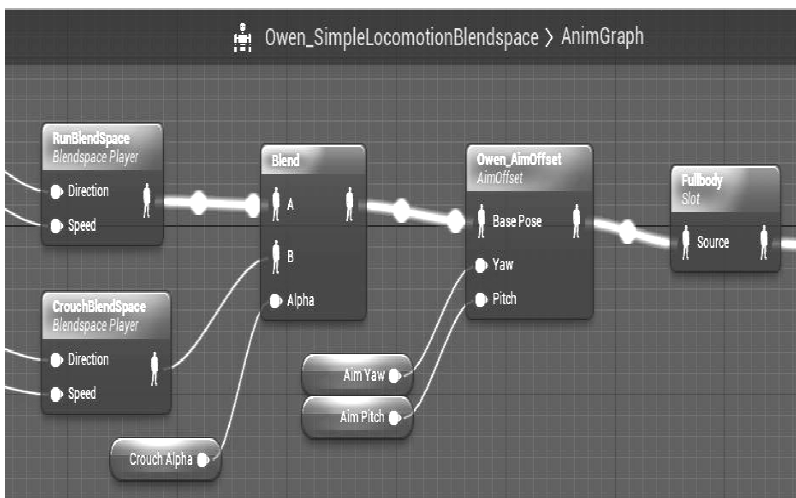


Рис. 2. Пример Animation Blueprint

Когда создается новый персонаж, он поставляется с характерным компонентом, который имеет большую часть поведения, необходимого для перемещения, прыжка, плавания, падения и т.д., и все, что требуется, – это добавить некоторые входные события.

Однако чтобы использовать Blueprint, необходимо правильно составить связи между состояниями персонажа. Для определения вариантов последовательности изменения состояний виртуального робота была построена семантическая сеть (рис. 3).

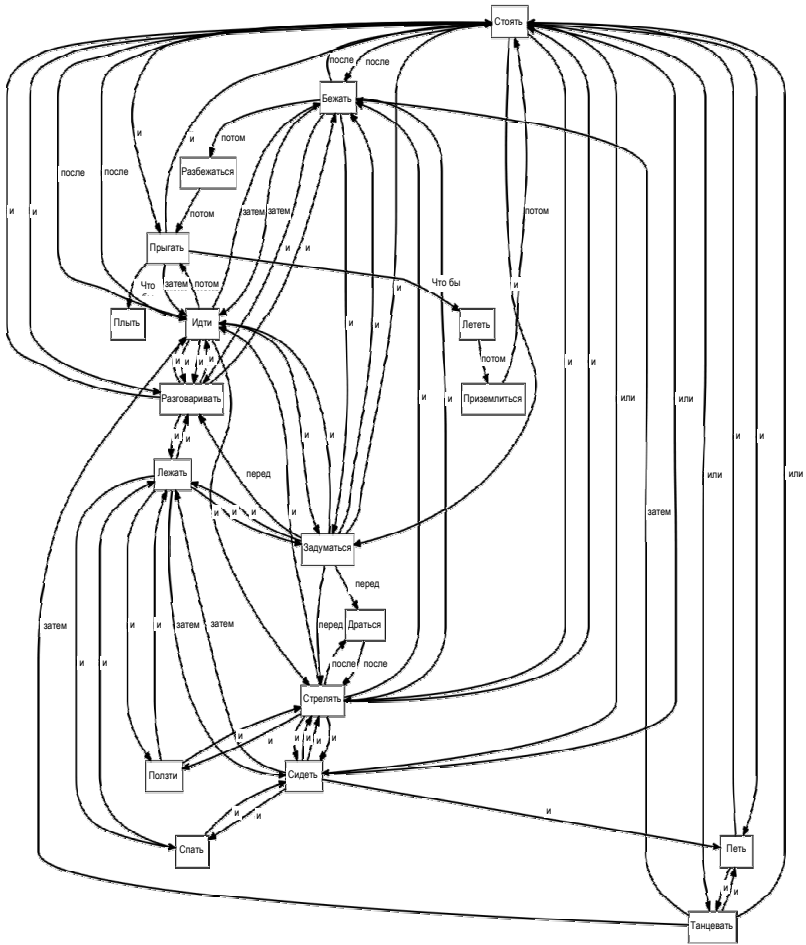


Рис. 3. Семантическая сеть возможных состояний виртуального робота

На данном примере видно, для того чтобы перейти из состояния «стоять» в состояние «ползти», роботу необходимо пройти через два других состояния, таких как «сидеть», затем «лежать». Правильная последовательность состояний позволит сделать движения виртуального робота более плавными и максимально приближенными к человеческим. Пример семантической сети возможных взаимосвязей состояний виртуального робота позволит более точно построить Animation Blueprint, который контролирует анимацию скелетной сетки персонажа.

## Библиографический список

1. Колесов Д. Состояния человека. Семантика, психология, медицина. – М.: МПСИ, 2008. – 704 с.
2. Pirrone Roberto. GAIML: A new language for verbal and graphical interaction in chatbots // Mobile Information Systems 4. – 2008. – С. 195–209.
3. Andrade A. Game engines: a survey // EAI Endorsed Transactions on Serious Games 15 (6): e8. – 05 November 2015.
4. Официальный сайт Unreal Engine. – URL: <https://www.unrealengine.com/en-US/blog> (дата обращения: 13.12.2017).

## Сведения об авторах

**Кондратович Наталья Александровна** – студентка Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: [tataska04@yandex.ru](mailto:tataska04@yandex.ru)

**Долгова Елена Владимировна** – доктор экономических наук, профессор кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: [elena@dolgova.info](mailto:elena@dolgova.info)

## About the authors

**Kondratovich Natalia Aleksandrovna** – Student Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: [tataska04@yandex.ru](mailto:tataska04@yandex.ru)

**Dolgova Elena Vladimirovna** – Doctor of Economics, Professor of the Department Information Technologies and Automated Systems Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: [elena@dolgova.info](mailto:elena@dolgova.info)

## **МОДЕЛЬ РАСПОЗНАВАНИЯ ТЕЧЕНИЯ ПО ДАННЫМ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ**

**М.С. Масальский<sup>1</sup>, В.А. Шапов<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

<sup>2</sup>Институт механики сплошных сред УрО РАН, Пермь

Рассмотрен способ распознавания изображения, используя метод кластеризации. В области экспериментальной термодинамики имеется множество данных визуализации движения частиц. Существует задача классификации в области обработки имеющихся данных на предмет определения наличия течения (завихрения) частиц. В статье рассматривается, как применяются методы фильтрации и кластеризации изображений для решения поставленной задачи. Входными данными является как видеозапись, так и последовательность фотографий движения частиц. Программа для обработки изображений написана на языке Python 3 с использованием подключаемых библиотек OpenCV, numpy, scipy, matplotlib, sklearn, pickle. Для ускорения обработки видео применяются методы сжатия изображения, преобразование цветного изображения в оттенки серого. Затем в качестве подготовительного этапа применяется медианный фильтр для сглаживания и выделения краёв, метод Adaptive Threshold для выделения краёв и снижения шумов. И уже на заключительном этапе применяется метод DBSCAN для кластеризации изображения с целью дальнейшей его классификации. После всех этих преобразований классификация сводится к простому определению наличия большого связанного кластера размером более определенной величины, которая была подобрана экспериментальным путём.

**Ключевые слова:** фильтрация изображения, кластеризация изображения, Adaptive Threshold, DBSCAN.

## **MODEL OF RECOGNITION OF THE FLOW ON DATA VISUALIZATION OF MOTION OF PARTICLES**

**M.S. Masalskiy<sup>1</sup>, V.A. Shchapov<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Perm National Research Polytechnic University, Perm

<sup>2</sup>Institute of Continuous Media Mechanics UB RAS, Perm

This article describes the method of image recognition using the clustering method. In the field of experimental thermodynamics, there is a lot of data visualization of the motion of particles. There is a task of classification in the field of processing the available data in order to determine the presence of flow (turbulence) of particles. The article discusses the use of filtering and clustering of images to

solve the problem. The input data are both the video recording and the sequence of photographs of the motion of particles. The image processing program is written in Python 3 using the openCV, numpy, scipy, matplotlib, sklearn, pickle plug-in libraries. To speed up video processing, image compression methods are used, converting a color image to grayscale. Then, as a preparatory stage, a median filter is used to smooth and highlight edges, the Adaptive Threshold method to highlight edges and reduce noise. And already at the final stage, the DBSCAN method is used to cluster the image, with a view to further classifying it. After all these transformations, the classification is reduced to a simple determination of the presence of a large connected cluster with a size of more than a certain size, which was chosen experimentally.

**Keywords:** image filtering, image clustering, Adaptive Threshold, DBSCAN.

**Введение.** В Институте механики сплошных сред УрО РАН проводятся исследования в области экспериментальной гидродинамики. Имеется множество данных визуализации движения частиц, таких как видеозаписи, набор фотографий. Существует задача классификации в области обработки данных – необходимо найти на них начало возникновения течения (завихрения) и его окончание. На рис. 1 показан пример исходного изображения, на котором начинается процесс завихрения потока частиц.

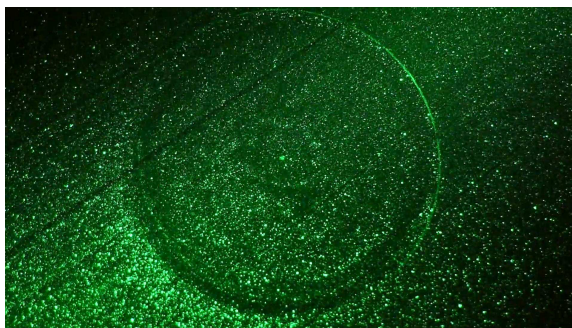


Рис. 1. Исходное изображение с завихрением

Для реализации механизма классификации возможно использование различных способов, в том числе с применением вейвлет-преобразований [1] и нейронных сетей. В случае использования математических методов их очень сложно подобрать, так же, как и коэффициенты к этим методам. Обработка данным способом может быть сложной для вычисления. Преимущество данного метода в том, что не требуется обучение классификатора большим набором данных, как, например, при использовании нейронных сетей.



Были исследованы различные способы кластеризации изображений [2]. В процессе исследования были подобраны оптимальные для решения поставленной задачи алгоритмы обработки изображения, а также коэффициенты к ним.

Для написания программы был выбран язык Python 3.

**Основная часть.** Для обработки видео с помощью библиотеки OpenCV получаем из него последовательность кадров, каждый из которых обрабатываем отдельно, как изображение.

Подготовка изображения для кластеризации состоит из нескольких этапов. На рис. 2 дано сжатое изображение в оттенках серого, полученное изображение сжимается (рис. 3), сглаживается (рис. 4), и затем применяется метод выделения краёв – Adaptive Mean Threshold (рис. 5).



Рис. 2. Изображение в оттенках серого

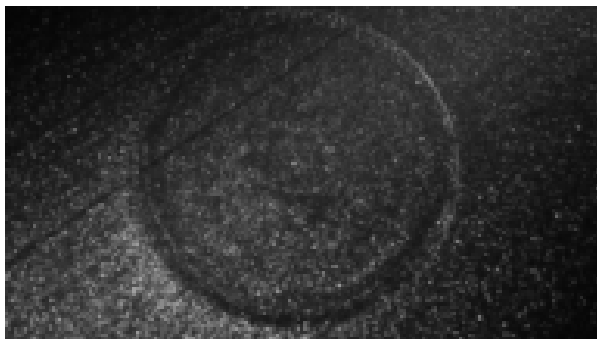


Рис. 3. Сжатое изображение

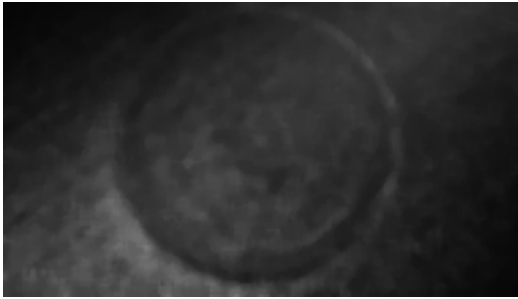


Рис. 4: Сглаженное изображение



Рис. 5. Выделение краёв методом Adaptive threshold



Рис. 6. Кластеризованное изображение

Перед кластеризацией необходимо подготовить матрицу [3], для этого выполняются преобразование матрицы и нормализация данных с помощью функции *sklearn.preprocessing.StandardScaler*. Затем выполняется кластеризация изображения с помощью функции *sklearn.cluster.DBSCAN*.

На рис. 6. видно, что большая часть круга выделилась в отдельный кластер. Теперь для классификации изображения достаточно определить, имеется ли в полученных данных кластер размером более 500 точек (определено экспериментально для имеющихся исходных данных).

**Заключение.** Полученная модель проверена так же и с другими наборами входных данных. В результате эта же модель без изменения коэффициентов применяемых методов позволяет обнаруживать завихрения на сильно отличающихся выборках данных.

### **Библиографический список**

1. Алтынцев М.А., Гордиенко А.С., Гук А.А. Вейвлет-анализ для выявления вырубок в лесных массивах по аэроснимкам. – Новосибирск: СГГА, 2010.
2. Пестунов И.А., Синявский Ю.Н. Алгоритмы кластеризации в задачах сегментации спутниковых изображений // Вестник КемГУ. – 2012. – № 4.
3. URL: <http://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.cluster.DBSCAN.html>

### **Сведения об авторах**

**Масальский Максим Сергеевич** – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: max191959@mail.ru

**Щапов Владислав Алексеевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, младший научный сотрудник ИМСС УрО РАН, Пермь, e-mail: phprus@gmail.com

### **About the authors**

**Masalsky Maxim Sergeevich** – Student Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: max191959@mail.ru

**Shchapov Vladislav Alekseevich** – Ph.D. in Technical Sciences Associate Professor of the Department Information Technologies and Automated Systems Perm National Research Polytechnic University, Perm, Junior Researcher, IMSS UB RAS, Perm, e-mail: phr@gmail.com

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПОЛНОТЫ ОБЛАКА ТОЧЕК ОТ ВЕЛИЧИНЫ ПАРАЛЛАКСА И РАЗРЕШЕНИЯ КАМЕР**

**Н.Н. Никитин, А.А. Шаронов**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

В данной статье проведено исследование зависимости полноты облака точек от величины параллакса стереопары, а также от разрешения камер.

Анализ основывается на методе экспертной оценки для полученных наборов облаков точек.

**Ключевые слова:** облако точек, стереопара, разрешение камер, параллакс.

## **INVESTIGATION OF RELIATION BETWEEN CLOUD OF POINTS, PARALLAX VALUE OF STEREOPAIR AND CAMERA RESOLUTION**

**N.N. Nikitin, A.A. Sharonov**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

In this article dependence of completeness between cloud of points on magnitude parallax of stereopair, as well as on camera resolution. The analysis is based on the peer review method, for the resulting sets of clouds of points.

**Keywords:** cloud of points; stereopair; camera resolution; parallax.

В настоящее время принят курс на разработку и внедрение новых роботизированных комплексов. Техническое зрение, необходимое для обнаружения предметов в ближней зоне робота, является крайне актуальной и сложной задачей. В общем случае окружающая среда робота очень сложна из-за различий в изменении условий освещения и углов зрения. Эти проблемы приводят к снижению точности распознавания препятствий. Различия могут измениться быстро. Но препятствия должны занимать определенную область в пространстве. Для обнаружения препятствий широко используется алгоритм с использованием «3д-облака точек». С технической точки зрения возникает проблема организации потока информации от камер для дальнейшей ее обработки, а именно какие характеристики оборудования стоит использовать для получения наиболее полного построения «3д-облака точек». Для

построения облака точек необходимо иметь пару изображений, полученных с двух камер, расположенных на определенном расстоянии друг от друга [1]. Для моделирования стереопары вместо физических камер была использована виртуальная сцена.

При создании облака точек необходимо получить карту глубин на пары изображений. Для этого были использованы возможности библиотеки OpenCV. В OpenCV есть несколько алгоритмов построения карт глубин, или disparity map. В документах можно увидеть алгоритмы StereoBM и StereoSGBM. В работе был использован StereoSGBM, который обладает более высоким качеством получаемой карты по сравнению с StereoBM, но гораздо более требователен к вычислительным ресурсам. StereoBM используется для построения карты от постоянного потока данных, т.е. для реализации алгоритма реального времени [2].

Алгоритм построения карты глубин выглядит следующим образом.

На входе есть два изображения одной и той же сцены, полученные с камер, находящихся рядом друг с другом на определенном расстоянии, оси, которых параллельны. Объекты, находящиеся на дальнем плане, будут на левом и правом изображении находиться практически на одном и том же месте. А вот изображение более близлежащих объектов уже будет отличаться – на левом изображении такие объекты будут находиться правее, а на правом – левее. Чем ближе объект к камере, тем сильнее будет отличаться его изображение на левой и правой картинках. Изображение с одной из камер вы можете увидеть на рис. 1.

Алгоритм пытается понять, насколько сильно изображение объекта смещено на левой и правой картинке. Расстояние смещения и называется disparity. Чем выше это значение, тем ближе объект к камере.

Функция StereoSGBM берет левую картинку и начинает построчно ее анализировать. На каждой строке алгоритм берет точку или их набор и пытается найти похожий набор точек на этой-же строчке на правом изображении. После этого он считает, насколько эти наборы точек друг относительно друга смещены [3].

В результате были получены карты глубин для нескольких пар изображений. Пример карты глубин представлен на рис. 2.



Рис. 1. Изображение с левой камеры

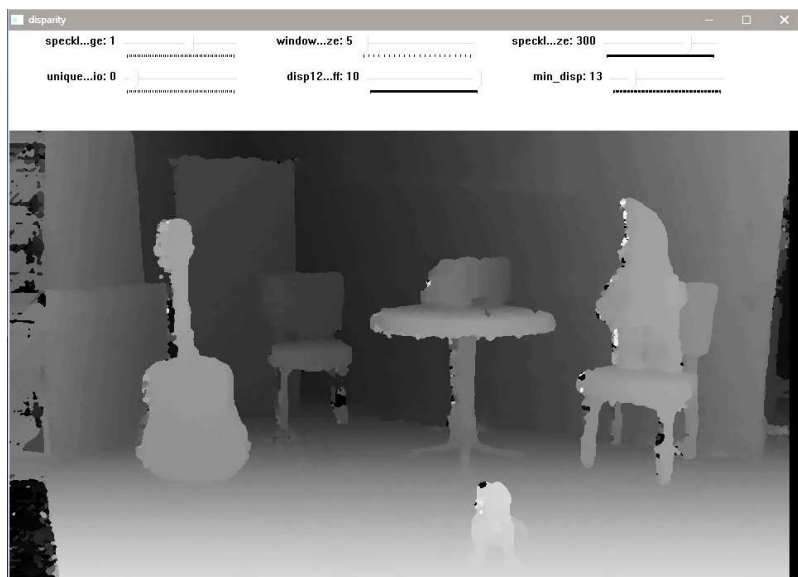


Рис. 2. Карта глубин

Основываясь на полученных данных взятых с карты глубин, было создано облако точек в формате PLY. Для того чтобы можно было различить объекты на полученном облаке, проделано наложение

цветовой составляющей второго изображения на полученное облако, которое изначально создавалось чёрно-белым. Пример полученного облака представлен на рис. 3.

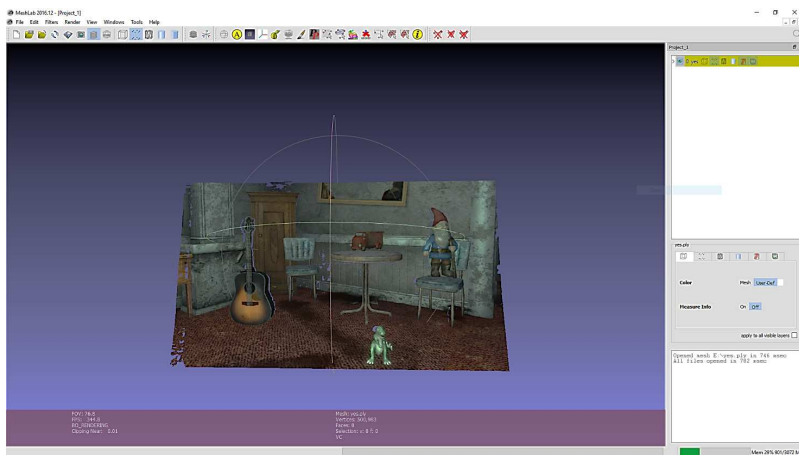


Рис. 3. Облако точек

Для исследования было создано множество пар изображений с различной величиной параллакса и пропущено через программу. В результате было получено 26 пар изображений и 26 облаков точек, значение параллакса в которых изменяется от 0 до 47 см, последнее изображение с бесконечным параллаксом (два абсолютно различных изображения).

Для анализа полученных данных был использован метод экспертных оценок. В качестве экспертов был выбран преподавательский состав МАОУ СОШ № 59 г. Перми, в опросе приняло участие 20 человек, представители различных предметных областей.

Экспертам предлагалось оценить полноту облака точек на всех 26 полученных облаках. Оценки ставились от 0 до 100 (100 – максимальная полнота, 0 – минимальная). Результаты опроса приведены в табл. 1.

На основе экспертной оценки был построен график, наглядно показывающий результаты анализа полноты облака точек в зависимости от величины параллакса, его можно увидеть на рис. 4.

Таблица 1

Результаты экспертной оценки полноты облака точек в зависимости от величины параллакса

| Величина параллакса/<br>Номер эксперта/<br>полнота облака точек | 1   | 2   | 3   | 4  | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  | 16  | 17  | 18  | 19  | 20  |
|---|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 1   | 80  | 90  | 80  | 89 | 80  | 90  | 87  | 90  | 85  | 85  | 90  | 80  | 80  | 80  | 90  | 80  | 90  | 87  | 81  | 84  |
| 3   | 82  | 82  | 82  | 84 | 86  | 90  | 90  | 100 | 90  | 80  | 95  | 85  | 82  | 82  | 95  | 86  | 90  | 90  | 87  | 86  |
| 5   | 95  | 100 | 95  | 99 | 95  | 100 | 99  | 100 | 100 | 100 | 100 | 95  | 95  | 95  | 100 | 95  | 100 | 99  | 100 | 100 |
| 7   | 100 | 95  | 100 | 95 | 100 | 95  | 100 | 100 | 99  | 98  | 95  | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 95  | 100 | 97  | 100 |
| 9   | 94  | 90  | 94  | 94 | 96  | 95  | 97  | 100 | 98  | 95  | 95  | 95  | 94  | 94  | 95  | 96  | 95  | 97  | 97  | 95  |
| 11  | 92  | 90  | 92  | 98 | 95  | 95  | 100 | 100 | 87  | 95  | 95  | 90  | 92  | 92  | 90  | 95  | 95  | 100 | 92  | 95  |
| 13  | 90  | 90  | 90  | 90 | 95  | 95  | 94  | 100 | 94  | 95  | 80  | 90  | 90  | 90  | 90  | 95  | 95  | 94  | 94  | 95  |
| 15  | 89  | 90  | 89  | 90 | 90  | 90  | 90  | 90  | 90  | 85  | 90  | 89  | 89  | 90  | 90  | 90  | 90  | 90  | 89  | 89  |
| 17  | 85  | 65  | 85  | 85 | 90  | 90  | 86  | 90  | 85  | 80  | 80  | 85  | 85  | 85  | 85  | 90  | 90  | 86  | 86  | 86  |
| 18  | 81  | 60  | 81  | 82 | 80  | 85  | 82  | 90  | 85  | 80  | 80  | 80  | 81  | 81  | 85  | 85  | 85  | 82  | 84  | 85  |
| 19  | 79  | 60  | 79  | 73 | 80  | 75  | 81  | 90  | 80  | 70  | 75  | 80  | 79  | 79  | 80  | 80  | 75  | 80  | 80  | 85  |
| 21  | 75  | 60  | 75  | 71 | 75  | 75  | 80  | 80  | 70  | 70  | 70  | 75  | 75  | 75  | 75  | 80  | 75  | 75  | 70  | 85  |
| 23  | 70  | 55  | 70  | 70 | 75  | 70  | 78  | 80  | 70  | 70  | 70  | 70  | 70  | 70  | 70  | 75  | 70  | 70  | 68  | 80  |
| 25  | 65  | 55  | 65  | 67 | 75  | 70  | 71  | 80  | 70  | 60  | 65  | 65  | 65  | 65  | 70  | 70  | 65  | 65  | 65  | 70  |
| 27  | 63  | 50  | 63  | 66 | 70  | 70  | 64  | 80  | 70  | 60  | 60  | 60  | 63  | 63  | 70  | 70  | 65  | 65  | 70  | 70  |
| 29  | 61  | 50  | 61  | 65 | 60  | 65  | 65  | 70  | 65  | 60  | 60  | 60  | 61  | 61  | 65  | 60  | 65  | 65  | 64  | 65  |
| 31  | 60  | 50  | 60  | 60 | 60  | 65  | 70  | 70  | 60  | 60  | 55  | 60  | 60  | 60  | 60  | 60  | 65  | 70  | 60  | 60  |
| 33  | 58  | 50  | 58  | 58 | 60  | 60  | 60  | 70  | 55  | 60  | 50  | 55  | 58  | 58  | 58  | 60  | 60  | 60  | 60  | 60  |
| 35  | 56  | 50  | 56  | 61 | 60  | 60  | 50  | 70  | 50  | 55  | 45  | 55  | 56  | 56  | 55  | 60  | 60  | 50  | 60  | 60  |
| 37  | 54  | 50  | 54  | 60 | 55  | 60  | 50  | 60  | 50  | 55  | 45  | 54  | 54  | 54  | 55  | 55  | 60  | 50  | 60  | 55  |
| 39  | 50  | 50  | 50  | 59 | 55  | 60  | 40  | 50  | 45  | 55  | 45  | 50  | 50  | 50  | 50  | 55  | 60  | 40  | 50  | 55  |
| 41  | 30  | 30  | 30  | 35 | 40  | 45  | 30  | 30  | 30  | 35  | 15  | 30  | 30  | 30  | 35  | 40  | 45  | 30  | 33  | 40  |
| 43  | 20  | 20  | 20  | 29 | 25  | 30  | 25  | 30  | 30  | 30  | 10  | 20  | 20  | 20  | 29  | 25  | 30  | 25  | 30  | 30  |
| 45  | 15  | 20  | 15  | 15 | 20  | 30  | 20  | 20  | 25  | 25  | 10  | 15  | 15  | 15  | 15  | 20  | 30  | 20  | 20  | 15  |
| 47  | 10  | 15  | 10  | 10 | 17  | 15  | 5   | 10  | 10  | 5   | 5   | 10  | 10  | 10  | 10  | 17  | 15  | 5   | 20  | 15  |
| 1000  | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |

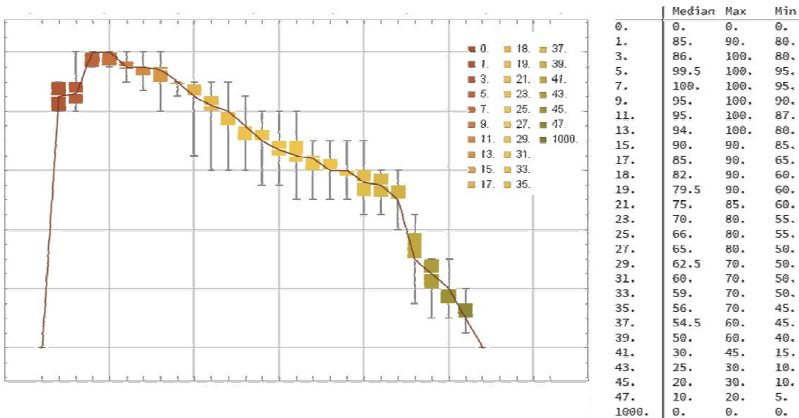


Рис. 4. Результаты анализа полноты облака точек в зависимости от величины параллакса



Также был проведен эксперимент для различных разрешений камер, для этого были созданы пары изображений сцен при различном разрешении экрана, которые также прошли через программу.

В результате получено 8 пар изображений и 8 облаков точек, значение разрешений, взятых для исследования: 800×600 (без освещения), 800×600, 1024×768, 1280×720, 1280×1024, 1366×768, 1600×900, 1920×1080.

Как и в предыдущем эксперименте, был проведен опрос экспертной группы, которая описывалась ранее. Оценки ставились от 0 до 100 (100 – максимальная полнота, 0 – минимальная). Результаты опроса приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты экспертной оценки полноты облака точек в зависимости от разрешения камер

| Разрешение/ номер эксперта / полнота точек | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6  | 7   | 8   | 9  | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15 | 16  | 17  | 18  | 19  | 20  |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 800x600 (без освещения)                    | 20  | 25  | 25  | 24  | 20  | 20 | 26  | 20  | 10 | 15  | 17  | 10  | 15  | 30  | 20 | 15  | 15  | 20  | 10  | 13  |
| 800x600                                    | 15  | 25  | 20  | 15  | 30  | 15 | 16  | 15  | 20 | 20  | 20  | 15  | 15  | 20  | 12 | 15  | 10  | 10  | 20  | 14  |
| 1024x768                                   | 19  | 20  | 20  | 22  | 30  | 25 | 27  | 30  | 25 | 25  | 23  | 27  | 20  | 30  | 24 | 25  | 30  | 30  | 20  | 15  |
| 1280x720                                   | 35  | 35  | 35  | 35  | 40  | 35 | 45  | 50  | 42 | 35  | 45  | 35  | 40  | 45  | 40 | 30  | 40  | 55  | 30  | 45  |
| 1280x1024                                  | 47  | 50  | 50  | 50  | 45  | 50 | 56  | 50  | 55 | 50  | 50  | 50  | 45  | 70  | 55 | 50  | 60  | 60  | 50  | 57  |
| 1366x768                                   | 56  | 60  | 80  | 80  | 60  | 60 | 62  | 70  | 65 | 60  | 60  | 66  | 60  | 80  | 65 | 65  | 70  | 70  | 60  | 60  |
| 1600x900                                   | 87  | 90  | 90  | 100 | 80  | 95 | 93  | 90  | 95 | 90  | 90  | 90  | 90  | 90  | 75 | 90  | 100 | 80  | 90  | 100 |
| 1920x1080                                  | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 94 | 100 | 100 | 99 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 90 | 100 | 100 | 100 | 100 | 90  |

На основе экспертной оценки был построен график, наглядно показывающий результаты анализа, его можно увидеть на рис. 5.

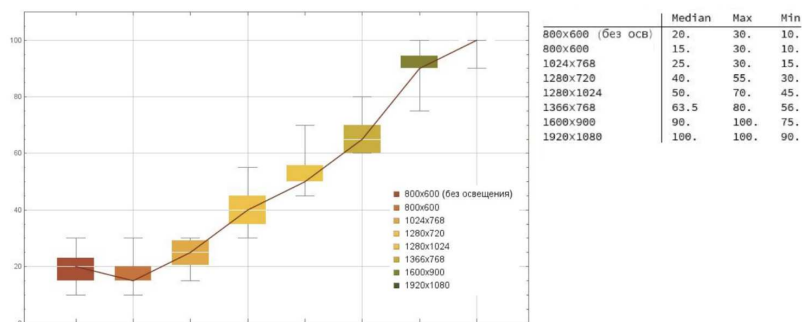


Рис. 5. Результаты анализа полноты облака точек в зависимости от разрешения камер

В результате проделанной работы была получена программа для создания облаков точек по двум изображениям. Был проведен анализ полноты облака точек в зависимости от разрешения камер, а также анализ полноты облака точек в зависимости от величины параллакса. Исследования проводились методом экспертной оценки.

В результате можно сделать вывод, что при малых значениях параллакса мы можем наблюдать хорошие результаты полноты облака, наилучший результат для наших изображений был получен при значении 5 и 7 см.

У большинства взрослых людей расстояние между зрачками лежит в пределах от 54 до 68 мм [4], если брать усредненное значение результатов, то мы получили значение 60 мм, что подтверждает результаты эксперимента.

При дальнейшем увеличении параллакса видно ухудшение полноты точек, а при значении 39 см мы видим резкое ухудшение результата. При изменении разрешения камер можно сделать вывод, что полнота облака точек практически линейно зависит от разрешения камер. При большем разрешении наблюдается наилучший результат, но при этом резко увеличивается время на обработку изображений, что ведет за собой увеличение вычислительной мощности устройства, на котором производится обработка изображений.

### **Библиографический список**

1. Sam B. Siewert. IBM developerWorks. Machine data analytics [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ibm.com/developerworks/rulibrary/bd-mdasecurity/index.html>

2. Карта глубины со стереофонических изображений. Документация OpenCV 3.0.0 [Электронный ресурс]. – URL: [https://docs.opencv.org/3.0-beta/doc/py\\_tutorials/py\\_calib3d/py\\_depthmap/py\\_depthmap.html](https://docs.opencv.org/3.0-beta/doc/py_tutorials/py_calib3d/py_depthmap/py_depthmap.html)

3. Методы вычитания фона. OpenCV с открытым исходным кодом [Электронный ресурс]. – URL: <https://cmitt42opencv.blogspot.ru/2016/01/blog-post.html>

4. Физиогномика, глаза. Медицинский словарь [Электронный ресурс]. – URL: <http://med-slovar.ru/psikhiatriya/fiziognomika/2287-glaza>

### **Сведения об авторах**

**Никитин Никита Николаевич** – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: nikitin146@gmail.com

**Шаронов Андрей Александрович** – старший преподаватель кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: stepper88@inbox.ru

### **About the authors**

**Nikitin Nikita Nikolaevich** – Student Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: nikitin146@gmail.com

**Sharonov Andrei Alexandrovich** – Senior Lecturer of the Department Information Technologies and Automated Systems Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: stepper88@inbox.ru

## **РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ СДАЧИ НОРМ ГТО**

**Д.А. Селуков, А.Ф. Хабибулин**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

В данной статье рассматривается вопрос создания небольшой автоматизированной системы для принятия определенных видов упражнений, входящих в состав комплекса ГТО. Данная система позволила бы ускорить процесс приема норм ГТО, а также за счет своей мобильности увеличить количество сдающих нормы ГТО людей в отдаленных населенных пунктах.

**Ключевые слова:** ГТО, автоматизированная система, алгоритм.

## **DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED SYSTEM FOR CONTROL OF GTO STANDARDS DELIVERY**

**D.A. Selukov, A.F. Khabibulin**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

This article discusses the creation of a small automated system for taking certain exercises that are part of the TRP complex. This system would make it possible to speed up the process of acceptance of TRP, as well as to increase the number of renters in remote settlements through its mobility.

**Keywords:** GTO, automated system, algorithm.

Сфера развития массового спорта в России в последнее время получила сильный толчок вперед. Для поддержания данной тенденции в 2015 г. был принят закон о возрождении норм ГТО [1]. Данный закон дал новую мотивацию гражданам для занятий спортом, к примеру, в вузах студентам, имеющим золотой значок ГТО, начала выплачиваться повышенная стипендия, а абитуриентам при поступлении в учебное заведение стали начисляться дополнительные баллы.

Однако для сдачи норм ГТО на сегодняшний день необходимо иметь специально оборудованные центры, инструкторов, необходимый пакет документов и разрешений. Все это позволяет сегодня сдавать ГТО только в крупных городах, краевых и областных центрах. Также стоит принять во внимание, что не успевает обрабатываться поток людей, и процесс сдачи затягивается в длительные ожидания своей очереди, что доставляет массу неудобств сдающим.

Информационные технологии только немного затронули сферу массовых спортивных мероприятий. В основном программно-аппаратные комплексы создаются для профессиональных спортсменов, помогая им улучшить свои навыки, а также для улучшения их взаимодействия с тренерами [2]. В массовом же спорте используются системы учета результатов сдающих. Так, и в ГТО на официальном сайте [4] можно оставить заявку на сдачу, а затем прийти в выбранный центр сдачи и выполнить нормативы, результаты по которым будут записаны в общее хранилище. Системы, которые бы помогали автоматизировать какие-либо спортивные процессы в массовых мероприятиях, пока не применяются в России или еще не разработаны. В данной статье предлагается рассмотреть вопрос создания автоматизированной системы, которая на примере сдачи норм ГТО смогла бы ускорить процесс принятия некоторых упражнений. Актуальность создания такой системы обуславливается тем, что с 2016 г. по данным «Всероссийского центра изучения общественного мнения» количество людей, занимающихся спортом еженедельно, возросло с 8 до 14 %, ежедневно с 4 до 7 % [3]. В связи с этим все большее количество людей начали записываться и сдавать нормы ГТО. По данным ВЦИОМ на 2017 г., нормы ГТО были сданы примерно 5 млн граждан. На 2018 г. 45 % россиян хотят или планируют сдавать нормы ГТО.

В начале разработки системы необходимо разобраться с тем, какие упражнения входят в состав норм ГТО, как они подразделяются и какие из них поддаются автоматизации. Стоит сразу же отметить, что нормы ГТО подразделяется по возрасту на 11 ступеней, и в зависимости от ступени предлагается сдавать различные упражнения [4]. После анализа упражнений было произведено деление их на следующие группы:

1) статические (выполняются на одном месте). К данным упражнениям были отнесены: пресс, подтягивания, сгибания рук лежа, рыбок гири, наклоны;

2) динамические (выполняются посредством передвижения). Сюда вошли: бег, плавание, прыжки, скандинавская ходьба, самозащита, ориентирование на местности;

3) сложные (связанные с более длительной подготовкой). Это стрельба и метание снаряда.

Исходя из данного анализа, для автоматизации были выбраны упражнения из первой группы ввиду того, что все они выполняются

на одном месте. Для проверки правильности их выполнения не нужно будет множества датчиков и сложных систем для отслеживания положения человека в пространстве.

Технически система будет состоять из компьютера и Microsoft Kinect'a, который будет отслеживать положение частей тела в пространстве. С точки зрения программного обеспечения система будет работать на ОС Windows и движке Unity 3D, который бы визуализировал всю необходимую информацию при сдаче упражнений (количество выполненных раз, время и насколько результат близок к значку ГТО). Устройство Microsoft Kinect было выбрано из-за своей особенности автоматического построения скелетной модели человека при его распознавании. Наличие официального SDK для движка Unity 3D являлось также существенным преимуществом. Выбор компонентов удовлетворяет необходимым требованиям мобильности системы и ее невысокой стоимости. Схема скелетной модели, которая строится Kinect при распознавании пользователя, показана на рис. 1.

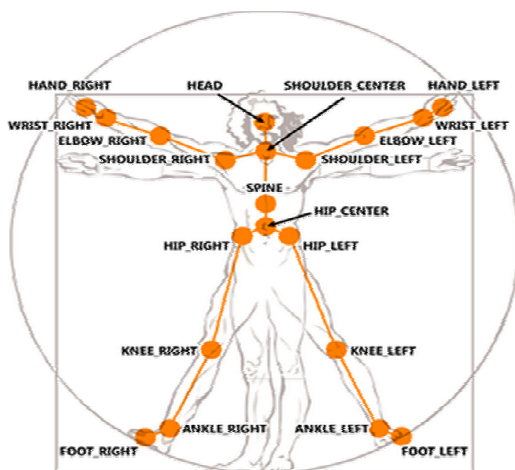


Рис. 1. Скелетная модель Kinect

На основании данной модели необходимо выбрать для каждого упражнения свои наборы костей, позиции которых Kinect будет передавать на компьютер. Для примера возьмем следующие упражнения:

- 1) приседания. Кость таза и кости голени ног;
- 2) подтягивания. Кости кистей рук и голова (см. рис. 1, элемент head).

3) пресс из виса. Кости голеней ног и тазовая кость;

4) наклоны. Кости кистей рук и кости голеней ног.

При отслеживании положения данных костей можно определять правильно ли выполнил человек упражнение и вообще выполнил ли он его. Данные наборы костей были выбраны вследствие анализа наиболее задействованных конечностей при выполнении упражнения. Рассмотрим на примере, изображенном на рис. 2, упражнения приседания и подтягивания.



Рис. 2. Группы костей, участвующих при приседаниях и подтягиваниях

Смысл алгоритма определения выполнения упражнения заключается в том, что при движении костей во время выполнения упражнения они начинают менять свои позиции относительно неподвижных костей. При отслеживании разницы между этими позициями появляется информация, совершил человек упражнение или нет. К примеру, при выполнении упражнения приседания разница между позицией голени и тазовой кости должна уменьшаться, а при подтягивании разница между позицией головы и кистями рук должна увеличиваться. Упражнение считается выполненным, когда соответствующая разница в определенных упражнениях максимальна или минимальна. Поскольку Kinect способен давать точные координаты соответствующих костей, то отслеживание правильности выполнения упражнения также учитывается. Создав в движке Unity 3D сцены с соответствующими упражнениями, в результате можно получить небольшую систему, которая считает количество раз их выполнения, а также проверяет корректность выполнения.

В итоге, применив данную систему в современных центрах по приему норм ГТО, можно получить увеличение числа людей, проходящих процесс сдачи ежедневно. Также уменьшится нагрузка на инструктора, и он, в свою очередь, сможет обрабатывать больше информации о людях на других упражнениях. Развивая данную систему, можно создать автоматизированный комплекс, который обеспечит прием норм ГТО полностью и без инструкторов, а также за счет мобильности он может быть перевозим в любой населенный пункт.

### **Библиографический список**

1. Федеральный закон «О физической культуре и спорте в Российской Федерации» от 04.12.2007 N 329-ФЗ гл. 3.1 // Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс

2. Жуков В.И., Доронин А.М., Козлов И.М. Применение тренажерных устройств для развития специальной силы в учебно-тренировочном процессе спортсменов // Вестник Адыгейского гос. ун-та. Сер. 3. Педагогика и психология. – 2012. – № 3. – С. 24–29;

3. Оценка количества людей, участвовавших в сдаче ГТО. – URL: <http://gtonorm.ru/skolko-chelovek-sdali-gto-v-2016-godu/>

4. Официальный сайт ГТО. – URL: <http://www.gto.ru>

### **Сведения об авторах**

**Селуков Дмитрий Александрович** – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: [seukoff2012@gmail.com](mailto:seukoff2012@gmail.com)

**Хабибулин Айдар Фаданисович** – старший преподаватель кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: [shimakenshi@gmail.com](mailto:shimakenshi@gmail.com)

### **About the authors**

**Selukov Dmitry Aleksandrovich** – Master Student Perm National Research Polytechnic University, Perm e-mail: [seukoff2012@gmail.com](mailto:seukoff2012@gmail.com)

**Khabibulin Aidar Fadanisovich** – Senior Lecturer at the Department of Information Technologies and Automated Systems at the Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: [shimakenshi@gmail.com](mailto:shimakenshi@gmail.com)



## **ТРЕНАЖЕР ДЛЯ РАЗВИТИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО МЫШЛЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ИГРЫ «ПОЖАРНЫЙ ТАНК»**

**А.А. Щелкунов, В.В. Лебедев**

Национальный исследовательский университет  
«Высшая школа экономики», Пермь

В данной статье поднимается проблема развития параллельного алгоритмического мышления. В работе описаны эффективные методы обучения параллельному программированию с тренажером. Описаны концепция тренажера и язык команд параллельного программирования, приведена архитектура системы, описаны расчеты эффективности алгоритмов.

**Ключевые слова:** параллельное алгоритмическое мышление, тренажер.

### **«FIRE TANK» EXAMPLE GAME PARALLEL THINKING TRAINING SYSTEM**

**A.A. Schelkunov, V.V. Lebedev**

National Research University Higher School of Economics, Perm

In this article, the problem of development of parallel algorithmic thinking is described. The paper describes effective methods of teaching parallel programming with training system. The concept of the training system and parallel programming command language are described, the architecture of the system is given, the calculation of algorithms effectivity is described.

**Keywords:** parallel algorithmic thinking; training system.

**Введение.** Изучение основ алгоритмизации является важной частью в образовательном процессе обучающихся, в частности, тех, чья будущая деятельность связана с разработкой программного обеспечения. К сожалению, студенты при обучении редко сталкиваются с задачами, требующими реализации параллельного алгоритма, и в основном реализуют в программах последовательные алгоритмы, даже в случаях, когда намного эффективнее было бы разделить выполнение программы на несколько процессов. Более того, существующие тренажеры по основам алгоритмизации, как правило, направлены на развитие последовательного алгоритмического мышления. Следовательно, **проблема**

**работы** заключается в том, что студенты имеют плохо развитое параллельное алгоритмическое мышление, поэтому они не в состоянии разрабатывать эффективные параллельные алгоритмы.

**Актуальность работы** обуславливается тем, что существует большое количество видов программного обеспечения, в которых необходимо реализовывать параллельные алгоритмы ввиду их высоких требований к вычислительным ресурсам.

Такое программное обеспечение является совершенно неэффективным, если реализовывать его в последовательном стиле. Поэтому при работе над такими проектами разработчику необходимо знать не только особенности программирования параллельных систем с использованием конкретного языка, но и иметь хорошо развитое параллельное мышление.

Одним из способов развития алгоритмического мышления является использование программных тренажеров, например, того, который был выбран для данной работы на примере игры «Пожарный танк».

**Цель работы** – разработка тренажера по параллельному программированию, способствующего развитию параллельного алгоритмического мышления.

**Научная новизна** заключается в том, что в данной работе предлагается новый метод решения задачи обучения параллельному программированию в виде игры-тренажера «Пожарный танк», с возможностью параллельного программирования верхнего уровня (т.е. программирования работы нескольких танков) и нижнего уровня (т.е. программирования работы нескольких исполнителей танка). Также в данном тренажере реализовано изменение условий задачи во время ее выполнения, что побуждает игроков планировать работу каждого процесса наперед, с учетом возможных конфликтов с другими процессами (как между танками, так и между исполнителями танков).

**Постановка задачи.** Для выявления текущего состояния предметной области и сбора требований к системе были проведены анализ исследований в области обучения алгоритмическому мышлению и анализ существующих аналогичных решений.

Авторы исследования [1] обращают внимание, что обучение в рамках игрового процесса является одним из наиболее эффектив-

ных способов. Причина в том, что этот подход предлагает думать об алгоритме, как о конкретной последовательности шагов вместо низкоуровневых процессов, выполняемых компьютером. В исследовании [2] приводятся результаты процесса обучения студентов аналитическим способностям в среде Code.org, которые показали, что производительность разработки алгоритмов выше, если студенты могут наблюдать результаты и ошибки каждого составленного алгоритма прямо во время его выполнения.

Авторы исследования [3] утверждают, что в обучающей системе наиболее эффективным методом создания алгоритмов является подход «drag-drop», так как он акцентирует внимание исключительно на алгоритме, игнорируя особенности синтаксиса языка.

Среди методов обучения основам параллельного программирования [4] автор выделяет репродуктивный метод, поскольку он демонстрирует принцип работы параллельного алгоритма перед началом обучения на основе готового примера, в то время как другие в целом направлены на самостоятельное решение задачи без предварительной подготовки.

Таким образом, формируется следующий набор требований к системе:

- 1) обучение в рамках игрового процесса с акцентом на графическую составляющую;
- 2) демонстрация протекания работы алгоритма;
- 3) вычисление эффективности алгоритма;
- 4) сбор статистики по построенным алгоритмам;
- 5) демонстрация результатов, ошибок и прогресса обучения;
- 6) язык параллельного программирования без акцента на синтаксисе;
- 7) обучение на основе репродуктивного метода.

При анализе существующих решений были использованы разработанные в НИУ ВШЭ – Пермь тренажеры по развитию параллельного алгоритмического мышления «Танковый экипаж» и «Рой роботов».

Суть параллельного программирования игры «Танковый экипаж» заключается в том, что необходимо разработать параллельный алгоритм для трех исполнителей одного танка, отвечающих за передвижение танка, поворот башни танка и подготовку к выстрелу.

Исполнители танка имитируют работу параллельных процессов, однако они никак не взаимодействуют между собой, поэтому в данном тренажере преимущества разделения последовательного алгоритма на параллельный в целом не демонстрируются [5].

В отличие от «Танкового экипажа» в тренажере «Рой роботов» акцентируется внимание на параллельном программировании нескольких роботов, которые выполняют по одному действию за шаг.

В данной игре более наглядно демонстрируются преимущества параллельного программирования посредством использования эффекта синергии при совместной работе роботов. Однако недостатком данного тренажера является то, что при взаимодействии двух процессов они объединяются и превращаются в один, что в конечном итоге приводит игру к разработке обычных последовательных алгоритмов [6].

При разработке концепции тренажера к этой работе объединяются преимущества данных решений. Основная концепция игры «Танковый экипаж» подходит как для параллельного программирования нижнего уровня (на уровне исполнителей танка), так и для верхнего уровня (на уровне танков, которых в данном случае должно быть несколько).

Преимущества параллельного алгоритма могут демонстрироваться посредством эффекта синергии из «Роя роботов» при совместной работе нескольких танков, которые поражают одну и ту же цель. В обоих примерах в качестве инструмента для создания параллельного алгоритма используется таблица вместо «drag-drop» блоков, так как она более наглядно демонстрирует параллельность выполнения шагов. Другим методом, принуждающим к распараллеливанию процессов, является усложнение задачи с течением времени, которое приводит к резкому падению эффективности работы последовательного алгоритма.

В качестве примера такой задачи можно привести тушение лесных пожаров. Таким образом, в данной работе описывается тренажер параллельного программирования, в котором реализованы описанные требования на примере игры «Пожарный танк».

Действие игры «Пожарный танк» разворачивается в определенной местности, где происходит пожар. Сцена представлена в виде

прямоугольной карты, разделенной на клетки, на которых расположены игровые объекты.

Игровыми объектами могут быть пожарные танки, которые выполняют разработанный игроком параллельный алгоритм, объекты, которые могут воспламениться, и препятствия, которые необходимо обходить. Задача усложняется тем, что с течением времени огонь будет распространяться согласно механике ветра.

Цель игры – составить наиболее эффективный алгоритм параллельного выполнения, при котором будет уничтожено как можно меньше игровых объектов.

**Разработка тренажера.** Для разработки алгоритма необходим язык команд, которых достаточно для решения задачи.

Для каждого исполнителя танка существует свой набор команд, который приведен в таблице.

Язык команд

| Исполнитель передвижения танка | Исполнитель подготовки орудия | Исполнитель башни танка   |
|--------------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| Вперед                         | Увеличить давление на 1       | Повернуть на 45° по ч.с.  |
| Назад                          | Увеличить давление на 2       | Повернуть на 45° пр. ч.с. |
| Повернуть на 45° по ч.с.       | Пополнить запасы воды         | Повернуть на 90° по ч.с.  |
| Повернуть на 45° пр. ч.с.      | Подготовить орудие            | Повернуть на 90° пр. ч.с. |
| Повернуть на 90° по ч.с.       |                               | Поднять пушку             |
| Повернуть на 90° пр. ч.с.      |                               | Опустить пушку            |
| Вперед и 45° по ч.с.           |                               | Выстрелить                |
| Вперед и 45° пр. ч.с.          |                               |                           |
| Назад и 45° по ч.с.            |                               |                           |
| Назад и 45° пр. ч.с.           |                               |                           |

Задачи, которые необходимо решить при обучении с тренажером, представляют собой карту, на которой расположены танки и другие игровые объекты. Карты создаются с использованием редактора Tile Map Editor.

Приложение реализовано с использованием двухзвенной модели на основе клиент-серверной архитектуры. На стороне клиента располагается тренажер, разработанный с использованием языка C#, технологии Windows Forms и графической библиотеки SFML.

При загрузке задания создается окно для визуализации карты и несколько окон (в зависимости от количества танков) с таблицей алгоритма для соответствующего танка. Интерфейс программы представлен на рисунке.



Рис. Пользовательский интерфейс программы

На стороне сервера расположена база данных, которая необходима для сбора статистики и хранит информацию обо всех разработанных алгоритмах в формате XML, оценку эффективности алгоритма, которая рассчитывается по формуле (1), а также дату создания. Помимо алгоритмов в базе данных хранится информация о пользователях (входящих в систему путем аутентификации), которые разработали данные алгоритмы, и информация о картах, для которых разрабатываются алгоритмы.

$$E = (L \div (1 + T_{burned})) \div [(T_{total} \div (W * H)) \times (T_{burning} \div (W * H))], \quad (1)$$

где  $E$  – эффективность алгоритма;  $L$  – сумма шагов алгоритмов всех танков;  $T_{burned}$  – количество сгоревших деревьев после выпол-

нения алгоритма;  $T_{total}$  – количество деревьев на карте;  $W$  – ширина карты;  $H$  – высота карты;  $T_{burning}$  – количество горящих деревьев в начале игры.

**Заключение.** В работе предложено решение проблемы развития параллельного алгоритмического мышления с использованием тренажера параллельного программирования.

Представлены наиболее эффективные методы повышения эффективности обучения, предложен репродуктивный метод обучения. Описана концепция игры.

Тренажер разработан согласно концепции с учетом выявленных требований, реализованы описанные методы. Планируется выполнить его развертывание в НИУ ВШЭ – Пермь и провести апробацию системы.

### Библиографический список

1. Aman Yadav. Computational thinking for teacher education. – Communications of the ACM, 2017.
2. Maria Jose Marcelino. Learning Computational Thinking and scratch at distance. – Computers in Human Behavior, 2017.
3. Hasan Gürbüz. “What’s the Weather Like Today?”: A computer game to develop algorithmic thinking and problem solving skills of primary school pupils. – Springer, 2016.
4. Сокольская М.А. О методах обучения бакалавров направления «Педагогическое образование» по профилю «Информатика» основам параллельного программирования // Вестник ТГПУ. – 2012.
5. Кучев А.Д., Плаксин М.А. Пропедевтика параллельных вычислений в школьной информатике. Компьютерная игра «Танковый экипаж» // Информатика в школе. – 2016.
6. Плаксин М.А., Цаплин С.В. Пропедевтика параллельных вычислений в школьной информатике: Тема «Рой роботов» в конкурсе «ТРИЗформашка-2017» // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2017.

### **Библиографический список**

**Щелкунов Андрей Александрович** – студент Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», Пермь, e-mail: would.you.kindly@yandex.ru

**Лебедев Виктор Валерьевич** – старший преподаватель кафедры «Информационные технологии в бизнесе» Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», Пермь. e-mail: lebedev@hse.ru

### **About the authors**

**Schelkunov Andrei Aleksandrovich** – Student, National Research University Higher School of Economics, Perm, e-mail: would.you.kindly@yandex.ru

**Lebedev Viktor Valerievich** – Senior Lecturer Department of Information Technologies in Business National Research University Higher School of Economics, Perm, e-mail: lebedev@hse.ru



## **Секция 2**

# **АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ**

## **AUTOMATED MATERIAL PLANNING METHOD FOR CONTROLLING THE TIGHTNESS OF A HELICOPTER**

**O.N. Ilin, A.P. Ilina, N.Z. Sultanov, A.I. Sergeev**  
Orenburg State University, Orenburg

Successful organization of enterprise management allows you to improve the management decision-making process and, along with high economic effect, gain competitive advantages by improving the quality of services and products, optimizing cost, and reducing the time to market for products. In this regard, the planning of materials for monitoring the tightness of a helicopter at an aircraft manufacturing enterprise is an urgent and challenging task.

**Keywords:** Planning, automation, tightness, helicopter, materials.

## **АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МЕТОД ПЛАНИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ВЕРТОЛЕТА**

**О.Н. Ильин, А.П. Ильина, Н.З. Султанов, А.И. Сергеев**  
Оренбургский государственный университет, Оренбург

Успешная организация управления предприятием позволяет улучшить процесс принятия управленческих решений и наряду с высоким экономическим эффектом, получить конкурентные преимущества за счет повышения качества услуг и продуктов, оптимизации стоимости, сокращение времени вывода продуктов на рынок. В связи с этим планирование материалов для контроля герметичности вертолета на авиастроительном предприятии является актуальной и сложной задачей.

**Ключевые слова:** планирование, автоматизация, герметичность, вертолет, материалы.

**Introduction.** The last decade was marked by a significant complication of industrial production, the expansion of the range of products, as well as a reduction in the time to launch new products to the market. At the same time, consumer requirements for product quality and level of service increased, which necessitated the improvement of management methodology and technology. There was a need, on the one hand, in systematization of approaches to production management, and on the other hand in accelerating the solution of the tasks facing the enterprise.

The increased complexity of tasks made it necessary to remove routine calculation functions from a person, using the potential of computing equipment, and thus freeing man's time to concentrate on making managerial decisions. The management of a modern enterprise is inconceivable using the integrated information system. The core of such a system at an industrial enterprise, as a rule, is the ERP class system (Enterprise Resource Planning- enterprise resource planning), which implements the concept of enterprise management [1, 2].

**ERP System Material Requirements Planning.** At the first stage, there is the task of fixing and "unfolding" the need for finished products, this task is called MRP (Material Requirements Planning) -planning requirements for materials.

It should be noted that such a solution to the problem using ERP is used by many enterprises in Europe. The scheme for solving the problem is shown in Figure.

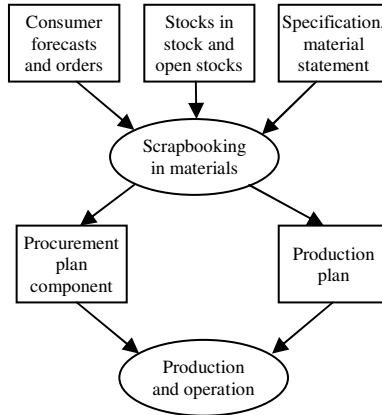


Fig. Planning and Requirements for Materials

Data on the demand for products of independent demand: the customer in the company's products to which these products are shipped is directly interested in obtaining these or other nomenclatural positions. Examples of such item positions can be finished products, spare parts, semi-finished products and components sold to the side, etc. The need may be represented either by a sales forecast, or by already existing customer orders, or both. Information on sales forecasts and sales orders is the basis for the formation of a master production schedule covering the item items included in the production plan.

Data on stocks of products, assembly units and materials, as well as information about open orders. In solving the problem, not only stocks of finished products shipped to the side and raw materials purchased from suppliers are taken into account, but also stocks of nomenclature positions of all intermediate stages of production (semi-finished products of own production, assembly units, nodes, etc.). The notion of “open order” has been introduced for both manufactured and procured item positions and refers to those orders that are being manufactured or purchased, but have not yet been completed.

Data on the composition of products and consumption rates of raw materials, materials and components per unit of measurement of finished products. In the theory of MRP, this information is called BOM (Bill of Material – specification). The result of the above actions is a description of the needs of the company in the produced and purchased item positions, expressed in the form of a calendar plan. MRP forms two message arrays:

- Planned orders – offer the size of the order, the launch date and the date of the order as a result of the MRP in the case when the MRP encounters a net need;

- Recommendations are the result of the system’s operation, determining the type of actions needed to eliminate current or potential problems. Examples of recommendations in the MRP system can be “launch an order”, “reschedule an order”, “cancel an order”.

It should be noted that the MRP works on the basis of the following assumptions:

- all operations are carried out within the boundaries of one production site, i.e. the geographically distributed structure of enterprises is not supported;

- production resources are not limited, so the MRP does not care about their sufficiency for the implementation of the established plan.

In conclusion, we would like to note that today, successful planning of materials in an enterprise cannot be performed without the use of ERP systems [3].

## **Bibliography**

1. Ilina A.P., Sergeev A.I. Analysis of automation systems for planning and scheduling of a machine-building enterprise // materials of the VIII All-Russian scientific-practical conference "Computer integration of production and IPI-technology". – Orenburg: OOO IPK "University", 2017. – P. 602–607.

2. Ilyin O.N., Sultanov N.Z., Ilina A.P. The principle of building a system of technological preparation of production to control the tightness of the helicopter cabin // materials of the VIII All-Russian scientific-practical conference "Computer integration of production and IPI-technology". – Orenburg: OOO IPK " University", 2017. – P. 432–434.

3. Ilin O.N., Ilina A.P. Development of a system for technological preparation of production for monitoring the tightness of aviation and space-rocket products // Collection of articles of the International Scientific and Practical Conference "Fundamental research of the main directions of technical and physical and mathematical sciences". – Sterlitamak: AMI, 2017. – 136 с.

### **About the authors**

**Ilin Oleg Nikolaevich** – Graduate Student Orenburg State University, Orenburg, e-mail: ilyin.oleg.n@yandex.ru

**Ilina Anna Pavlovna** – Master Student Orenburg State University, Orenburg, e-mail: ilyin.oleg.n@yandex.ru

**Sultanov Nail Zakievich** – Doctor of Technical Sciences, Professor head of the department of "Production automation systems", Orenburg State University, Orenburg, e-mail: sultanov@mail.osu.ru

**Sergeev Alexander Ivanovich** – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of "Production Automation Systems" Department Orenburg State University, Orenburg, e-mail: alexander\_sergeew@mail.ru

### **Сведения об авторах**

**Ильин Олег Николаевич** – аспирант Оренбургского государственного университета, Оренбург, e-mail: ilyin.oleg.n@yandex.ru

**Ильина Анна Павловна** – магистрант Оренбургского государственного университета, Оренбург, e-mail: ilyin.oleg.n@yandex.ru

**Султанов Наиль Закиевич** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Системы автоматизации производства» Оренбургского государственного университета, Оренбург, e-mail: sultanov@mail.osu.ru

**Сергеев Александр Иванович** – доктор технических наук, доцент кафедры «Системы автоматизации производства» Оренбургского государственного университета, Оренбург, e-mail: alexander\_sergeew@mail.ru

## ОБЗОР СХЕМ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ УСТРОЙСТВ ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ

**И.Г. Агибалов, Д.А. Тупикин, Е.А. Звягина**

Ливенский филиал Орловского государственного университета  
им. И.С. Тургенева, Ливны

В статье рассмотрены свойства и особенности кинематических схем станков, применяемых для 3D-печати и координатных станков, имеющих не менее трёх плоскостей перемещения.

**Ключевые слова:** 3D-принтер, схемы, кинематика движения, преимущества, недостатки.

### REVIEW OF THE DIAGRAMS OF DISPLACEMENTS OF DEVICES FOR 3D PRINTING

**I.G. Agibalov, D.A. Tupikin, E.A. Zvyagina**

Livensky branch Oryol State University  
named after I.S. Turgeneva, Livny

The article describes the properties and features of kinematic schemes of machines used for 3D-printing and coordinate machines with at least three planes of movement.

**Keywords:** 3D-printer, circuits, kinematics motion, advantages, disadvantages.

В настоящее время тема 3D-принтеров популярна и очень актуальна, так как происходит их активное внедрение в производство, осваиваются новые области применения. В некоторых отраслях 3D-принтеры стали незаменимыми помощниками, например, изготовление опытных образцов деталей, узлов при проектировании новых изделий в приборостроении и машиностроении. Применение технологии 3D-печати позволяет сократить время и стоимость технической подготовки производства.

Создание 3D-принтера требует глубокого анализа этапов его разработки, изготовления и эксплуатации. Скорость обработки, габариты, мощности приводов, требуемая жесткость, цена – это то, что нужно выяснить инженеру перед проектированием. Главным этапом разработки является выбор кинематической схемы станка. Неверный выбор на этом этапе сведет на нет всю дальнейшую работу.

Рассмотрим подробнее кинематические схемы, позволяющие перемещать инструмент, как минимум, по трём координатам, которые можно применить для 3D-печати.

**1. В портальной схеме** (рис. 1) деталь неподвижно закреплена на столе. Перемещение по осям  $X$   $Y$  и  $Z$  обеспечено порталом, на котором закреплен инструмент. Схема самая простая для управления, понимания и распространена среди трёх осевых станков с ЧПУ. Все оси ортогональны, минимум расчетов для исполнительного контроллера. Схема позволяет достичь большой жесткости станка. Отметим, что сравнение схем идет среди станков с одинаковым весом.

Недостатки схемы:

- схема требовательна к взаимному расположению направляющих: параллельность, перпендикулярность;
- высокая стоимость из-за количества деталей и высоких требований. Как минимум, 6 направляющих поверхностей.



Рис. 1. Портальная схема

Среди 3D-принтеров эта схема не очень популярна, из-за повышенной массы каретки. Силы резания в основном действуют на скручивание портала по оси  $Y$ , а также на изгиб вдоль той же оси  $Y$ . Поэтому эти места считаются "узкими" у такой схемы.

**2. Портальная схема с подъемным столом** (рис. 2) аналогична предыдущей, но разница в том, что перемещение по оси  $Z$  выполняет стол.

Преимущества этой схемы – существенно меньший вес каретки, перемещаемой вдоль оси  $Y$ , что позволяет гораздо быстрее перемещать инструмент в плоскости  $XZ$ ; большинство деталей, производимых на координатных станках, имеет в этой плоскости (ширину и длину) большие размеры, чем в глубину, поэтому немного проще подвести провода, выполнить охлаждение привода шпинделя, подать СОЖ. Но схема в промышленности встречается редко, так как вес детали приходится на привод оси  $Z$ , при этом масса заготовки может меняться и, соответственно, будет меняться и масса стола. Механизм смены инструмента будет сложнее, ведь сам шпиндель опуститься не может. Если стол больших размеров, то данную схему вообще не применяют.

Силы резания также распределяются, как и на станке с кареткой оси  $Z$ , с той лишь разницей, что они делятся пополам еще и на направляющие стола.

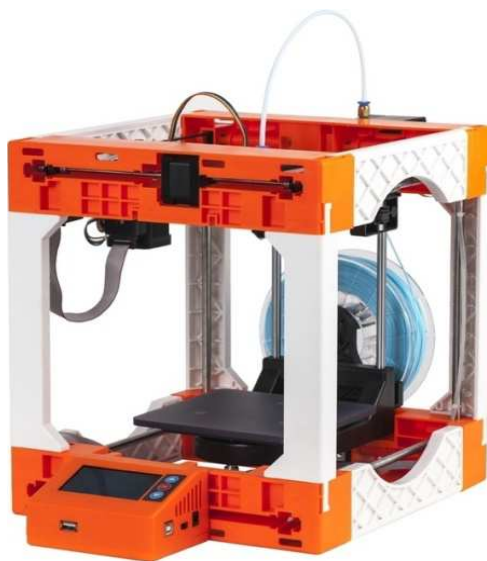


Рис. 2. 3D-принтер с подъемным столом

**3. Схема с неподвижным шпинделем** (рис. 3) характерна тем, что стол перемещается в двух или трех плоскостях. Схема наиболее распространена в промышленности и, в частности, среди универсальных фрезерных станков. Дело в том, что для металлорежущих стан-



ков требуется большой крутящий момент на шпинделе. Поэтому необходимо подвести к нему силовой привод от коробки скоростей, что сложно сделать с предыдущими схемами. В этой схеме возможно сделать шпиндель с большой жесткостью и точностью. Однако суммарный вес стола со всеми приводами и направляющими значительный относительно других схем и с учетом изменения массы заготовки требует применения мощных приводов для перемещения стола по оси Z. Потому и привод должен быть силовой. Силы резания по большей части действуют на направляющие оси Z, при резании по оси X и Z.

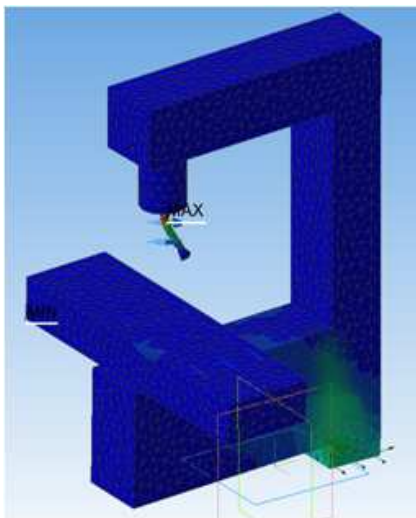


Рис. 3. Схема с неподвижным шпинделем

**4. Кинематика Клавела** (рис. 4) была изобретена в начале 1980-х гг. Реймондом Клавелем. Преимущества схемы – в скорости перемещений. Данная схема не требует направляющих совсем, потому она механически простая и самая дешевая схема. Эта схема не требует особой точности в расположении приводов, все настраивается программно. Так как схемы сравниваются относительно веса станков, то станок на кинематике Клавела можно собрать самым большим среди остальных схем. Площадка, удерживающая инструмент, крепится на шарнирах, а параллельность её относительно стола обеспечивается двойными штангами.

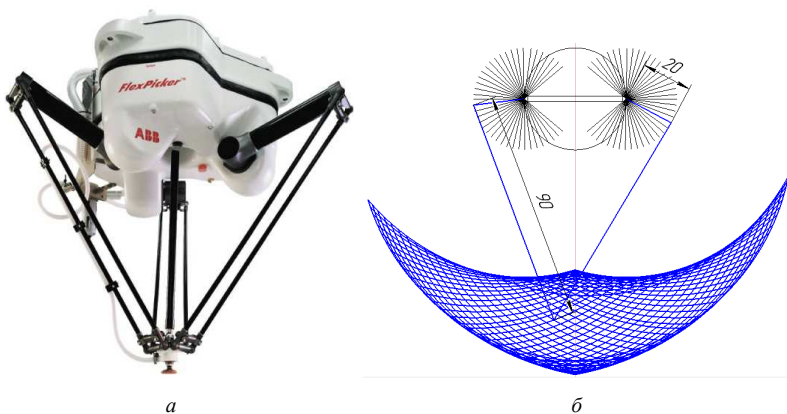


Рис. 4. Кинематика Клавела (а); форма рабочей плоскости и линии распределения дискрет кинематики Клавела (б)

#### Недостатки:

- требуются три мощных и точных привода для обеспечения хотя бы небольшой нагрузочной способности. Так как к приводу крепится рычаг, то пропорционально падают точность и сила, перемещающая площадку, соответственно необходимо, компенсировать и крутящий момент на приводах;

- ограничено движение по оси  $Z$ , что не очень подходит для 3D-принтера, если высота детали больше, чем её длина и ширина;

- неравномерность распределения дискрет. Если составить сетку дискрет для портального станка, то видно, что все линии ортогональны, перпендикулярны друг другу, и их длина равна по всему рабочему объему. Здесь же (см. рис. 4, б) плотность линий в разных точках рабочего объема разная. Значит, и разная погрешность. Ввиду этого усложняется программа для станка;

- сингулярность (рис. 5), которая присуща всем механизмам с одним и более рычагом.

**5. «Дельта» с параллельными направляющими** (рис. 6). Принцип почти тот же, что и у кинематики Клавела, с тем различием, что появились три направляющие. Смысл такого преобразования заключен в увеличении высоты рабочего объема. Данная схема является самой распространенной среди 3D-принтеров. Преимущества: быстро работает, нет особых требований к точности расположения направляющих, все настраивается программно, низкая стоимость. Минусы схемы оста-

лись от рычажной кинематики Клавела. Есть разница в распределении сил резания. Силы реакции направлены вдоль тяг и раскладываются на силы, действующие вдоль направляющих к приводам, и на силы опоры, нормальные к направляющим, из-за чего такую треугольную призму скручивает и перекашивает по плоскости  $XU$ .

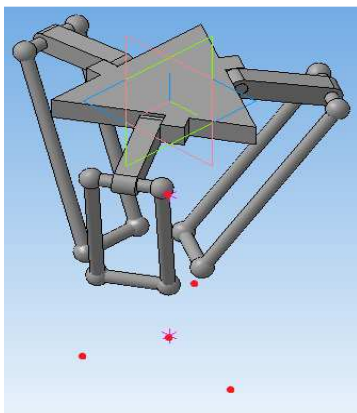


Рис. 5. Сингулярности кинематики Клавела

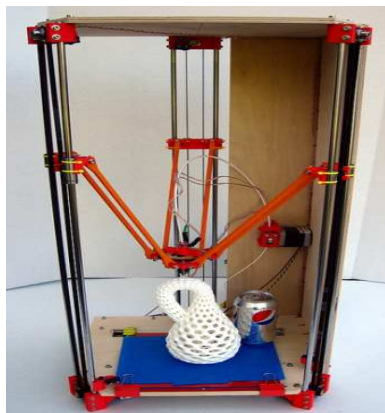


Рис. 6. Схема «Дельта» с параллельными направляющими

**6. Параллельная кинематика** (рис. 7). Площадка для инструмента имеет три независимых опоры. У схемы Клавела тоже параллельная кинематика, но здесь каждый рычаг ограничивает перемещение вдоль одной из плоскостей. Так как оси расположены перпендикулярно, то нет сложностей с тригонометрией.

Каждый рычаг отвечает за свою ось, и погрешности не складываются, они как бы параллельны. Особенность этой схемы – в применении рычагов на шарнирах, что позволяет использовать только одни винты, причем они могут быть и с биениями, главное – точно выдерживать шаг. Разумеется, можно применять и направляющие. Такая схема тоже применяется в 3D-принтерах. Интересная особенность таких устройств заключается в возможности наращивания рабочих осей. Если добавить еще одну «руку» каретке, можно придавать еще и вращательное движение вокруг одной из осей.

Недостатки: в рабочей зоне находятся рычаги, и их необходимо учитывать для того, чтобы не задеть деталь; требуются качественные шарниры; большое число подвижных деталей.



Рис. 7. Параллельная кинематика

7. **Многоугольная схема** на актуаторах показана на рис. 8.

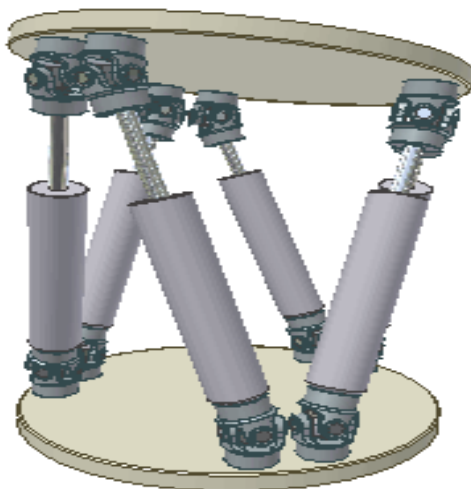


Рис. 8. Многоугольная схема на актуаторах

Особого названия для такой схемы нет. Она очень похожа на кинематику Клавела. Однако главное отличие в том, что оси перемещения расположены вдоль штанг. Актуаторы закрепляются на свободном шарнире одним концом, а другим – на каретке с инструментом. Схема обладает параллельной кинематикой со всеми её преимуществами. Шарниры можно располагать как угодно, все изменения будут

в расчетах и программе. Так же не ограничено максимальное количество актуаторов, и чем их больше, тем больше жесткость и сложнее программа. Обладает хорошей точностью и дискретностью на миллиметр. Существуют промышленные станки с такой схемой. Главный недостаток – в небольшой нагрузочной способности. Среди 3D-принтеров применяться может, но не применяется, так как для каждой такой схемы нужна своя программа.

Это основные, применяющиеся сегодня схемы. Универсального решения среди них нет, каждая имеет свои достоинства и недостатки. Каждая из схем может быть модернизирована и рассчитана под конкретные условия, и задача проектировщика – правильно выбрать исходные данные на начальном этапе и определиться с оптимальным вариантом схемы.

### **Сведения об авторах**

**Агибалов Иван Геннадьевич** – студент Ливенского филиала ОГУ им. И.С. Тургенева, инженер ОАО «Промприбор», Ливны.

**Тупикин Дмитрий Александрович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Инженерное образование» Ливенского филиала ОГУ им. И.С. Тургенева, Ливны.

**Звягина Елена Александровна** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Инженерное образование» Ливенского филиала ОГУ им. И.С. Тургенева, Ливны, e-mail: nioliv@mail.ru

### **About the authors**

**Agibalov Ivan Gennadievich** – Student Livensky branch of the Oryol State University named after I.S. Turgeneva, engineer of OJSC "Prompribor", Livny.

**Tupikin Dmitry Aleksandrovich** – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor Department "Engineering Education" Livensky branch of the Oryol State University named after I.S. Turgeneva, Livny.

**Zvyagina Elena Alexandrovna** – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor Department "Engineering Education" Livensky branch of the Oryol State University named after I.S. Turgeneva, Livny, e-mail: nioliv@mail.ru

## РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ СТЫКОВОЧНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ СВЕТИЛЬНИКОВ НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

**А.А. Маслов, П.А. Сливницин, А.А. Бачурин**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

В данной статье рассмотрены новый способ крепления светильников наружного освещения, а также вопросы их диагностики и ремонта. Приведены преимущества текущего способа крепления и обслуживания. Показаны конструктивные особенности предложенной стыковочной системы. Приведён экономический эффект от внедрения и использования стыковочной системы.

**Ключевые слова:** разъем, крепление, стыковочная система, наружное освещение, светильник, обслуживание, организация ремонта.

## RESOURCE-SAVING DOCKING SYSTEM FOR LAMPS OF OUTDOOR LIGHTNING

**A.A. Maslov, P.A. Slivnitsin, A.A. Bachurin**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

This article describes a new method of mounting outdoor lighting fixtures, as well as their diagnosis and repair. Advantages regarding the current mounting and maintenance method are given. The design features of the proposed docking system are shown. The economic effect of this implementation is given.

**Keywords:** connector, bracket, docking system, outdoor lighting, lamp, maintenance, organization of repair.

В настоящее время для проведения диагностики и ремонта осветительной сети используется автомобиль с автовышкой, ремонт производится с вышки на опоре при различных погодных условиях на высоте от 10 до 15 м, под напряжением и с минимальным набором запасных частей. Данные условия ремонта неблагоприятно влияют на качество выполняемых работ, а также увеличивают время использования электромонтеров и техники, что, в свою очередь, увеличивает стоимость обслуживания осветительных сетей.

Для ускорения и улучшения качества ремонта и диагностики осветительных сетей предлагается использование новой системы крепления светильника к кронштейну – стыковочной системы [1], которая

позволяет быстро демонтировать неисправный светильник и установить на его место исправный. Проведение ремонта и диагностики демонтированных светильников предлагается делать в условиях цеха с применением полного набора необходимых инструментов и запасных частей. Целями создания стыковочной системы являются: уменьшение общего времени диагностики и ремонта одного светильника, сокращение ремонтного персонала и часов использования техники; повышение качества диагностических и ремонтных работ.

Стыковочная система механически соединяет между собой светильник и трубу-кронштейн, обеспечивает их электрическое соединение. Система состоит из двух частей: одна устанавливается непосредственно в светильник и удерживается внутри за счёт крепежа, входящего в состав светильника, вторая часть устанавливается в металлическую трубу-кронштейн и удерживается там силами трения.

Две части стыковочной системы содержат в себе электрические контактные соединения и проводники, обеспечивающие электрическое присоединение светильника к сети 220 В (рис. 1).

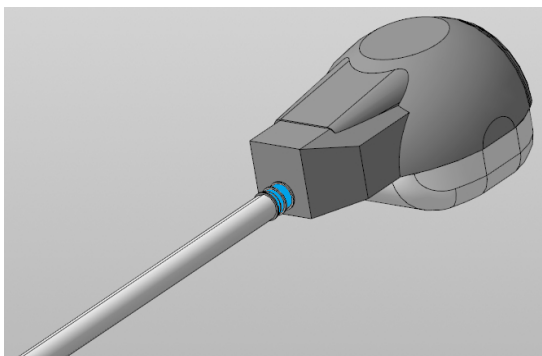


Рис. 1. Крепление светильника наружного освещения с использованием стыковочной системы

Одна часть системы, закреплённая в светильник, вставляется в полость другой части системы. Внутренняя полость второй части со стороны, выступающей из трубы кронштейна в поперечном разрезе, имеет форму окружности, плавно переходящую в форму сегмента, используемую для защиты от неправильного соединения и фиксации светильника в горизонтальном положении. На внутренней плоской площадке внутри второй части системы находятся выступающие контакты, кото-

рые при закреплении одной части в другой замыкаются, осуществляя соединение электрической цепи. Система имеет защиту от поражения электрическим током, реализованную в виде правильной последовательности коммутации проводников: сначала заземление, затем нейтраль, затем фазный проводник. Две части стыковочной системы фиксируются в соединенном состоянии посредством защёлки, которая может быть выполнена подпружиненной или магнитной.

Наилучшим вариантом для исполнения корпусных деталей стыковочной системы является термостойкий пластик (АБС), имеющий невысокую стоимость, достаточные изоляционные свойства и допустимый температурный режим эксплуатации. Аналогов данного устройства найдено не было [2], поэтому в качестве количественных характеристик вибрационной и термической стойкости использовались параметры прибора, максимально близкого по эксплуатационным условиям. Наиболее подходящим является устройство, к которому производится присоединение одной части стыковочной системы, т.е. светильник наружного освещения [3–5].

Для кронштейнов светильников наружного освещения регламентируется минимальная механическая нагрузка, составляющая пятикратный вес светильника, это приблизительно 25 кг. В результате расчётов было получено минимальное поперечное сечение кронштейна из АБС-пластика, составляющее 600 мм<sup>2</sup>, что удовлетворяет требованиям к габаритам стыковочной системы (рис. 2).

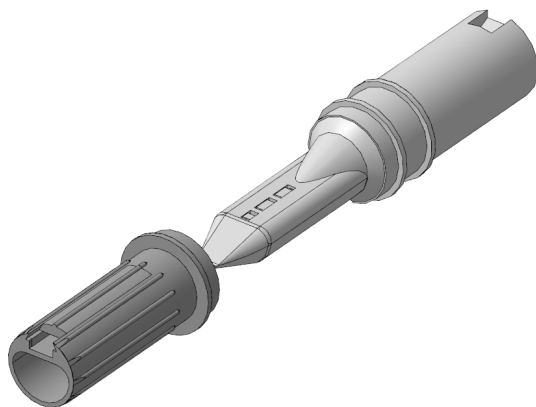


Рис. 2. Трехмерная модель стыковочной системы в разъединенном состоянии



Основным элементом электрической части стыковочной системы являются токопроводящие шинки прямоугольного сечения, выполненные из латуни (рис. 3).

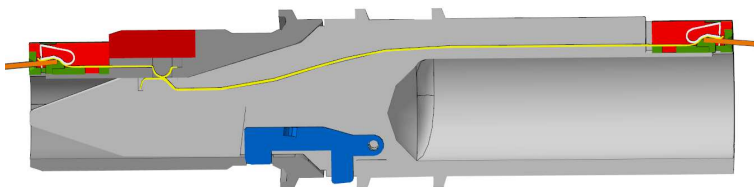


Рис. 3. Продольный разрез стыковочной системы

Латунь удовлетворяет нормативным значениям сопротивления контактных узлов и проводников и обеспечивает минимальную стоимость конструкции.

Стоимость одного экземпляра системы оценивается в пределах 500 руб. за штуку.

Внедрение такой стыковочной системы приведёт к снижению затрат на обслуживание, улучшит условия диагностики и ремонта установок наружного освещения, а также позволит перейти от старого способа обслуживания, непосредственно на месте, к новому способу, предполагающего замену вышедшего из строя светильника на рабочий и последующий ремонт снятого светильника в специализированных помещениях квалифицированным персоналом.

### **Библиографический список**

1. Бачурин А.А., Павлов Н.В., Сливницин П.А. Проектирование ресурсосберегающего разъема-крепления светильника наружного освещения // Научно-технический вестник Поволжья. – 2018. – № 4. – С. 75–77.
2. Исследование рынка муниципального уличного освещения в рамках реализации Международного проекта ПРООН/ГЭФ/Минэнерго России «Преобразование рынка для продвижения энергоэффективного освещения» по заказу Минпромторга России и Минэнерго России, 2013 / ООО «Лайтинг Бизнес Консалтинг» // Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс.
3. ГОСТ 17516.1-90. Изделия электротехнические. Общие требования в части стойкости к механическим внешним воздействующим

факторам (с изм. № 1, 2) // Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс.

4. ГОСТ Р МЭК 60598-1 – 2011. Светильники. Ч. 1: Общие требования и методы испытаний // Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс.

5. ГОСТ Р 54350-2015. Приборы осветительные. Светотехнические требования и методы испытаний // Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс.

### **Сведения об авторах**

**Маслов Александр Андреевич** – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: antentmusic@gmail.com

**Сливницын Павел Александрович** – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: slivnitsin1997@mail.ru

**Бачурин Андрей Анатольевич** – старший преподаватель кафедры «Микропроцессорные средства автоматизации» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: a.bachurin@pstu.ru

### **About the authors**

**Maslov Aleksandr Andreyevich** – Student Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: antentmusic@gmail.com

**Slivnitsin Pavel Aleksandrovich** – Student Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: slivnitsin1997@mail.ru

**Bachurin Andrey Anatolevich** – Senior Lecturer of the Microprocessor means of automatization department Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: a.bachurin@pstu.ru

**СИСТЕМА УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ  
УСТАНОВКОЙ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ  
ЭЛОУ – АВТ1 ООО «ЛУКОЙЛ-ВОЛГОГРАДНЕФТЕПЕРЕРАБОТКА»  
ПРИ НЕПОЛНОЙ ОПЕРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИИ  
О КАЧЕСТВЕ ЦЕЛЕВЫХ НЕФТЕПРОДУКТОВ**

**А.И. Горошков, В.Г. Плехов, И.А. Вялых**  
Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

В данной статье рассмотрен, на примере функционирования установок АВТ, подход к созданию АРС-системы, включающей в себя виртуальные многопараметрические контроллеры и виртуальные анализаторы качества продуктов переработки нефти.

**Ключевые слова:** атмосферно-вакуумная трубчатка, система усовершенствованного управления, оптимизация, многопараметрический контроллер, виртуальный анализатор качества продукции.

**DEVELOPMENT OF ADVANCED PROCESS CONTROL  
AND OPTIMIZATION OF INSTALLATION OF PRIMARY OIL  
REFINING ELOU – AVT1 OOO “LUKOIL-  
VOLGOGRADNEFTEPERERABOTKA” IN INCOMPLETE  
OPERATIONAL INFORMATION ABOUT THE QUALITY  
OF THE TARGET PETROLEUM PRODUCTS**

**A.I. Goroshkov, V.G. Plekhov, I.A. Vialykh**  
Perm National Research Polytechnic University, Perm

In this article, on the example of the functioning of the AVT units, the approach to the creation of the APC system, which includes virtual multiparameter controllers and virtual analyzers of the quality of oil products, is considered.

**Keywords:** atmospheric vacuum pipe heater, advanced process control, optimization, multi-variable controller, a virtual analyzer product quality.

Под автоматизированным управлением показателями качества получаемых продуктов понимается управление в замкнутом контуре ключевыми показателями качества получаемых продуктов. Оператор (технолог) в данном случае принимает решение о допустимых пределах изменения как для показателей качества получаемых продуктов

(контролируемых переменных APC-системы), так и для управляющих воздействий APC-системы и вносит эти решения в интерфейс APC-системы. Данная разработка в автоматическом режиме будет обеспечивать выполнение поставленных задач оператора.

Для этих целей в APC-системе реализована система виртуальных анализаторов и многопараметрических контроллеров показателей качества продуктов установки.

APC-система обеспечивает выпуск продуктов установки в строгом соответствии с производственными заданиями, причем сами задания могут быть выражены как в виде допустимых пределов изменения показателей качества, так и в виде расходов (выходов) продуктов и/или сырья установки [1].

При реализации APC-системы в проекте предусмотрена разработка 18 виртуальных анализаторов мониторинга показателей качества. Перечень виртуальных датчиков представлен в табл. 1.

Таблица 1

Перечень виртуальных датчиков

| № п/п | Продукт   | Показатель качества                | Платформа ВА    | *R <sup>2</sup> | **Средняя ошибка |
|-------|-----------|------------------------------------|-----------------|-----------------|------------------|
| 1     | СУГ       | Содержание C5+ в УВГ               | AVT1_SUG_C5+    | 0.6220          | 0.1901           |
| 2     | Изопентан | Содержание IC5                     | AVT1_IC5_IC5    | 0.9693          | 1.6947           |
| 3     | НК-75     | T НК                               | AVT1_FNK75_NK   | 0.2822          | 0.94690          |
| 4     |           | T КК                               | AVT1_FNK75_KK   | 0.2699          | 4.3377           |
| 5     | 75-100    | T КК                               | AVT1_F75100_KK  | 0.5414          | 0.4650           |
| 6     | 100-180   | T НК                               | AVT1_F100180_NK | 0.4527          | 1.8575           |
| 7     |           | T КК                               | AVT1_F100180_KK | 0.7582          | 2.7998           |
| 8     | 180-240   | T НК                               | AVT1_F180240NK  | 0.3429          | 2.9886           |
| 9     |           | T 10 % кипения                     | AVT1_F180240_10 | 0.1892          | 0.1653           |
| 10    |           | T вспышки                          | AVT1_F180240F   | 0.4404          | 1.4558           |
| 11    |           | T 90 % кипения                     | AVT1_F180240_90 | 0.2169          | 2.7577           |
| 12    |           | Вязкость при 20                    | AVT1_F180240v20 | 0.4025          | 0.3029           |
| 13    | ДТ        | T 50 % кипения                     | AVT1_DT_50      | 0.4728          | 0.4646           |
| 14    |           | T 95 % кипения                     | AVT1_DT_95      | 0.3767          | 3.7551           |
| 15    |           | T помутнения                       | AVT1_DT_Cloud   | 0.3625          | 0.9393           |
| 16    |           | T вспышки                          | AVT1_DT_Flash   | 0.1985          | 1.9714           |
| 17    | Гудрон    | Вязкость кинематическая при 100 °С | AVT1_GDRN_Flash | 0.5199          | 26.8090          |
| 18    |           | T вспышки в открытом тигле         | AVT1_GDRN_V100  | 0.2812          | 10.926           |

\* Коэффициент детерминации ( $R^2$  – R-квадрат):

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

\*\* Средняя ошибка:

$$aveE = \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{y}_i - y_i|}{n}$$

Сигналы полевых датчиков из РСУ передаются по OPC в систему валидации входных сигналов. Система валидации объединяет в себе функции проверки входных сигналов на достоверность и их фильтрацию. Некоторые ВА в своих расчетах в качестве входных сигналов используют промежуточные вычисления. Такие вычисления создаются в отдельном APC-приложении и в качестве входов используют сигналы после фильтрации и проверки на достоверность. Сигналы, прошедшие валидацию и фильтрацию, поступают на вход ВА. Также на вход ВА поступают результаты промежуточных вычислений [2, 3]. Выходные сигналы ВА после фильтрации и валидации передаются в РСУ.

Для каждого контроллера реализован модуль управления сторожевого таймера. При включенном APC-контроллере программа Watchdog возмущает пульсирующий параметр в РСУ. В случае потери связи с APC-сервером или отключении APC-контроллера Watchdog (рисунок) перестает возмущать пульсирующий параметр, при этом со стороны РСУ производится перевод задействованных в APC-системе контуров регулирования в режимы по умолчанию и происходит оповещение операторов об отключении APC-системы.

**Результаты оптимизации системой усовершенствованного управления.** Решение задач оптимизации многопараметрическими контроллерами позволяет снизить вариабельность технологического процесса и тем самым исключить производство бракованной продукции, увеличить выход наиболее ценных продуктов технологической установки. Использование системы улучшенного управления позволило существенно снизить СКО ряда ключевых показателей качества продуктов производства (табл. 2).

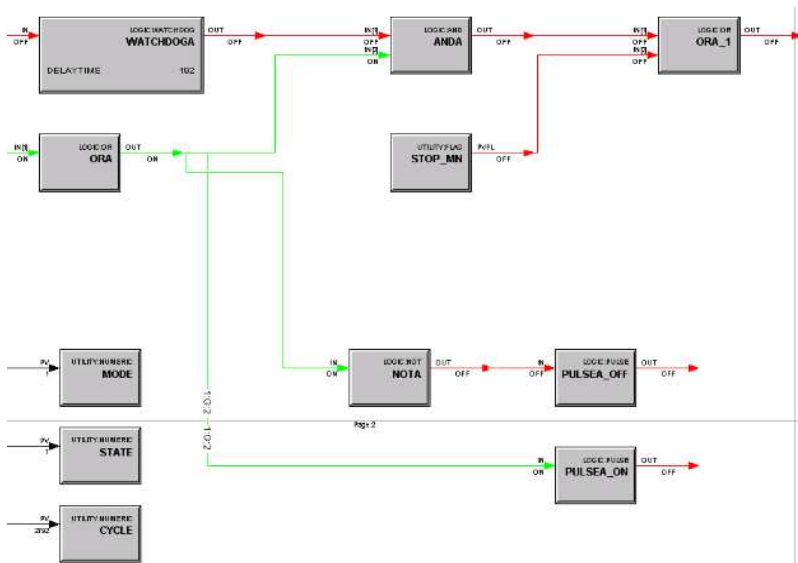


Рис. Модуль управления сторожевого таймера одного из контроллеров (структурно идентичны для всех контроллеров)

Таблица 2

### Результаты оптимизации СУУТП

| Объект | Задачи (в порядке убывания приоритета)  | Результат   |
|--------|---|---|
| K-101  | Поддержание качественных показателей бензина ( $T$ конца кипения) в заданных пределах       | Снижение количества нарушений границ качества   |
|        | Управление качественными показателями бензина ( $T$ конца кипения)                          | Снижение СКО по показателям качества  |
|        | Стабилизация режима работы колонны отбензинивания нефти по температурам, давлению, расходам | Снижение СКО регулируемых технологических параметров от задания (температуры, давления) |
| K-102  | Поддержание качественных показателей бензина, ТС, ДТ в заданных пределах                    | Снижение количества нарушений границ качества   |
|        | Управление качественными показателями бензина, ТС, ДТ                                       | Снижение СКО по показателям качества  |
|        | Поддержание плановых отборов общего бензина ТС, ДТ  | Снижение СКО отборов общего бензина, ТС, ДТ от плановых за отчетный период              |
|        | Стабилизация режима работы атмосферной колонны по температуре, давлению, расходам           | Снижение СКО регулируемых технологических параметров от задания (температуры, давления) |

| Объект | Задачи (в порядке убывания приоритета)  | Результат   |
|--------|---|---|
| К-201  | Поддержание качественных показателей стабильного бензина, СУГ                             | Снижение количества нарушений границ качества   |
|        | Управление качественными показателями бензина, СУГ  | Снижение СКО по показателям качества  |
|        | Поддержание планового отбора стабильного бензина  | Снижение СКО отборов стабильного бензина, СУГ от плановых за отчетный период            |
|        | Стабилизация режима работы колонны стабилизации бензина по температуре, давлению, расходу | Снижение СКО регулируемых технологических параметров от задания (температуры, давления) |
| К-202  | Поддержание качественных показателей разделения бензина                                   | Снижение количества нарушений границ качества   |
|        | Управление качественными показателями разделения бензина                                  | Снижение СКО по показателям   |
|        | Поддержание планового отбора разделенного бензина   | Снижение СКО отборов разделенного бензина от плановых за отчетный период                |
|        | Стабилизация режима работы колонны разделения бензина по температуре, давлению, расходу   | Снижение СКО регулируемых технологических параметров от задания (температуры, давления) |
| К-203  | Поддержание качественных показателей изопентана   | Снижение количества нарушений границ качества   |
|        | Управление качественными показателями изопентана  | Снижение СКО по показателям   |
|        | Поддержание планового отбора изопентана   | Снижение СКО отборов изопентана от плановых за отчетный период                          |
|        | Стабилизация режима работы колонны выделения изопентана по температуре, давлению, расходу | Снижение СКО регулируемых технологических параметров от задания (температуры, давления) |
| К-301  | Поддержание качественных показателей ВДФ, ТВГО, гудрона                                   | Снижение количества нарушений границ качества   |
|        | Управление качественными показателями ВДФ, ТВГО, гудрона                                  | Снижение СКО по показателям   |
|        | Поддержание планового отбора ВДФ, ТВГО, гудрона   | Снижение СКО отборов ВДФ, ТВГО, гудрона от плановых за отчетный период                  |
|        | Стабилизация режима работы вакуумной колонны по температуре, давлению, расходу            | Снижение СКО регулируемых технологических параметров от задания (температуры, давления) |

### Библиографический список

1. Опыт разработки внедрения систем усовершенствованного управления технологическими процессами нефтепереработки на базе виртуальных анализаторов / А.Г. Шумихин, Д.А. Мусатов, С.С. Власов, А.М. Немтин, В.Г. Плехов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2016. – № 2. – С. 39–53.

2. Опыт разработки системы виртуального анализа показателей качества продуктов установок каталитического риформинга бензиновых фракций и системы их подстройки в режиме реального времени / А.Г. Шумихин, М.П. Зорин, А.М. Немтин, В.Г. Плехов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2017. – № 2. – С. 45–62.

3. Плехов В.Г., Шумихин А.Г. Постановка задачи управления стабилизацией бензиновых фракций // Химия и химическая технология: тез. докл. 29-й науч.-техн. конф. – Пермь, 1998. – С. 93–94.

### Сведения об авторах

**Горошков Антон Игоревич** – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь.

**Вялых Илья Анатольевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудование и автоматизация химических производств» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: atp@pstu.ru.

**Плехов Владимир Геннадьевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудование и автоматизация химических производств» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: atp@pstu.ru

### About the authors

**Goroshkov Anton Igorevich** – Master Student Perm National Research Polytechnic University, Perm.

**Vyalykh Ilya Anatolevich** – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor of the Equipment and automation of chemical production Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: atp@pstu.ru

**Plekhov Vladimir Gennadievich** – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor of the Equipment and automation of chemical production Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: atp@pstu.ru



## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФОРМАТА COMTRADE ПРИ АНАЛИЗЕ РАБОТЫ МОДЕЛЕЙ MATLAB SIMULINK

**А.В. Кухарчук, А.А. Живых**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

Авторами статьи предлагается использование формата файлов регистрации данных аварийных процессов для обработки результатов моделирования в пакете Matlab Simulink. Приведены общие сведения о структуре файлов регистрации аварийных процессов типа comtrade, листинг программы для организации сохранения данных работы модели по данному формату, представлены общие сведения о программном обеспечении для работы с comtrade-файлами.

**Ключевые слова:** формат comtrade, защита, электрические параметры, анализ аварийных осциллограмм.

## USING THE COMTRADE FORMAT IN ANALYSIS OF WORK OF THE MATHLAB SIMULINK MODELS

**A.V. Kukharchuk, A.A. Zhiviyh**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

Using of format of log files data emergency processes for processing simulation results in Mathlab Simulink is suggested in paper.

General information about the structure of comtrade emergency log files is provided, program listing for organization the storage of model operation data according to this format, general information about software for working with comtrade files are presented.

**Keywords:** comtrade format, protection, electrical parameters, emergence waveform analysis.

Изучение объектов электроэнергетики включает в себя системы релейной защиты, автоматики, устойчивости энергосистемы и т.д. При этом возникает необходимость в расчётах и анализе несимметричных режимов при коротких замыканиях, неполнофазных включений и сложных видов несимметрии сети в одной или нескольких точках.

Формат comtrade является международным форматом, предназначенным для хранения информации о значениях и параметрах электрических сигналов. Актуальной версией стандарта является стандарт IEEE Std C37.111-2013.

Данные в формате comtrade могут быть подготовлены путем написания специального программного кода, который записывает данные и их описание в \*.CFG и \*.DAT-файлы. Принципиально формат не является универсальным, аппаратные средства записи и программные продукты для просмотра данных формата comtrade могут иметь те или иные отклонения [1]. Предлагаемый в статье подход к организации данных в формате comtrade был проверен при работе совместно с программным обеспечением для просмотра файлов регистрации аварийных процессов FastView 4.3.

Исследуемая модель, созданная в MatLab Simulink, может быть дополнена структурой, приведенной на рис. 1. Назначение данной структуры – запись данных моделирования в массив (DATA) для последующей их обработки. В тегах  $U_{abc}$  и  $I_{abc}$  передаются данные моделирования.

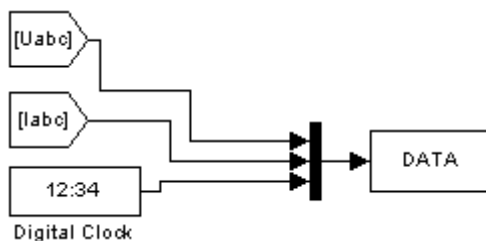


Рис. 1. Сбор данных работы модели в массив DATA

Листинг *m* файла для создания осциллограммы в формате comtrade, включающий в себя 6 аналоговых сигналов, представлен далее:

```
% формирование *.dat файла
DATA(:,1:6)=round(DATA(:,1:6)*100)/100; %округление
значений массива данных
fine=length(DATA); %определение длины массива данных
nomer=(1:fine)'; %построение массива для индексации
данных
F=0.02/50; %частота дискретизации значений
time=DATA(:,7)*1000000; % перевод данных о времени в
микросекунды
MASS=[nomer, time, DATA(:,1:6)]; %формирование полного
массива данных для записи в файл *.dat
dlmwrite('Comt_file.dat',MASS,'precision','%g','newline
','rc'); %запись сформированного массива данных в файл
```

```

%формирование *.cfg файла
str_max_ch1=max(MASS(:,3)); %выделяет из данных массива
"AA" минимальное значение (столбец 3)
str_min_ch1=min(MASS(:,3)); %выделяет из данных массива
"AA" минимальное значение (столбец 3)
.....
str_max_ch6=max(MASS(:,8)); str_min_ch6=min(MASS(:,8));
k=fopen('Comt_file.cfg','wt'); %создание файла *.cfg
fprintf(k,'%s\n','Comtrade,0'); % запись в файл
заголовка «Comtrade»
fprintf(k,'%s\n','6,6A,0D'); % запись информации о ко-
личестве каналов: 6 аналоговых и 0 дискретных
fprintf(k,'%s%s%s%s\n','1,U1,A,U1,V,1,0,0,',str_min_c
h1,',',str_max_ch1,',1,1,p'); %запись конфигурации
каналов
.....
fprintf(k,'%s%s%s%s\n','6,I3,C,I3,A,1,0,0,',str_min_c
h6,',',str_max_ch6,',1,1,p'); %номер канала (6); иден-
тификатор канала (I3); обозначения фазы (C); размер-
ность канала (A); множитель канала (1); смещение реги-
страции канала, используется для компенсации работы од-
ноканальных АЦП с мультиплексором (0); минимальное зна-
чение канала (str_min_ch6); максимальное значение кана-
ла (str_max_ch6); коэффициенты трансформации (1); пер-
вичная или вторичная величина, при наличии трансформа-
ции (P;S)
fprintf(k,'%s\n',num2str(50)); %частота основной гармо-
ники сигнала
fprintf(k,'%s\n',num2str(1)); %количество частот дис-
кретизации
fprintf(k,'%s%s\n',num2str(1/F),',',num2str(fine));
%запись значений частоты дискретизации и количества
дискретов
fprintf(k,'%s\n','19/10/2018,10:41:04.000000'); %дата и
время начала записи, в данном примере задается в ручную
fprintf(k,'%s%s\n','19/10/2018,10:41:05.',num2str((fine
-1)*F*1000000)); дата и время окончания записи
fprintf(k,'%s\n','ASCII'); %описание кодировки записан-
ных данных
fprintf(k,'%s\n','1'); %коэффициент разницы времени
fclose(k).

```

Результаты открытия полученных файлов данных в программе FastView 4.3 представлены на рис. 2.

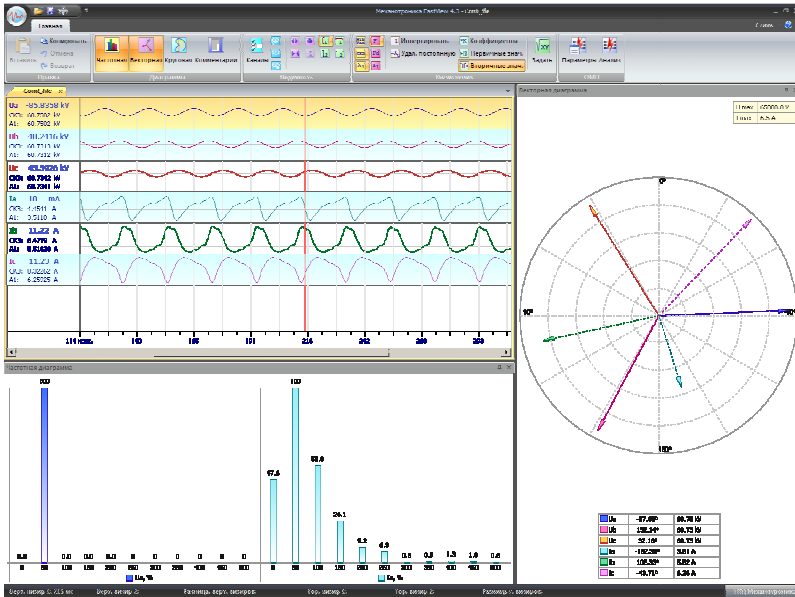


Рис. 2. Представление результатов моделирования в Fast View 4.3

Программный пакет для анализа данных аварийных осциллограмм FastView 4.3 предназначен для отображения осциллограмм, расчета и анализа сигналов на частотной, что особенно важно, векторной и круговой диаграмме [2], имеются функции для объединения данных нескольких осциллограмм. FastView имеет удобный и понятный интерфейс, имеет возможность математической обработки данных с целью получения дополнительных данных либо анализа имеющихся.

Использование предлагаемого способа сохранения данных и анализа результатов моделирования электрических параметров хорошо работает также и с дискретными величинами и неэлектрическими параметрами, например, данными тепловых и механических процессов.

### Библиографический список

1. Дорохин Е.Г. Анализ аварийных осциллограмм. Проблемы программного обеспечения // Релейная защита и автоматизация. – 2012. – № 2.

2. Векторные диаграммы в релейной защите и автоматике. – М.: НТФ «Энергопрогресс», 2008. 80 с.; ил. [Библиотечка электротехника, приложение к журналу «Энергетик»; Вып. 12(120)].

#### **Сведения об авторах**

**Кухарчук Александр Васильевич** – старший преподаватель кафедры «Микропроцессорные средства автоматизации» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: kuharchuk@msa.pstu.ac.ru

**Живых Арсений Анатольевич** – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: ars14011998ars@yandex.ru

#### **About the authors**

**Kukharchuk Alexandr Vasilevich** – Senior Lecturer of Microprocessor devices of automatization departament Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: kuharchuk@msa.pstu.ac.ru

**Zhiviyh Arseniy Anatolevich** – Student Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: ars14011998ars@yandex.ru

## ИНТЕГРАЦИЯ ЛОКАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ В АСУ ТП И АСУП

**А.Ш. Зиануров<sup>1</sup>, И.А. Вялых<sup>1</sup>, А.О. Степанов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

<sup>2</sup>ООО «Инфраструктура ТК», Пермь

В работе рассмотрен пример интеграции ЛСУ насосных станций природоохранного комплекса реки Пыж, расположенных за территорией НПЗ, в АСУ ТП и АСУП завода. Интеграция ЛСУ насосных станций в АСУ ТП завода предусматривает вывод значений технологических параметров, а также передачу сигналов управления динамическим оборудованием в центральный пункт управления – единую операторную. Интеграция ЛСУ насосных станций в АСУП предусматривает передачу собранной технологической информации в базу данных реального времени завода посредством PI-System, относящейся к уровню MES предприятия.

**Ключевые слова:** ЛСУ, АСУ ТП, PI-System, ЦПУ.

## INTEGRATION OF LOCAL CONTROL SYSTEMS IN PCS AND ACS

**A.Sh. Zianurov<sup>1</sup>, I.A. Vyalykh<sup>1</sup>, A.O. Stepanov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Perm National Research Polytechnic University, Perm

<sup>2</sup>LLC «Infrastruktura TK», Perm

We consider the integration of the Local Control Systems of the pumping stations in the Pyzh river environmental protection complex located outside the territory of oil refinery into PCS and ACS of the plant. The integration of Local Control Systems of the pumping stations into the the PCS of the oil refinery provides the central control room («joint operator») with the values of the technological process parameters and allows for the transmission of the control commands to the dynamic equipment. The integration of Local Control Systems of the pumping stations into the ACS of the oil refinery allows for the real-time transmission of the collected technological process data to the oil refinery database by means of the PI-System related to the MES level of the oil refinery.

**Keywords:** LCS, PCS, PI-system, MES, central control room.

При интеграции различных АСУ ТП крупных нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий в рамках идеологии создания единой операторной возникают проблемы пространственной удаленности объектов управления и иерархической интеграции элементов автоматизированных систем.

В состав нефтеперерабатывающего завода входят насосные станции, располагающиеся за пределами его территории и предназначенные для охраны окружающей среды реки Пыж. С помощью дренажных труб насосные станции улавливают верховые воды с нефтяными загрязнениями, вызванными процессами переработки нефти и нефтепродуктов. Затем загрязненные воды перекачиваются насосами в резервуарный парк. В резервуарах происходит разделение по плотности воды и нефтепродукта, после чего нефтепродукт отправляется на переработку, а вода – на дальнейшую очистку.

В данной статье рассмотрена интеграция ЛСУ 6 насосных станций и резервуарного парка. Для реализации функций контроля и управления технологическими процессами каждого из этих объектов с любого АРМ оператора локальные системы управления объединены в единую сеть. С целью создания единой среды мониторинга и управления ЛСУ резервуарного парка и насосных станций интегрированы в АСУ ТП и АСУП НПЗ. На рис. 1 представлена иерархическая структура компонентов РСУ. Расстояние между контроллерными более 100 м, поэтому коммутация ЛСУ реализована с использованием волоконно-оптической линии связи по протоколу Ethernet.

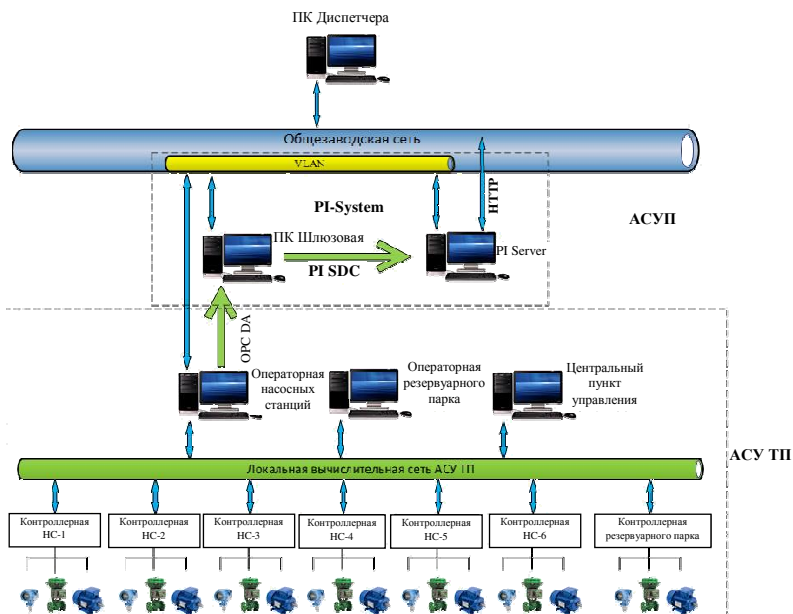


Рис. 1. Иерархическая структура компонентов РСУ

На рис. 2 представлен фрагмент физической реализации сетевой архитектуры.

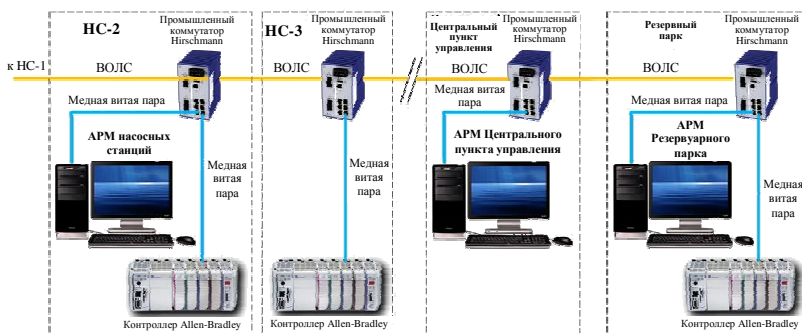


Рис. 2. Фрагмент физической реализация сетевой архитектуры

Для соединения сетей используется коммутатор Hirschmann, который имеет возможность подключения как медного, так и оптического кабеля. Благодаря этому не придётся использовать дополнительно медиаконвертеры, что в экономическом плане окажется выгодным. АРМ насосных станций находится как в локальной вычислительной сети АСУ ТП, так и в защищенном сегменте общезаводской сети [1].

Шлюзовая ПК является шлюзом между двумя сетями и получает данные по протоколу OPC DA от ЛСУ на базе программного обеспечения фирмы Rockwell Automation через OPC-сервер RSLinx Enterprise®, конвертирует в формат PI SDK посредством установленного интерфейса передачи данных и отправляет на сервер PI system (PI Server) [2].

Все пользователи общезаводской сети могут просматривать текущую и историческую информацию о работе как насосных станций, так и резервуарного парка по протоколу HTTP [3].

Такая реализация позволяет технологическому персоналу контролировать процессы, происходящие на насосных станциях и в резервуарном парке, в режиме реального времени на любом АРМ и в случае необходимости вносить корректировки в работу оборудования. Так как насосные располагаются в удаленности от площадки предприятия, то на 2-й насосной по-прежнему сохранилось помеще-



ние операторной для своевременного устранения неисправностей и управления насосными станциями по месту.

Такой подход позволяет интегрировать различные АСУ ТП в единую систему, организовать безопасный сбор данных в БДРВ и обеспечивать контроль состояния технологического оборудования и технологического режима как крупных производственных установок, так и вспомогательных систем.

### **Библиографический список**

1. Власов С.А., Вялых И.А. Интеграция информационных систем химико-технологических процессов // Химия. Экология. Урбанистика: материалы всерос. науч.-практ. конф. молод. учёных, аспирантов, студентов и школьников (с междунар. участ.); г. Пермь, 19–20 апреля 2018 г. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2018. – С. 665–668.

2. Концептуальные основы информационной интеграции АСУ ТП нефтеперерабатывающего предприятия / А.Ф. Гершберг, А.А. Мусаев, А.А. Нозик, Ю.М. Шерстюк. – СПб.: Альянс-строй, 2003. – 128 с.

3. OSISoft. Операционная аналитика. PI SYSTEM [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.osisoft.ru/pi-system/> (дата обращения: 10.12.2018).

4. Шехтман М.Б. Модульная интегрированная SCADA «КРУГ-2000» – новые решения // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2004. – № 2.

5. Уланов Г.М., Алиев Р.А., Кривошеев В.П. Методы разработки интегрированных АСУ промышленными предприятиями. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 320 с.

6. Промышленная автоматизация ИНДАСОФТ. PI SYSTEM [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.indusoft.com.ua/products/osisoft/PI\\_SYSTEM/article/109/](https://www.indusoft.com.ua/products/osisoft/PI_SYSTEM/article/109/) (дата обращения: 10.12.2018).

7. ComNews Conferences. PI SYSTEM как единая информационная платформа нефтеперерабатывающего завода [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.comnews.ru/content/111710/2018-02-07/pi-system-kak-edinaya-informacionnaya-platforma-neftepererabatyvayushchego-zavoda-andrey-belyakov-vedushchiy-specialist-sluzhby-it-po> (дата обращения: 10.12.2018).

### Сведения об авторах

**Зиануров Алмаз Шамильевич** – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: al.zia96@yandex.ru

**Вялых Илья Анатольевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудование и автоматизация химических производств» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: atp@pstu.ru

**Степанов Алексей Олегович** – ведущий инженер по АСУ ТП ООО «Инфраструктура ТК», Пермь, e-mail: aleksey.stepanov@infratk.com

### About the authors

**Zianurov Almaz Shamilevich** – Master Student Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: al.zia96@yandex.ru

**Vyalykh Ilya Anatolevich** – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor of the Equipment and automation of chemical production Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: atp@pstu.ru

**Stepanov Alexey Olegovich** – Lead Engineer of PCS LLC «Infrastuktura ТК», Perm, e-mail: aleksey.stepanov@infratk.com

## **ИПИ-ТЕХНОЛОГИИ В ПЛАНИРОВАНИИ И АВТОМАТИЗАЦИИ КОНТРОЛЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ АВИАЦИОННЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ**

**О.Н. Ильин, А.П. Ильина, Н.З. Султанов, А.И. Сергеев**  
Оренбургский государственный университет, Оренбург

В данной статье рассмотрены аспекты применения ИПИ-технологий для планирования и автоматизации контроля герметичности авиационных изделий на предприятиях. В статье установлено, что успешная организация планирования и управления предприятием с помощью ИПИ-технологий позволит улучшить технологические процессы контроля герметичности авиационных изделий.

**Ключевые слова:** планирование, автоматизация, контроль, герметичность, авиационные изделия.

## **CALS-TECHNOLOGY IN THE PLANNING AND AUTOMATION OF THE CONTROL OF THE AVIATION PRODUCTS TIGHTNESS AT THE ENTERPRISES**

**O.N. Ilin, A.P. Ilina, N.Z. Sultanov, A.I. Sergeev**  
Orenburg State University, Orenburg

In this article the aspects of application of CALS-technologies for planning and automation of control of tightness of aviation products at the enterprises are considered. In the article it is established that the successful organization of planning and management of the enterprise with the help of CALS- technologies will improve the technological processes of tightness control of aviation products.

**Keywords:** planning, automation, control, tightness, aviation products.

Применение ИПИ-технологий позволяет повысить эффективность контроля герметичности авиационных изделий [1]. Структурная схема ИПИ-технологий представлена на рисунке. Эффективность будет выражаться:

- во-первых, повысится качество метода контроля герметичности за счет более полного учета имеющейся информации при проектировании схемы контроля и принятии управленческих решений [2];
- во-вторых, сократятся временные и материальные затраты на проектирование и подготовку процесса контроля герметичности авиационных изделий [3];

– в-третьих, существенно уменьшаются затраты на эксплуатацию оборудования благодаря реализации функций интегрированной логистической поддержки. Значимо облегчается решение проблем ремонтпригодности, адаптации к меняющимся условиям эксплуатации, интеграции продукции в различного рода системы и среды и т.д.

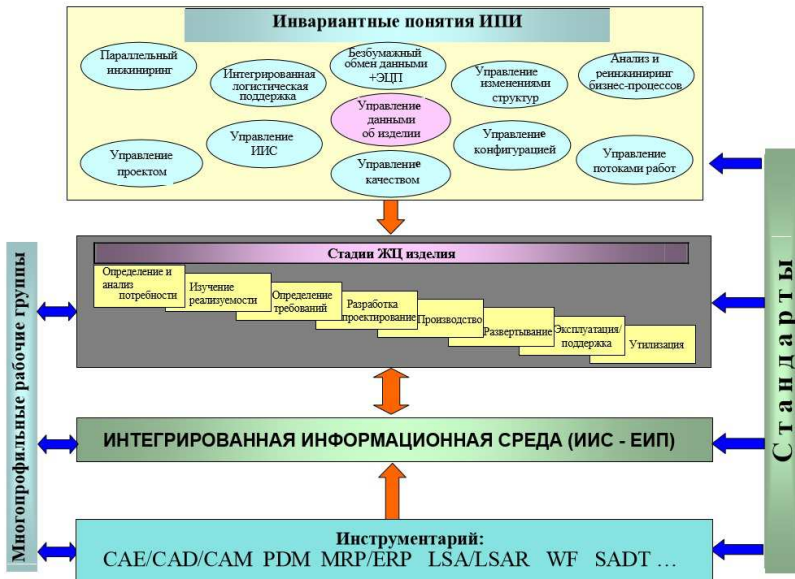


Рис. Структурная схема ИПИ-технологий

Разработанный метод контроля герметичности авиационных изделий [4] будет иметь большую эффективность с применением ИПИ-технологий. Для реализации этого необходимо весь процесс контроля герметичности авиационных изделий разбить на основные этапы жизненного цикла изделия.

На этапе проектирования выполняются проектные процедуры – формирование принципиального решения, разработка чертежей, схем, расчеты, моделирование процессов, оптимизация т.п. Данный этап включает все необходимые стадии, начиная с внешнего проектирования и заканчивая испытаниями.

На этапе подготовки производства разрабатываются операционная и маршрутная карта процесса контроля, технология установки и монтажа оборудования для контроля герметичности.

На этапе производства выполняются: оперативное и календарное планирование; закупка комплектующих с их входным контролем; контроль результатов; сборка; испытания и итоговый контроль.

Автоматизация проектирования осуществляется системами автоматизированного проектирования (САПР) [5]. В САПР машиностроительных отраслей промышленности принято выделять системы конструкторского и функционального, технологического проектирования. Первые из них называют системами расчетов и инженерного анализа, или системами CAE (Computer Aided Engineering).

Системы конструкторского проектирования принято называть системами CAD (Computer Aided Design). Проектирование технологических процессов выполняется в автоматизированных системах технологической подготовки производства (АСТПП), входящих как составная часть в системы CAM (Computer Aided Manufacturing).

Для решения задач совместного функционирования компонентов систем автоматизированного проектирования различного назначения, координации работы систем CAE/CAD/CAM, управления проектными данными и проектированием разрабатываются системы, получившие название систем управления проектными данными PDM (Product Data Management). Системы PDM либо входят в состав модулей конкретной САПР, либо имеют самостоятельное значение и могут работать совместно с разными САПР.

Для грамотного и результативного планирования применяется автоматизированная система оперативно-календарного планирования и диспетчеризации производства СПРУТ-ОКП, которая способна эффективно управлять предприятием на основе выполнения краткосрочного и долгосрочного планирования с целью уменьшения затрат и оптимизации работы всей цепочки производства [6, 7].

### **Библиографический список**

1. Ильин О.Н., Султанов Н.З. CALS технологии при автоматизации контроля герметичности гидравлической системы вертолета // Школа-семинар молодых ученых и специалистов в области компьютерной интеграции производства. – 2016. – С. 208–210.

2. Ильина А.П., Ильин О.Н., Султанов Н.З. Концепция CALS-технологий в автоматизации подготовки производства к контролю герметичности авиационных и ракетно-космических изделий // Техноконгресс: сб. ст. 26-й Междунар. науч. конф. // Точная наука: естественно-научный журнал. – Кемерово, 2018. – С. 15–19.

3. Ильин О.Н., Жежера Н.И. Экономическая эффективность CALS-технологий в маркетинге продукции авиационно-космического машиностроения // Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологий. – 2013. – С. 516–521.

4. Способ испытания изделий на герметичность: пат. №2639619 Рос. Федерация / Н.И. Жежера, О.Н. Ильин, В.С. Макаренко, Н.Н. Тюков. МПК G01M 3/06 (2006.01). №2016122155; заявл. 03.06.2016; опубл. 21.12.2017. Бюл. №36. – Б.ц.

5 Ильин О.Н. Краткий обзор рынка систем автоматизированного проектирования, используемых в производстве авиационной и ракетной техники // Школа-семинар молодых ученых и специалистов в области компьютерной интеграции производства. – 2015. – С. 43–48.

6. Ильин О.Н., Ильина А.П., Сергеев А.И. К вопросу о планировании материалов на машиностроительном предприятии // Проблемы и перспективы трансфера высоких технологий: материалы междунар. науч.-практ. конф. / Агентство международных исследований. – Стерлитамак, 2018. – С. 37–39.

7. Ильина А.П., Ильин О.Н., Сергеев А.И. Планирование и диспетчеризация современного машиностроительного предприятия на базе CALS-технологий // Вестник современных исследований. – 2018. – № 6–1. – С. 127–130.

### **Сведения об авторах**

**Ильин Олег Николаевич** – аспирант Оренбургского государственного университета, Оренбург, e-mail: [ilyin.oleg.n@yandex.ru](mailto:ilyin.oleg.n@yandex.ru)

**Ильина Анна Павловна** – магистрант Оренбургского государственного университета, Оренбург, e-mail: [ilyin.oleg.n@yandex.ru](mailto:ilyin.oleg.n@yandex.ru)

**Султанов Наиль Закиевич** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Системы автоматизации производства»,

Оренбургского государственного университета, Оренбург, e-mail: sultanov@mail.osu.ru

**Сергеев Александр Иванович** – доктор технических наук, доцент кафедры «Системы автоматизации производства» Оренбургского государственного университета, Оренбург, e-mail: alexander\_sergeew@mail.ru

#### **About the authors**

**Ilin Oleg Nikolaevich** – Graduate Student Orenburg State University, Orenburg, e-mail: ilyin.oleg.n@yandex.ru

**Ilina Anna Pavlovna** – Master Student Orenburg State University, Orenburg, e-mail: ilyin.oleg.n@yandex.ru

**Sultanov Nail Zakievich** – Doctor of Technical Sciences, Professor Head of the department of "Production Automation Systems" Orenburg State University, Orenburg, e-mail: sultanov@mail.osu.ru

**Sergeev Alexander Ivanovich** – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of "Production Automation Systems" Department Orenburg State University, Orenburg, e-mail: alexander\_sergeew@mail.ru

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ДАТЧИКА ТЕМПЕРАТУРЫ, СОЗДАННОГО В СЕРДЦЕВИНЕ ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА

Ю.А. Конин<sup>1</sup>, А.И. Гаранин<sup>1</sup>, Д.И. Нурмухаметов<sup>1</sup>,  
С.Ф. Тюрин<sup>1</sup>, В.А. Щербакова<sup>2</sup>, С.С. Стариков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

<sup>2</sup>Пермский государственный национальный  
исследовательский университет, Пермь

Рассматривается чувствительность рассеивателя волоконно-оптического излучения к изменению температуры. Структура внутри оптического волокна была получена благодаря эффекту плавления сердцевинки. Для изучения зависимости был разработан и собран специальный макет для проверки чувствительности диффузоров к изменениям температуры. В результате была получена зависимость, с помощью которой может быть определена температура с точностью до 1,25 °С.

**Ключевые слова:** датчик, волоконная оптика, эффект плавления, лазер.

## INVESTIGATION THE TEMPERATURE SENSOR SENSITIVITY CREATED IN CORE OF OPTICAL FIBER

Y.A. Konin<sup>1</sup>, A.I. Garanin<sup>1</sup>, D.I. Nurmuhametov<sup>1</sup>, S.F. Turin<sup>1</sup>,  
V.A. Shcherbakova<sup>2</sup>, S.S. Starikov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Perm National Research Polytechnic University, Perm

<sup>2</sup>Perm State National Research University, Perm

This article examines the sensitivity of the fiber-optic radiation scatterer to temperature change. The scattering structure inside the optical fiber was obtained using the catastrophic fuse effect of the optical fiber. A special model was developed and assembled to check the sensitivity of diffusers to temperature changes. As a result, a dependence was obtained, with which it can be with temperature to an accuracy of 1,25 °С.

**Keywords:** sensor, fiber optic, fuse-effect, laser.

**Введение.** Настоящая статья посвящена исследованию возможности использования френелевского рассеяния в сердцевине оптического световода волоконного рассеивателя для создания датчика температуры. В качестве рассеивателя можно использовать оптические неоднородности сердцевинки, образующиеся при fuse-effect. Впервые о раз-



рушении одномодовых световодов на силикатной основе под действием оптического излучения было опубликовано в 1987 г. [1]. Внешне явление выглядит следующим образом: если в одномодовый световод вводится лазерное излучение порядка 1 Вт, то при определенных условиях в области сердцевины световода возникает область яркого свечения (искра), которая движется навстречу лазерному излучению по световоду со скоростью порядка 1 м/с [2]. В сердцевине световода после «пробегания» искры образуются микрополости (или пузыри, или каверны) размерами несколько микрометров [3]. Одним из применений данного эффекта является создание различных оптических датчиков, которые могут работать в опасных или враждебных средах [4, 5]. В настоящей статье была исследована чувствительность волоконно-оптического датчика, созданного при помощи катастрофического разрушения сердцевины волокна, к изменению температуры.

**Исследование чувствительности датчика температуры, созданного в сердцевине оптического волокна.** Для создания датчика температуры к открытому выходному концу волоконного лазера вплотную подвигался металлический отражатель. Возникшее детонационное разрушение приводило к образованию микрополостей в сердцевине волокна. Для проверки чувствительности рассеивателя к изменению температуры был разработан макет, состоящий из лазерного диода накачки, разветвителя, волоконной брэгговской решетки и свободного конца волновода, к которому приваривались различные рассеиватели излучения.

На рис. 1 приведена схема разработанного макета.

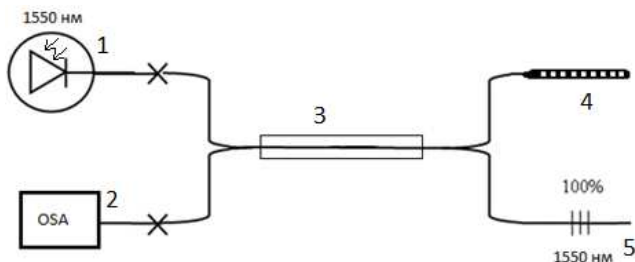


Рис. 1. Схема макета для проверки чувствительности рассеивателей к изменению температуры: 1 – лазерный диод, 2 – анализатор спектра, 3 – волоконный разветвитель, 4 – рассеиватель с датчиком температуры, 5 – решетка Брегга

В ходе эксперимента рассеиватель света помещался в термокамеру, в которой температура каждые 10 мин скачкообразно повышалась на 2,5 град в диапазоне от 30 до 42 °С. Полученная зависимость приведена на рис. 2.

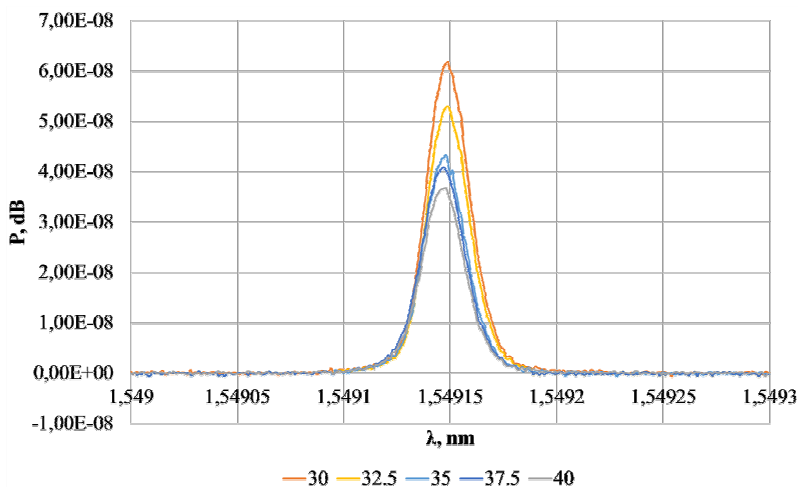


Рис. 2. Зависимость мощности от длины волны для рассеивателя излучения

И как видно из рис. 2, при увеличении температуры спектр обратного отражения оптического сигнала от рассеивателя излучения сдвигается вправо, поэтому мощность отраженного излучения, измеренного анализатором спектра, уменьшается.

Таким образом, по амплитуде мощности излучения обратных отражений можно определить температуру в месте расположения рассеивателя с точностью до 1,25 °С.

**Закключение.** В ходе исследования специального макета для проверки чувствительности рассеивателей к изменению разных температур была выявлена зависимость амплитуды мощности обратного излучения от температуры. Это доказывает, что разработанный и изготовленный рассеиватель может применяться как датчик температуры. Планируется продолжение экспериментов на других температурах в интервале 30–42 °С, что позволит увеличить точность измерений температуры.

### Библиографический список

1. Bufetov I.A., Dianov E.M. Optical discharge in optical fibers // UFN 175 100. – М., 2005. – № 1. – P. 100–103.
2. Kashyap R. Self-propelled self-focusing damage in optical fibers // USA Conf. Lasers'87. – 1987. – P. 859–866.
3. Hand D.P., Russell P.S.J. Solitary thermal shock waves and optical damage in optical fibers: the fiber fuse // Opt. Lett. – 1988. – № 13(9). – P. 767–769.
4. Hydrostatic pressure sensor based on micro-cavities developed by the catastrophic fuse effect / M.F. Dominguesa, T. Paixão, E. Mesquitac, N. Alberto, P. Antunesa, H. Varum, P.S. André // Portugal. Proc. of SPIE – 2015. – Vol. 9634. – P. 193–197.
5. Enhanced sensitivity high temperature optical fiber FPI sensor created with the catastrophic fuse effect / M.F. Dominguesa, T. Paixão, E. Mesquitac, N. Alberto, P. Antunesa, H. Varum, P.S. André // Portugal. Proc. Of SPIE – 2015. – Vol. 9634. – P. 972–974.

### Сведения об авторах

**Конин Юрий Александрович** – аспирант Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: yuri-konin@yandex.ru

**Гаранин Андрей Иванович** – аспирант Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: kigaranin@yandex.ru

**Нурмухаметов Даниль Ильдарович** – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: danur95@yandex.ru

**Тюрин Сергей Феофентович** – доктор технических наук, профессор Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: tyurinsergfeo@yandex.ru

**Щербакова Виктория Александровна** – магистрант Пермского государственного национального исследовательского университета, Пермь, e-mail: scherbackova.vict@mail.ru

**Стариков Сергей Сергеевич** – магистрант Пермского государственного национального исследовательского университета, Пермь, e-mail: seregastar46@bk.ru

#### **About the authors**

**Konin Yuri Alexandrovich** – Graduate Student Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: yuri-konin@yandex.ru

**Garanin Andrew Ivanovich** – Graduate Student Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: kigaranin@yandex.ru

**Nurmuhametov Danil' Ildarovich** – Master Student Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: danur95@yandex.ru

**Turin Sergey Pheofentovich** – Doctor of Technical Sciences, Professor National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: tyurinsergfeo@yandex.ru

**Shcherbakova Viktoria Aleksandrovna** – Master Student Perm State National Research University, Perm, e-mail: scherbackova.vict@mail.ru

**Starikov Sergey Sergeevich** – Master Student Perm State National Research University, Perm, e-mail: seregastar46@bk.ru

## **УПРАВЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫМ ПОЛЕМ НЕФТЯНОЙ СКВАЖИНЫ, ОБОРУДОВАННОЙ ГРЕЮЩИМ КАБЕЛЕМ, ПРИ ПЕРИОДИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ НАГРЕВА**

**Н.А. Костарев, Н.М. Труфанова**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

В данной статье предложена и реализована математическая модель процессов теплопереноса в нефтяной скважине с греющим кабелем. Задача решена методом конечных объемов в среде конечно-элементного анализа ANSYS Fluent. Было получено распределение температуры во всем пространстве скважины и непосредственно на стенке насосно-компрессорной трубы. Рассмотрен более эффективный периодический режим прогрева. Даны рекомендации по выбору параметров мощности и времени прогрева скважины.

**Ключевые слова:** депарафинизация, АСПО, греющий кабель, периодический нагрев, теплоперенос, нефтяная скважина.

## **CONTROL OF THE TEMPERATURE FIELD OF AN OIL WELL EQUIPPED WITH A HEATING CABLE WITH PERIODIC HEATING MODE**

**N.A. Kostarev, N.M. Trufanova**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

In this article, a mathematical model of heat and mass transfer processes in an oil well with a heating cable is proposed and implemented. The problem was solved by the finite volume method in the ANSYS Fluent finite element analysis environment. The temperature distribution was obtained in the whole space of the well and directly on the wall of the tubing and compressor pipe. A more efficient periodic heating mode was considered. Recommendations on the choice of parameters of power and time of well heating are given.

**Keywords:** dewaxing, ARPD, heating cable, periodic heating, heat and mass transfer, oil well.

**Введение.** В настоящее время при эксплуатации нефтяных скважин возникает проблема образования асфальтосмолопарафиновых отложений на внутренних поверхностях стенок труб при движении нефтяной жидкости. Парафиновые отложения значительно снижают эффективность работы скважины вплоть до ее полного выхода из

строю, а также увеличивают износ оборудования [1]. Одним из способов борьбы с асфальтосмолопарафиновыми отложениями является прогрев участка скважины, подверженного отложению парафина, греющим кабелем [2]. Практический интерес имеет разработка наиболее эффективного и экономичного режима работы греющего кабеля, при котором происходит функционирование скважины, не осложненное парафиновыми отложениями.

**Постановка задачи.** Рассматривается участок нефтяной скважины, оборудованной УЭЦН, длиной 1200 м. Внутри скважины помещен греющий кабель длиной 1000 м. Затрубное пространство полностью заполнено нефтяной жидкостью. (динамический уровень равен нулю). Продольное сечение рассматриваемой скважины представлено на рис. 1.

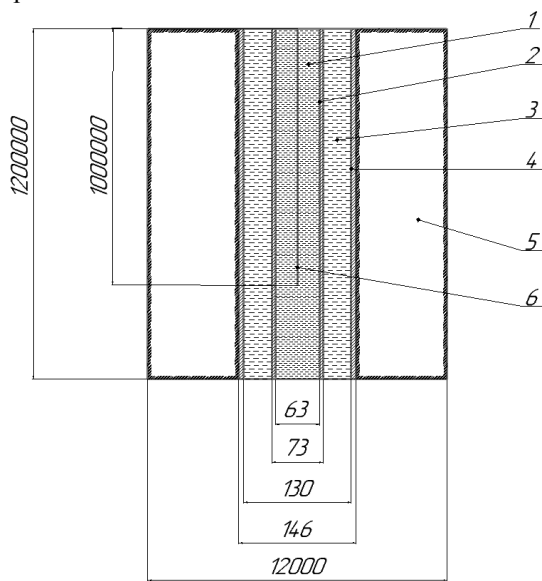


Рис. 1. Продольное сечение нефтяной скважины: 1 – добываемая нефтяная жидкость; 2 – насосно-компрессорная труба; 3 – нефтяная жидкость, в затрубном пространстве; 4 – обсадная колонна; 5 – грунт, окружающий скважину; 6 – греющий кабель

Математическая модель движения и теплопереноса в нефтяной скважине основывается на законах сохранения массы, количества движения и энергии.

Были сделаны следующие допущения: задача осесимметричная, нестационарная, течение ламинарное, теплофизические свойства твердых материалов не зависят от температуры, бесконечный массив земли заменен ограниченной областью.

Система дифференциальных уравнений была получена ранее и представлена в работе [3].

Система дифференциальных уравнений замыкается следующими граничными условиями: на входе в насосную трубу задавались эпюра скоростей для нефти, соответствующая дебиту скважины, равному 10 т/сут, и температура нефти, равная 37 °С; температура горных пород на глубине 1200 м была задана равной 36 °С; на устье скважины задаются режим установившегося течения и условие конвективного теплообмена, на поверхности, ограничивающей массив земли, задается распределение температуры, соответствующее геотерме с геотермическим градиентом, равным 0,2 °С/10 м. На границе раздела разнородных сред задавалось условие идеального теплового контакта, для скоростей в центре полых штанг и НКТ – условие максимума скорости, а на стенках – условия прилипания и непроницаемости. На токопроводящих жилах греющего кабеля задается тепловой поток, равный джоулевым потерям при протекании электрического тока по проводнику.

В данной работе кабель располагается в центре НКТ от устья скважины до начала участка возможного отложения парафина, равного 800 м. Температура кристаллизации парафина принята равной 40 °С.

**Результаты исследования.** Задача решалась численно, методом конечных элементов. Для расчетов использовалась среда конечно-элементного анализа ANSYS Fluent.

Для эффективного удаления и предотвращения АСПО в скважине необходимо поддерживать температуру нефтяной жидкости выше температуры кристаллизации парафинов. Прогрев скважины греющим кабелем может осуществляться в постоянном и в периодическом режимах подачи тепловой мощности. При постоянном режиме кабель включен все время и непрерывно нагревает скважину. Данный способ является менее экономичным, чем периодический режим прогрева [4].

С целью определения необходимой мощности нагрева скважины греющим кабелем была решена стационарная задача тепломассопереноса в нефтяной скважине. Из представленных на рис. 2 кривых видно, что добиться значения температуры выше температуры кристаллизации парафина можно лишь при нагреве с удельной

мощностью 30 и 40 Вт/м (кривые 4 и 5). Прогрева скважины греющим кабелем с удельной мощностью 20 Вт/м (кривая 3) недостаточно. При таком режиме температура на НКТ опускается ниже 40 °С на участках 0–200 и 800–1000 м.

Для оценки времени работы греющего кабеля при удельной мощности нагрева 30 и 40 Вт/м были получены кривые распределения температуры на токопроводящей жиле и оболочке кабеля, представленные на рис. 3.

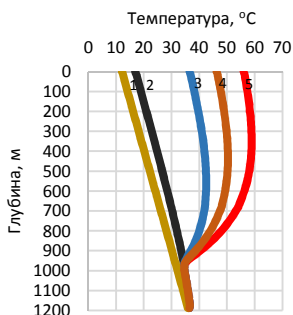


Рис. 2. Распределение температуры на стенке НКТ по глубине при разной мощности нагрева: 1 – геотерма; 2 – без нагрева; 3 – 20 Вт/м; 4 – 30 Вт/м; 5 – 40 Вт/м

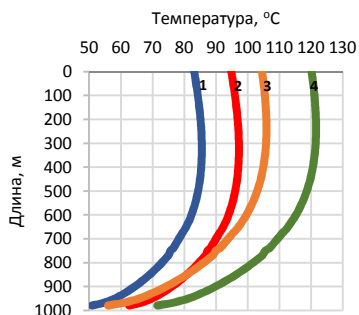


Рис. 3. Распределение температуры на поверхности ТПЖ и оболочки кабеля по длине при удельной мощности нагрева, равной 30 Вт/м: 1 – оболочка; 2 – ТПЖ; 40 Вт/м: 3 – оболочка; 4 – ТПЖ

Из рис. 3 видно, что температура токопроводящей жилы кабеля при удельной мощности нагрева, равной 40 Вт/м, превышает 120 °С, а для 30 Вт/м значение находится ниже 100 °С. Длительно допустимая температура нагрева ТПЖ составляет 150 °С. Это позволяет сделать вывод о том, что кабель можно эксплуатировать при рассматриваемых удельных мощностях нагрева.

Для предварительной оценки интенсивности и времени прогрева скважины греющим кабелем были получены зависимости температуры на устье от времени нагрева. Из рис. 4 видно, что температура на устье скважины начинает превышать температуру кристаллизации парафина через 168 ч после включения греющего кабеля.

Наиболее интенсивно скважина прогревается в первые 12 ч после момента включения, затем скорость нагрева снижается. Например, в период времени от 168 до 648 ч температура на устье поднимается



всего на 2 град. В момент времени, равному 648 ч, кабель был отключен. Из рисунка видно, что уже через 1 ч температура на устье опускается ниже температуры кристаллизации парафина, а спустя 10 ч, после отключения кабеля температура снижается примерно на 19 град.

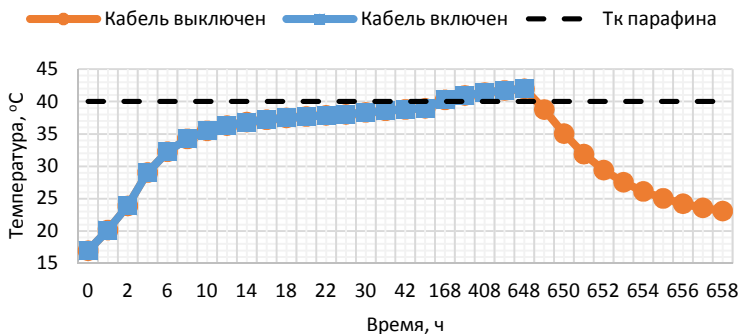


Рис. 4. Зависимость температуры на стенке НКТ в устье скважины от времени работы кабеля при удельной мощности нагрева, равной 30 Вт/м

Основным недостатком такого метода борьбы с АСПО, как греющий кабель, является высокое энергопотребление. Снизить затраты на электроэнергию позволяет использование греющего кабеля в периодическом режиме нагрева. В представленной работе была решена задача по определению возможного периодического режима работы греющего кабеля. Результаты представлены на рис. 5.

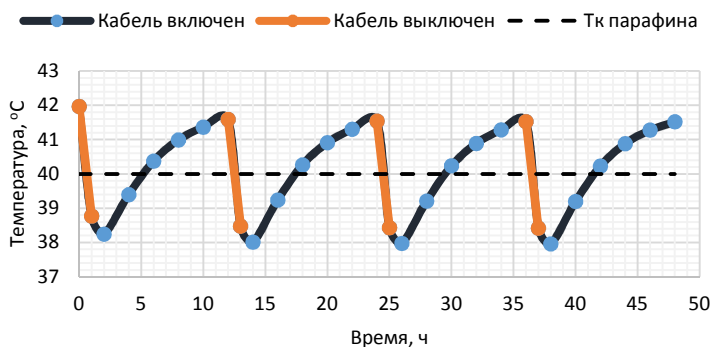


Рис. 5. Зависимость температуры на стенке НКТ в устье скважины от времени работы кабеля при периодическом нагреве с удельной мощности, равной 30 Вт/м

В качестве начальных условий для определения параметров периодического нагрева было взято распределение температуры для скважины, прогреваемой кабелем в течение 27 дней. Спустя 27 дней работы кабеля он отключается на 1 ч, затем снова включается и работает в течение 11 ч.

Таким образом, кабель работает по 11 ч с перерывом в 1 ч. Из рис. 5 видно, что при таком режиме температура нефтяной жидкости опускается ниже температуры кристаллизации парафина, что приводит к отложению парафина на стенках НКТ. Однако при температуре выше 40 °С успевший отложиться на стенках парафин будет расплавлен и унесен из трубы потоком нефтяной жидкости [5].

Предложенный в работе периодический режим позволяет сэкономить 2 ч времени работы кабеля в сутки по сравнению с постоянным режимом нагрева. Учитывая длину кабеля 1000 м и удельную мощность нагрева, равную 30 Вт/м, экономия энергии в год при периодическом нагреве составит примерно 20 МВт·ч.

**Закключение.** Разработанная модель позволяет получить температурное поле скважины, определить длину участка возможного выпадения АСПО. Это дает возможность принять меры по профилактике образования АСПО на заранее известном участке, что существенно снизит затраты по разработке месторождений.

С помощью разработанной модели можно оценить влияние греющего кабеля на распределение температуры внутри скважины, а также подобрать наиболее эффективные и экономичные режимы нагрева.

### Библиографический список

1. Kovrigin L.A, Kukharchuk I.B. Automatic control system for removal of paraffin deposits in oil well in permafrost region by thermal method // Chem. Eng. Res. and Des. – 2016. – Vol. 115. – Part A. – P. 116.
2. Мусакаев Н.Г. Математическое исследование температурной обстановки в скважине при наличии источника электрообогрева // Известия высших учебных заведений // Нефть и газ. – 2010. – № 6. – С. 43.
3. Kostarev N.A., Trufanova N.M. Simulation and automation of thermal processes in oil well // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – Vol. 327. – 6 p.

4. Костарев Н.А., Труфанова Н.М. Управление тепловыми процессами в нефтяной скважине с помощью греющего кабеля // Электротехника. – 2017. – № 11. – С. 60.

5. Каменщиков Ф.А. Тепловая депарафинизация скважин. – М.; Ижевск: Изд-во НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2005. – 254 с.

#### **Сведения об авторах**

**Костарев Никита Александрович** – аспирант, ассистент кафедры «Конструирование и технологии в электротехнике» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: nikostarev@gmail.com

**Труфанова Наталия Михайловна** – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Конструирование и технологии в электротехнике» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: trufanova@pstu.ru

#### **About the authors**

**Kostarev Nikita Alexandrovich** – Graduate Student, Assistant of the Design and Technology in Electrical Engineering department Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: nikostarev@gmail.com

**Trufanova Natalia Mikhailovna** – Doctor of Technical Sciences, Professor, head of the Design and Technology in Electrical Engineering department Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: trufanova@pstu.ru

## ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ СООТВЕТСТВИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗАДАННОМУ КАЧЕСТВУ СПЛАВА ВАЛКОВЫХ МАРОК СТАЛЕЙ

**С.С. Кочковская**

Орский гуманитарно-технологический институт (филиал)  
Оренбургского государственного университета, Орск

В данной статье рассмотрены технологии использования инфологического моделирования в процессах производственной деятельности. Рассмотрены основные возможности и область применения программного продукта «OptimalSostav». С помощью данного программного пакета получены требуемые значения механических свойств валковых марок сталей. Полученные результаты исследований получили практическое применение на базе производственных мощностей машиностроительного концерна «ОРМЕТО-ЮУМЗ».

**Ключевые слова:** эксперимент, автоматизация, схема управления, факторы, функциональное проектирование.

## ACCURACY ASSESSMENT OF CONFORMITY OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF A GIVEN ALLOY QUALITY ROLLING STEELS

**S.S. Kochkovskaya**

Orsk humanitarian Institute of Technology (branch)  
Orenburg State University, Orsk

This article describes the technology of using infological modeling in the processes of production activities. The main features and scope of the software product «OptimalSostav» are considered. With the help of this software package, the required values of mechanical properties of rolled steel grades are obtained. The results of the research have been practically applied on the basis of the production capacity of machine-building concern «ORMETO-YUMZ».

**Keywords:** experiment, automation, control scheme, factors, functional design.

**Введение.** В настоящее время на машиностроительных предприятиях Восточного Оренбуржья отмечается существенная проблема, касающаяся улучшения качества прокатного инструмента. На предприятиях тяжелого машиностроения для изготовления крупногабаритного тяжело нагруженного инструмента широкое применение находят валковые стали [1].

На основании проведенного анализа работ выделены основные факторы, влияющие на механические свойства валковых марок сталей. Моделирование процессов производственной деятельности является начальным шагом процесса проектирования, эксплуатации и модернизации информационных систем. Применение инфологического моделирования позволяет оценить эффективность подхода на ранних этапах проектирования [2].

**Основная часть.** Практическое применение проектирования функциональных моделей производственных процессов реализовано в основе методологии IDEF0 [3].

Модель в нотации IDEF0 представляет собой совокупность иерархически упорядоченных и взаимосвязанных диаграмм.

При исследовании вопроса определения зависимостей значений механических характеристик от рассматриваемых факторов осуществлены четыре основных этапа. Представленная диаграмма (рис. 1) выполнена по методологии функционального проектирования SADT в виде диаграммы IDEF0.

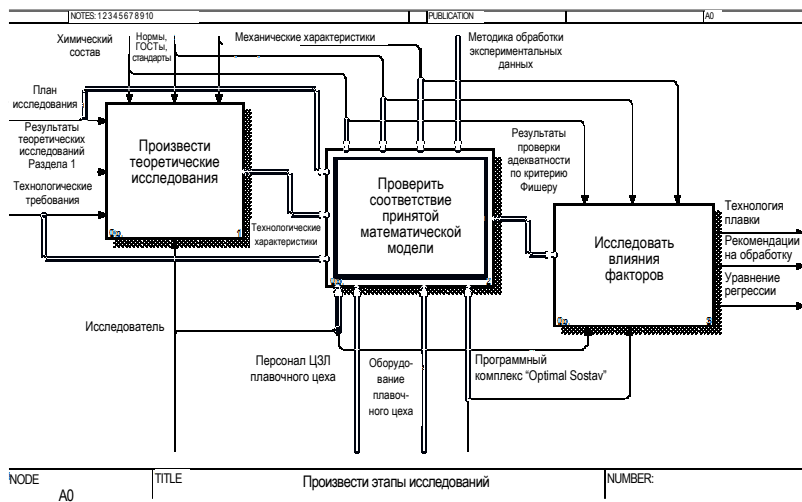


Рис. 1. Этапы исследований

Она отражает основные этапы эксперимента в виде совокупности взаимосвязанных работ, на каждом из этапов выделены входная информация, которая подвергается обработке, управляющая и выходная информация, механизм реализации этапа.

На первом этапе проведены исследования в производственных условиях для выявления значений механических характеристик. На рассматриваемом этапе управляющими воздействиями являются нормы, ГОСТы и стандарты.

С учетом данных проведенных ранее теоретических исследований выбраны одиннадцать экспериментальных баз данных валковых марок сталей [4].

На втором этапе исследования проведён эксперимент в программном комплексе «OptimalSostav». В программе реализованы математические модели, полученные в результате теоретических исследований.

В упрощенной форме представлена зависимость механических свойств от химического состава валковых марок сталей [5]:

$$y = f(z_1, z_2, \dots, z_k), \quad (1)$$

где  $z_1, z_2, z_k$  – верхний и нижний уровни факторов.

На этапе обработки экспериментальных данных осуществлены статистические проверки на воспроизводимость результатов эксперимента, проведенного в производственных условиях, по критерию Стьюдента и адекватность математической модели (рис. 2).

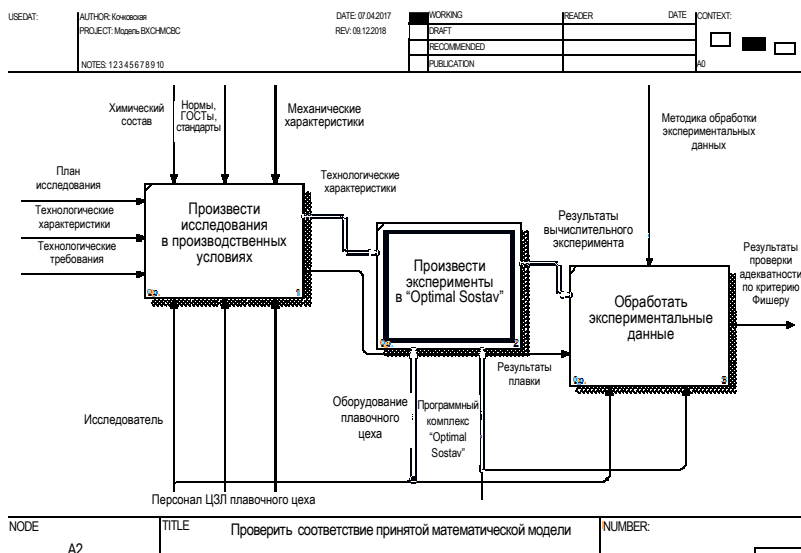


Рис. 2. Проверка соответствия принятой математической модели

Установлено, что дисперсия однородна, результаты эксперимента воспроизводимы. Отклонения экспериментальных данных от рассчитанных при помощи «OptimalSostav» не превышают 5 %, что допустимо и доказывает адекватность математической модели.

На последнем этапе исследования проведена оценка влияния факторов на требуемое качество сплава валковых марок сталей при помощи программных средств «OptimalSostav» и Microsoft Excel.

Для определения величины достоверности аппроксимации графиков зависимостей, которые были получены в пакете «OptimalSostav», воспользуемся возможностью конвертирования данных в формат .xls.

Аппроксимация некоторых полученных зависимостей для валковой марки стали 75ХМФ представлена в таблице.

Результаты исследования влияния факторов  
на механические свойства

| Фактор | Механические свойства | Уравнения  | $R^2$  |
|--------|-----------------------|--|--------|
| Mo     | $R_m$                 | $y = 5205488476,99x^6 - 14975170994,8x^5 + 6031209758,77x^4 - 1271253325,1x^3 + 147903280,88x^2 - 9007155,19x + 225393,45$ | 0,85   |
| C      | $R_c$                 | $y = 458,46x + 152,61$   | 0,9993 |
| Ni     | KCU                   | $y = 317,83x + 122,87$   | 0,9997 |

Полученные уравнения зависимости с достоверной аппроксимацией позволяют определить оптимальный химический состав валковых сталей, обеспечивающий требуемые механические характеристики.

**Заключение.** Таким образом, исследование факторов, влияющих на значение механических свойств валковых марок сталей, выполнено в четыре этапа.

Результаты сравнительного анализа на примере расчета оптимального химического состава валковой марки стали свидетельствуют о вычислительной эффективности программного пакета «OptimalSostav».

### Библиографический список

1. Кочковская С.С., Сердюк А.И. Автоматизация процесса обработки экспериментальных данных по оптимизации химического состава опытных марок валковых сталей на основе дробно-факторного анализа // Автоматизация в промышленности. – 2017. – № 8. – С. 54–56.

2. Похилько А.Ф., Горбачев И.В. CASE-технология моделирования процессов с использованием средств BProWin и ERWin: учеб. пособие. – Ульяновск: Изд-во УлГТУ, 2008. – 120 с.

3. Черноусова А.М. Создание и использование баз данных: учеб. пособие. – Оренбург: Изд-во ОГУ, 2009. – 244 с.

4. Кочковская С.С., Сердюк А.И., Шелихов Е.С. Влияние химического состава на механические свойства валковых сталей: свид-во об офиц. регистр. программы для ЭВМ № 2016611712. – Роспатент, 2016.

5. Кочковская С.С., Сердюк А.И. Расчет оптимальных механических свойств по отношению к процентному содержанию легирующих элементов валковых марок сталей «OptimalSostav»: св-во об офиц. регистрации программы для ЭВМ № 2018613600, Роспатент. – 2018.

### **Сведения об авторах**

**Кочковская Светлана Сергеевна** – старший преподаватель кафедры «Электроэнергетика и теплоэнергетика» Орского гуманитарно-технологического института (филиал) Оренбургского государственного университета, Орск, e-mail: lana1905@mail.ru

### **About the authors**

**Kochkovskaya Svetlana Sergeevna** – Senior Lecturer of the Department «Electric Power and Heat Power» Orsk Humanitarian Institute of Technology (branch) Orenburg State University, Orsk, e-mail: lana1905@mail.ru



## ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ТОКОВОЙ НАГРУЗКИ КАБЕЛЬНОГО КАНАЛА

**И.Б. Кухарчук, Н.М. Труфанова**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

Рассматривается вопрос определения токовой нагрузки в кабельном канале. Получены поля распределения температуры в канале. Определены поправочные коэффициенты для номинального тока для различных вариантов загрузки линий.

**Ключевые слова:** номинальный ток, тепловое поле, кабельный канал.

## FEATURES OF CALCULATION OF CABLE CHANNEL CURRENT LOAD

**I.B. Kukharchuk, N.M. Trufanova**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

In this article the question of determining the current load in the cable channel is considered. The fields of the temperature distribution in the channel are obtained. Correction factors for the nominal current for different line load options are determined.

**Keywords:** rated current, thermal field, cable channel.

Подземные кабельные каналы получили большое распространение в условиях плотной застройки больших городов. При определении токовой нагрузки канала с большим количеством кабельных линий приходится сталкиваться с недостаточной нормативной базой для расчета длительно допустимых токов. Существующие методы определения рабочих токов не позволяют учесть нагрузочный режим каждой линии в отдельности [1]. Математическое моделирование кабельного канала дает возможность исследовать различные условия работы, в том числе и аварийные, и определить рабочие токи для каждого режима [2].

В данной работе рассматривается кабельный канал, расположенный под землей на глубине 0,9 м. На рис. 1 представлена конструкция канала, содержащего 18 кабельных линий в полиэтиленовых трубах. В линиях треугольником расположены кабели АПВВнг-LS с сечением жилы 150 мм<sup>2</sup> на напряжение 6 кВ (линии с 1-го по 12-й) и на напряжение 35 кВ (линии с 13-го по 18-й).

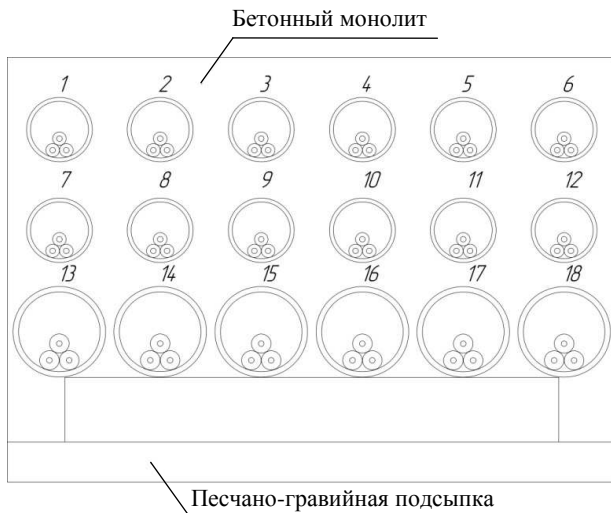


Рис. 1. Схема кабельного канала

Согласно ТУ 16. К180-014-2009 длительно допустимый ток для исследуемых кабелей, проложенных треугольником в трубе, составляет 289,8 А. Данное значение не учитывает сложную конструкцию кабельного канала, состоящего из большого числа линий (рис. 1).

Максимально допустимая температура для изоляции из сшитого полиэтилена составляет 90 °С [3]. Наибольший нагрев изоляции происходит в месте контакта с токопроводящей жилой. В связи с этим для дальнейшего исследования теплового режима работы кабельного канала в качестве контрольных выбираются значения температур на поверхности жил.

Математическая модель тепломассообмена основывается на законах сохранения массы, количества движения и энергии. При расчете процессов тепломассопереноса сделаны следующие допущения: задача стационарная; на границах раздела разнородных сред реализуется условие идеального теплового контакта; режим движения воздуха ламинарный; воздух в трубе удовлетворяет приближению Буссинеска; свойства материалов постоянны. С учетом сделанных допущений система дифференциальных уравнений имеет вид (1–8):

$$U_x \frac{\partial U_y}{\partial x} + U_y \frac{\partial U_y}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial}{\partial x} \mu \frac{\partial U_x}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \mu \frac{\partial U_x}{\partial y} \right), \quad (1)$$

$$U_x \frac{\partial U_y}{\partial x} + U_y \frac{\partial U_y}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \mu \frac{\partial U_y}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \mu \frac{\partial U_y}{\partial y} \right) + g\beta(t - t_0), \quad (2)$$

$$U_x \frac{\partial \rho}{\partial x} + U_y \frac{\partial \rho}{\partial y} = \rho \left( \frac{\partial U_x}{\partial x} + \frac{\partial U_y}{\partial y} \right), \quad (3)$$

$$\rho c \left( U_x \frac{\partial t}{\partial x} + U_y \frac{\partial t}{\partial y} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \lambda \frac{\partial t}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \lambda \frac{\partial t}{\partial y}, \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda_k \frac{\partial}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda_k \frac{\partial}{\partial y} \right) + q_v = 0, \quad (5)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda_i \frac{\partial}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda_i \frac{\partial}{\partial y} \right) = 0, \quad (6)$$

$$\rho(t) = \rho_0 [1 - \beta(t - t_0)], \quad (7)$$

$$q_v = \iint_S \frac{I_1^2}{\sigma_1} dS, \quad (8)$$

где  $x, y$  – декартовы координаты;  $U_x, U_y$  – компоненты вектора скорости воздуха;  $t$  – температура;  $P$  – отклонения давления воздуха от гироскопического;  $g$  – ускорение свободного падения;  $\rho, \mu, \lambda$  – плотность, вязкость и теплопроводность воздуха;  $\rho_0$  – плотность воздуха при температуре  $t_0 = 20^\circ \text{C}$ ;  $q_v$  – мощность внутреннего источника тепла;  $\beta$  – температурный коэффициент плотности воздуха;  $\lambda_k$  – теплопроводность изоляции кабеля;  $\lambda_i$  – теплопроводность материалов;  $I_1$  – номинальный ток токопроводящей жилы кабеля;  $\sigma_1$  – коэффициент удельной электропроводности токопроводящей жилы кабеля;  $S$  – площадь сечения жилы кабеля.

С целью упрощения счетной модели многослойная структура кабеля заменена на эквивалентный слой [4]. Поставленная задача решалась методом конечных объемов в инженерном пакете Fluent.

На рис. 2 представлены температурные поля кабельного канала при максимальной нагрузке всех рабочих линий, кроме центральных, используемых в качестве резервных. Номинальный ток каждой линии определялся из условия равенства температуры поверхности токопроводящих жил  $86^\circ \text{C}$ .

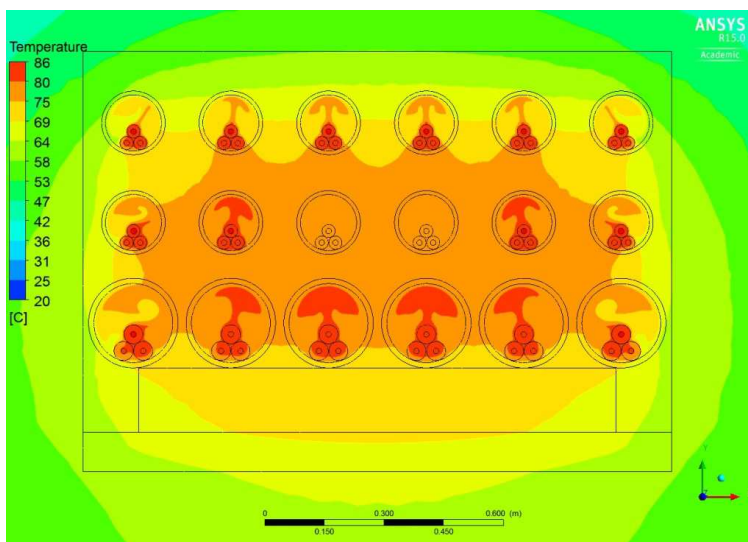


Рис. 2. Температурное поле кабельного канала при максимальной загрузке всех рабочих линий

На рис. 3 представлены поправочные коэффициенты для определения длительно допустимого тока в условиях различных режимов загрузки канала.

|      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0,46 | 0,38 | 0,37 | 0,37 | 0,38 | 0,46 | 0,47 | 0,41 | 0,46 | 0,48 | 0,41 | 0,39 | 0,39 | 0,41 | 0,48 |
| 0,38 | 0,27 |      |      | 0,27 | 0,38 | 0,40 | 0,29 | 0,36 |      |      |      |      |      |      |
| 0,42 | 0,33 | 0,32 | 0,32 | 0,33 | 0,42 | 0,46 | 0,40 | 0,45 | 0,47 | 0,37 | 0,35 | 0,35 | 0,37 | 0,47 |

Рис. 3. Поправочные коэффициенты для расчета номинального тока

В работе исследованы различные нагрузочные режимы работы кабельного канала. Получены температурные поля и поправочные коэффициенты для определения длительно допустимых токов, что позволяет создать оптимальные условия работы канала, а также может использоваться в системах контроля и управления загрузкой кабельных линий.

### Библиографический список

1. Грешняков Г.В., Ковалеров Г.Г., Дубицкий С.Д. К вопросу о выборе предельно допустимых токов силовых кабелей // Кабели и провода. – 2011. – № 6. – С. 12–16.

2. Kukharchuk I.B., Kazakov A.V., Trufanova N.M. Investigation of heating of 150 kV underground cable line for various conditions of laying // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – Vol. 327. – URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/327/2/022041/pdf>

3. Халитов В. Кабели со СПЭ-изоляции. Расчет блочной канализации // Новости электротехники. – 2017. – № 5(107)–6(108). – С. 72–78.

4. Навалихина Е.Ю., Труфанова Н.М. Управление токовой нагрузкой линии в кабельном канале с учетом сложного теплообмена // Известия Самар. науч. центра Рос. акад. наук. – 2012. – Т. 14. – № 4(5). – С. 1318–1321.

### Сведения об авторах

**Кухарчук Ирина Борисовна** – аспирантка, старший преподаватель кафедры «Конструирование и технологии в электротехнике» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: [kuharchuk\\_ib@mail.ru](mailto:kuharchuk_ib@mail.ru)

**Труфанова Наталия Михайловна** – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Конструирование и технологии в электротехнике» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: [ktei@pstu.ru](mailto:ktei@pstu.ru)

### About the authors

**Kukharchuk Irina Borisovna** – Graduate Student of the Department of designing and technology in electrical equipment Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: [kuharchuk\\_ib@mail.ru](mailto:kuharchuk_ib@mail.ru)

**Trufanova Nataliya Mikhailovna** – Doctor of Technical Science, Professor, head of the Department of designing and technology in electrical equipment Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: [ktei@pstu.ru](mailto:ktei@pstu.ru)

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ГРАДУИРОВКИ ГАЗОАНАЛИЗАТОРОВ

**С.А. Власов, М.С. Орехов**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

В статье рассмотрены аспекты применения методов математического моделирования при разработке автоматизированной лабораторной исследовательской установки по градуировке и поверке газоанализаторов. Создается математическая модель в специализированном математическом пакете Unisim Design.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, газоанализатор, калибровка.

## MATHEMATICAL MODELING IN THE DEVELOPMENT OF A LABORATORY UNIT FOR GRADUATION OF GAS ANALYZERS

**S.A. Vlasov, M.S. Orekhov**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

This article discusses aspects of the application of mathematical modeling methods in the development of an automated laboratory research facility for calibrating and calibrating gas analyzers. A mathematical model using a specialized mathematical package Unisim Design is created.

**Keywords:** math modeling, gas detector, calibration.

В работе [1] рассмотрен метод-экспресс градуировки газоанализаторов-сигнализаторов, заключающийся в формировании на входе газоанализатора концентрации газовой смеси в известной зависимости от времени при помощи проточного смесителя, соответствующего аппарату «идеального смешения», и последующей обработке полученной информации. Метод может быть применен как для одновременной градуировки нескольких газоанализаторов, так и для градуировки многоканальных газоанализаторов.

Для исследований на примере газоанализатора «Гамма-100» с распределенной системой управления (PCY) DeltaV разработана экспериментальная установка, схема которой представлена на рис. 1.

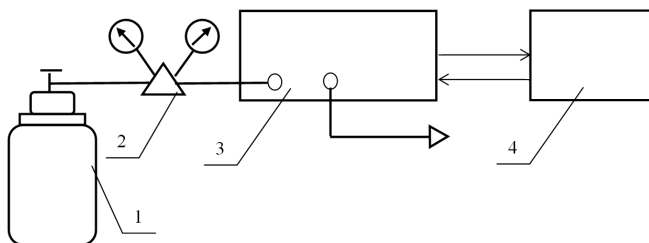


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – баллон с газовой смесью; 2 – редуктор; 3 – газоанализатор «Гамма-100»; 4 – РСУ Delta V

В [2] получены результаты моделирования такой установки, учитывающие лишь общие закономерности процессов, происходящих в лабораторной установке, подтвердившие правильность выбранных решений. Последующие исследования потребовали расширения функционала установки, а именно проведения поверки, калибровки, корректировки показаний газоанализаторов. С этой целью разработана схема, представленная на рис. 2.

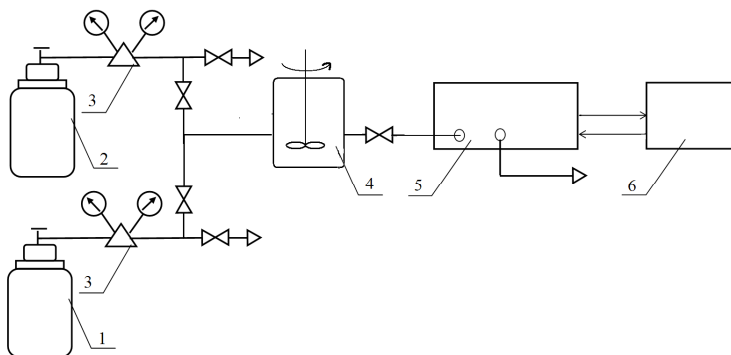


Рис. 2. Схема экспериментальной установки: 1 – баллон с газовой смесью № 1; 2 – баллон с газовой смесью № 2; 3 – редуктор; 4 – смеситель; 5 – газоанализатор «Гамма-100»; 6 – РСУ Delta V

Усовершенствованная установка требует существенных материальных ресурсов на создание. Для проверки работоспособности лабораторной установки предлагается создать математическую модель.

На основании схемы (см. рис. 2) построена модель в программном пакете Unisim Design. Такая математическая модель имитирует и повторяет реальные процессы, проходящие в лабораторной

установке, детально описываемые дифференциальными уравнениями теплового и материального баланса, уравнениями гидродинамики и химической кинетики (рис.3).

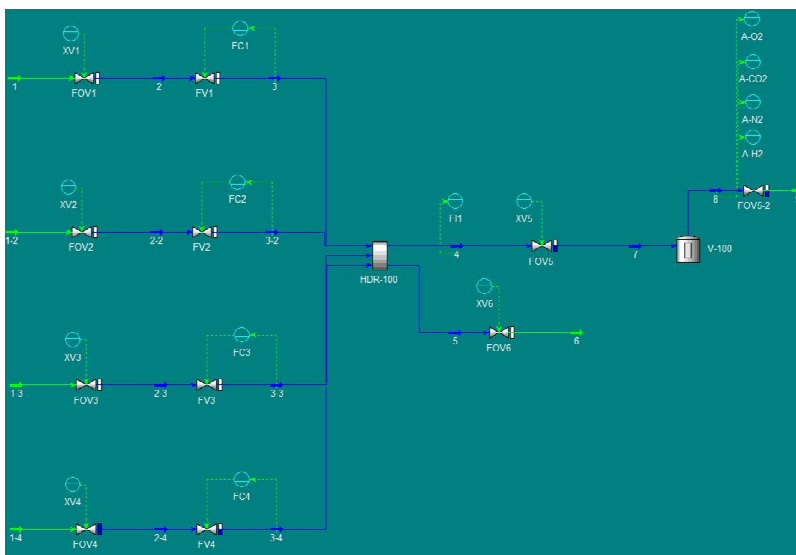


Рис. 3. Математическая модель экспериментальной лабораторной установки

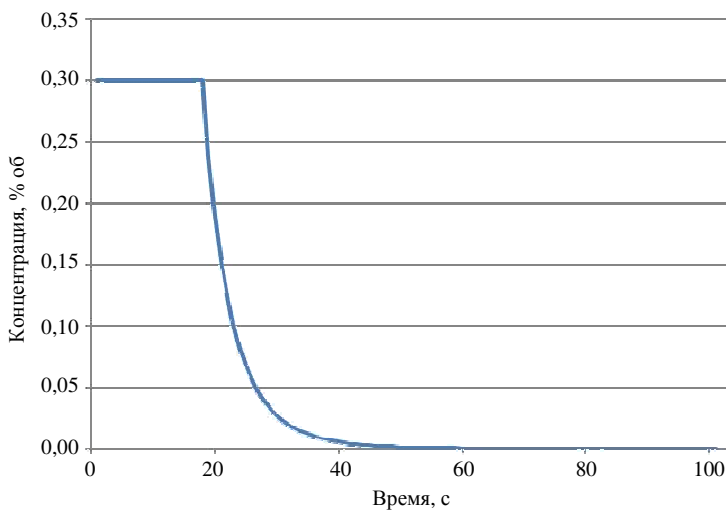


Рис. 4. Отклик математической модели



Моделирование проводится с учетом термодинамических свойств потоков и материалов оборудования, механических динамических характеристик клапанов, насосов и емкостей, химических превращений в аппаратах, потери тепла в окружающую среду, а также контрольно-измерительного оборудования [3, 4].

В результате испытания математической модели получены следующие характеристики (рис. 4), которые воспроизводят результаты ранее проведенных исследований [1].

По результатам моделирования лабораторной установки показана возможность ее создания, с требуемым функционалом. Также полученную математическую модель можно использовать для наладки программно-технического комплекса, оптимизации лабораторных исследований, проверки различных гипотез о функционировании различных анализаторов состава газовых смесей

### **Библиографический список**

1. Шумихин А.Г., Орехов М.С. Экспресс-метод градуировки газоанализаторов // Измерение, контроль, информатизация: материалы 13-й Междунар. науч.-техн. конф. «ИКИ-2012». – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2012. – Т. 2. – С. 45–48.

2. Шумихин А.Г., Орехов М.С. Математическое моделирование при разработке экспресс-метода градуировки газоанализаторов // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-25: сб. тр. XXV Междунар. науч. конф.: в 10 т. – Саратов: Изд-во СГТУ, 2012.

3. Власов С.А., Вялых И.А. Адаптация математической модели химико-технологического процесса на примере электрообессоливающей установки // Химия. Экология. Урбанистика: материалы всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов, студ. и школьников (с междунар. участ.). – Пермь, 2017. – С. 466–471.

4. Власов С.А., Вялых И.А. Автоматическая адаптация математической модели компьютерного тренажерного комплекса электрообессоливающей установки // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2016. – № 3. – С. 28–41. DOI: 10.15593/2224-9400/2016.3.03

### Сведения об авторах

**Орехов Михаил Сергеевич** – старший преподаватель кафедры «Оборудование и автоматизация химических производств» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: atp@pstu.ru

**Власов Сергей Алексеевич** – аспирант кафедры «Оборудование и автоматизация химических производств» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: savlasov@pstu.ru

### About the authors

**Orekhov Mikhail Sergeevich** – Senior Lecturer of the Equipment and automation of chemical industry department Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: atp@pstu.ru

**Vlasov Sergey Alekseevich** – Graduate Student of the Equipment and automation of chemical industry department Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: savlasov@pstu.ru

## **ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ КАЛИБРОВКИ ГАЗОАНАЛИЗАТОРОВ**

**С.А. Власов, М.С. Орехов**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

В статье рассмотрены аспекты применения методов математического моделирования при создании алгоритмов управления, средств хранения и отображения информации автоматизированной лабораторной установкой для калибровки газоанализаторов.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, газоанализатор, калибровка.

## **THE USE OF MATHEMATICAL MODELING IN THE DEVELOPMENT OF CONTROL ALGORITHMS AUTOMATED LABORATORY INSTALLATION FOR THE CALIBRATION OF GAS ANALYZERS**

**S.A. Vlasov, M.S. Orekhov**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

This article discusses aspects of the application of mathematical modeling methods for creating control algorithms, means of storing and displaying information using an automated laboratory unit for calibrating gas analyzers.

**Keywords:** math modeling, gas detector, calibration.

В работе [1] рассмотрен метод-экспресс градуировки газоанализаторов-сигнализаторов, заключающийся в формировании на входе газоанализатора концентрации газовой смеси в известной зависимости от времени при помощи проточного смесителя, соответствующего аппарату «идеального смешения», и последующей обработке полученной информации. Метод может быть применен как для одновременной градуировки нескольких газоанализаторов, так и для градуировки многоканальных газоанализаторов.

Для исследований на примере газоанализатора «Гамма-100» с распределенной системой управления (PCY) DeltaV разработана экспериментальная установка, схема которой представлена на рис. 1.

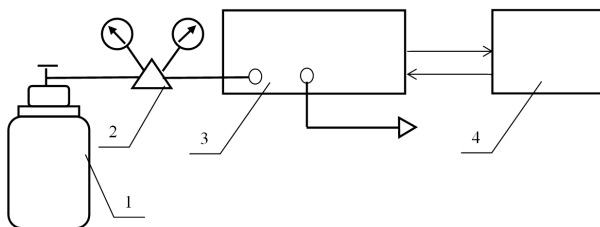


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – баллон с газовой смесью; 2 – редуктор; 3 – газоанализатор «Гамма-100»; 4 – PCY DeltaV

В такой экспериментальной установке распределенная система управления (PCY) DeltaV использовалась лишь для сбора, хранения и отображения информации. Проведенные исследования подтвердили большие трудозатраты на проведение эксперимента, так как экспериментатор проводил большую часть работ, что увеличивало вероятность совершения ошибки.

Дальнейшие исследования предполагают создание более совершенной установки, которая имеет расширенный функционал, схема которой представлена на рис. 2.

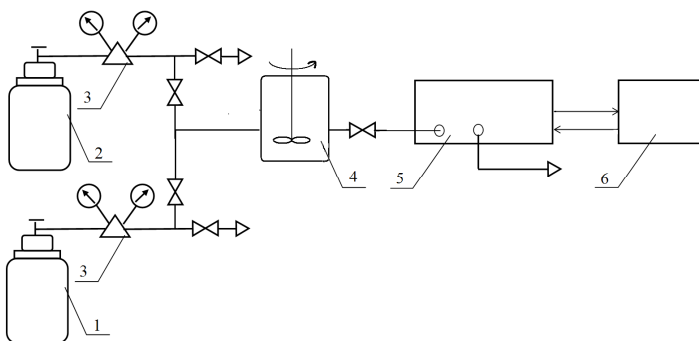


Рис. 2. Схема экспериментальной установки: 1 – баллон с газовой смесью № 1; 2 – баллон с газовой смесью № 2; 3 – редуктор; 4 – смеситель; 5 – газоанализатор «Гамма-100»; 6 – PCY DeltaV

Такая установка требует применения большого числа технических средств контроля и управления, что, в свою очередь, трактует необходимость проверки работоспособности такого большого количества оборудования, а также проверки и подтверждения основных закономерностей, свойственных этой лабораторной установке [2].

Разработанная математическая модель может быть использована, кроме прочего, для настройки и проверки работоспособности PCY DeltaV в комплекте с подобранными средствами. Связь между математической моделью и PCY DelataV осуществляется посредством интерфейса OPC [3].

Переменные математической модели имитируют входы/выходы реальной экспериментальной установки. Это обстоятельство позволяет как проводить длительные эксперименты по наладке на модели, экономя дорогостоящие газовые смеси, так и экономить время для настройки и отладки, изменяя масштабные временные коэффициенты, т.е. замедляя и ускоряя эксперимент.

Так как процесс эксперимента можно отнести к дискретно-непрерывному, применялся язык функциональных последовательностей совместно с языком структурированного текста для программирования контроллера PCY DeltaV.

Архивирование и хранение информации осуществляются встроенными средствами PCY DeltaV. Необходимо лишь указать, какие переменные нужно хранить в базе данных, а также настроить периодичность их записи в базу данных. Для отображения и оперативного управления применяется SCADA, входящая в PCY DeltaV.

Дальнейший запуск в работу всей автоматизированной лабораторной установки происходит после монтажа и наладки технических средств простым переключением информационных сигналов с модели на входы выходы контроллера PCY DeltaV.

**Заключение.** Подобраны программные средства и реализованы алгоритмы управления, настроена система архивации и сбора информации, сконфигурирована система отображения информации, а также оперативного управления экспериментальной лабораторной установкой.

### Библиографический список

1. Шумихин А.Г., Орехов М.С. Экспресс-метод градуировки газоанализаторов // Измерение, контроль, информатизация: материалы 13-й Междунар. науч.-техн. конф. «ИКИ-2012». – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2012. – Т.2. – С. 45–48.

2. Шумихин А.Г., Орехов М.С. Математическое моделирование при разработке экспресс-метода градуировки газоанализаторов // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-25: сб. тр. XXV Междунар. науч. конф.: в 10 т. – Саратов: Изд-во СГТУ, 2012.

3. Власов С.А., Вялых И.А. Автоматическая адаптация математической модели компьютерного тренажерного комплекса электрообессоливающей установки // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2016. – № 3. – С. 28–41. DOI: 10.15593/2224-9400/2016.3.03

### **Сведения об авторах**

**Орехов Михаил Сергеевич** – старший преподаватель кафедры «Оборудование и автоматизация химических производств» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: atp@pstu.ru.

**Власов Сергей Алексеевич** – аспирант кафедры «Оборудование и автоматизация химических производств» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: savlasov@pstu.ru.

### **About the authors**

**Orekhov Mikhail Sergeevich** – Senior Lecturer of the Equipment and automation of chemical industry department Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: atp@pstu.ru

**Vlasov Sergey Alekseevich** – Graduate Student of the Equipment and automation of chemical industry department Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: savlasov@pstu.ru

## **МЕТОДИКА НАЛАДКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ FISHER ДЛЯ КАНАЛОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ И ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ ЗАЩИТЫ**

**В.Р. Петуховская, А.С. Спирина, М.С. Орехов, П.Ю. Сокольчик**  
Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

В статье рассмотрена методика наладки промышленных исполнительных устройств FISHER для каналов регулирования и противоаварийной защиты.

**Ключевые слова:** исполнительное устройство, регулирование, безопасность, регулирующий клапан, отсечной клапан.

## **METHODS OF ADJUSTMENT OF INDUSTRIAL EXECUTIVE DEVICES FISHER FOR REGULATORY CHANNELS EMERGENCY PROTECTION**

**V.R. Petukhovskaya, A.S. Spirina, P.U. Sokolchik, M.S. Orekhov**  
Perm National Research Polytechnic University, Perm

In this article the aspects of technique of adjustment of industrial executive devices FISHER for regulatory channels emergency protection.

**Keywords:** drive unit, regulation, security, shut-off valve.

**Введение.** Система автоматизированного управления (АСУТП) реализует рассчитанные управления в виде изменений расходов вещества или количества энергии. Наибольшее распространение среди исполнительных устройств (ИУ) получили дроссельные ИУ, изменяющие расход непрерывно (регулирующие ИУ) или дискретно – в режиме «открыто/закрыто» (запорные ИУ). Запорные органы часто используются в системах ПАЗ. Энергия для изменения расхода вещества может проводиться в виде энергии сжатого воздуха (пневматические исполнительные механизмы (ИМ)).

Для регулирующих ИУ одним из важных параметров является точность хода, которая, в свою очередь, влияет на точность реализации управляющего воздействия. Для запорных ИУ, особенно применяемых в системах ПАЗ, одной из важных характеристик является надежность срабатывания. Для ИУ необходимо передавать информацию оператору об их техническом состоянии.

Для промышленных систем управления надежность и точность работы ИУ влияют не только на качество управления, но и на безопасность ведения технологических процессов. Поэтому в промышленных системах управления должна быть однозначная комплексная процедура наладки и испытаний ИУ [1]. Далее представлена разработка методики наладки ИУ фирмы FISHER для запорных клапанов, применимая к их работе в системе Delta V. Методики разработаны на базе стенда фирмы EMERSON «CACTUS 6».

**Описание установки.** Аппаратное обеспечение системы автоматизации DeltaV состоит из рабочих станций DeltaV, управляющей сети, контроллеров DeltaV, подсистем ввода-вывода, программного обеспечения. В программное обеспечение входят приложения, которые оказывают помощь в конфигурировании, эксплуатации, документировании и оптимизации технологического процесса. Основные средства проектирования и разработки – «Помощник конфигуратора», «Проводник DeltaV», «Студия Управления», «Студия Рецептур», «Графическая Студия» и средства управления периодическими процессами, менеджер устройств AMS Device Manager.

Методики наладки разрабатывались в расчёте на использование программного комплекса «AMS Device Manager», являющегося дополнением PCU DeltaV, используемого для мониторинга состоянием прогнозирующей диагностики, документирования, конфигурирования и калибровки полевых приборов и ИУ.

В качестве базовых каналов, для которых разрабатывались методики наладки ИУ, выбраны регулирующий и управляющий каналы (рис. 1, 2).

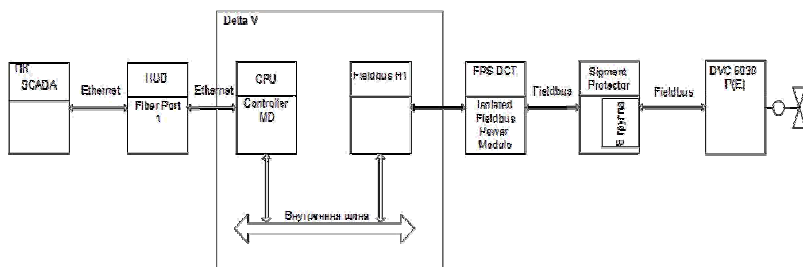


Рис. 1. Структурная схема канала регулирования с использованием клапана FISHER с приводом модели GX



**Канал регулирующего ИУ.** Управляющее воздействие передаётся от контроллера Delta V (модуль CPU Controller MD) по внутренней шине на модуль полевой шины Fieldbus H1. Передача сигнала на ИУ производится по шине Fieldbus через модуль Isolated Fieldbus Power Module и модуль защиты сегмента Sgment Protector. Сигнал подаётся в позиционер регулирующего клапана DVC 6030 P(E), который управляет мембранным исполнительным механизмом. Сигнал о положении клапана проходит по шине Fieldbus в обратном направлении.

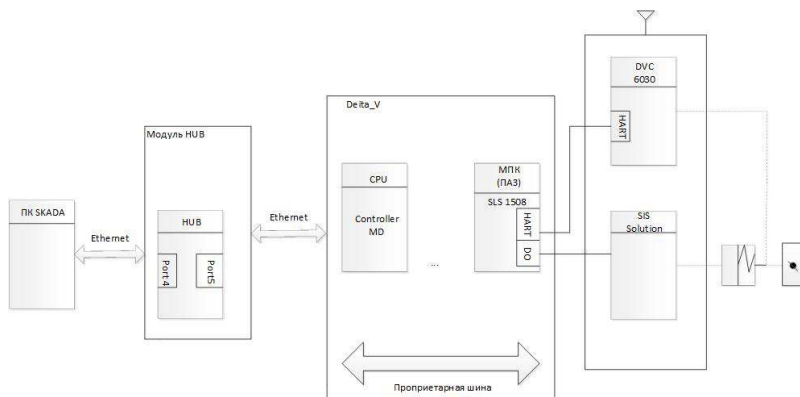


Рис. 2. Структурная схема управляющего канала запорного клапана ПАЗ

**Канал запорного отсечного ИУ системы ПАЗ.** Управляющее воздействие в виде дискретного сигнала, вырабатываемого системой DeltaV, с помощью дискретного выхода контроллера МПК SLS 1508 подается в виде «сухого контакта», запитанного внешним питанием = 24 В на соленоид НУТОРКСОЛ-F3АТNX1-RAX. Соленоид коммутирует сжатый воздух, под действием которого поворачивается поворотная заслонка. Позиционер DVC 6030 SIS Solution обеспечивает передачу состояния клапана и диагностическую информацию по протоколу HART на контроллер и далее в SCADA.

**Примеры процедур наладки регулирующего клапана.** В процессе наладки регулирующего клапана настраиваются следующие параметры:

1. *Travel (Рабочий ход)* – диапазон перемещения регулирующего органа клапана.

2. *Travel open/closed* (Состояние открытия/закрытия) – возможные состояния клапана: нормально открытый и нормально закрытый.

3. *Zero Control Signal* (Нулевой управляющий сигнал) – указывает, полностью ли открыт или закрыт клапан, когда на входе нулевой сигнал.

4. *Pressure Units* (Единицы измерения давления) – единицы измерения задаются в фунт/кв. дюйм, бар или кПа.

5. *Characteristic* (Характеристика) – определяет взаимосвязь между конечной точкой рабочего хода и диапазонной уставкой. Если клапан находится в нормально закрытом состоянии, то уставка 0 % соответствует диапазонному входному сигналу 0 %. Если клапан находится в нормально открытом состоянии, то уставка 0 % соответствует диапазонному входному сигналу 100 %.

Наладка осуществлена в программе AMS Device Manager. Установлены следующие числовые значения параметров (табл. 1).

Таблица 1

Динамические характеристики регулирующего клапана

| Переменная  | Значения   |
|---|--|
| Наладка рабочего хода (Travel)                              | 0,3 %  |
| Наладка степени открытия/закрытия (Travel open/closed)      | Состояние открытия = 100 %<br>Состояние закрытия = 0 % |
| Наладка нулевого управляющего сигнала (Zero Control Signal) | Открыть  |
| Наладка единицы измерения давления (Pressure Units)         | Бар  |
| Наладка характеристики (Characteristic)                     | Линейная   |

**Примеры процедур наладки отсечного клапана.** Такие стандартные испытания, как испытания на прочность деталей, на плотность разъемных соединений, на плотность затвора запорной арматуры, в методиках не рассматривались. Выполнена лишь в качестве примера настройка запорного устройства арматуры.

**Наладка степени открытия.** Цель наладки заключается в том, чтобы исключить негерметичность запорного устройства, проявляющуюся вследствие недостаточного давления сжатого воздуха или недостаточной точности настройки измерительного преобразователя положения.

## Динамические характеристики клапана ПАЗ

| Параметр                                   | Значение, % | Set Point Filter (набор уставки)                                    |
|--|-------------|---|
| SP Rate Open<br>(процент открытия, %/сек)  | 0<br>100    | View/Edit Lag Time<br>(просмотр/редактирование<br>времени задержки) |
| SP Rate Close<br>(процент закрытия, %/сек) | 0<br>100    |   |

Порядок наладки: ввод переменной в менеджере устройств AMS и производится наблюдение за процентом открытия/закрытия арматуры, а также наблюдение за временем задержки. Если есть задержка, то производится редактирование в менеджере устройств AMS процента открытия.

Наладка заключается в проведении открытия и закрытия задвижки при значениях 0 и 100 %. Испытание производится подачей воздуха для определения величины пропуска среды в закрытом и открытом состоянии (табл. 2).

## Библиографический список

1. Федоров Ю.Н. Основы построения АСУТП взрывоопасных производств. Проектирование. Т. 2. – М.: СИНТЕГ, 2006. – 632 с.
2. Библиотека DeltaV :BOL\_DeltaV\_11.3. – 2000.
3. FisherControlsInternational: руководство по эксплуатации регулирующего клапана с приводом модели GX. – 2003, 2006. – 30 с.
4. FisherControls International: руководство по эксплуатации клапан ПАЗ.

## Сведения об авторах

**Петуховская Виктория Романовна** – студентка Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: wikapet1997@rambler.ru

**Спирина Анастасия Сергеевна** – студентка Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: nastjaspirina@mail.ru

**Сокольчик Павел Юрьевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудование и автоматизация химических производств» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: psokol@pstu.ru

**Орехов Михаил Сергеевич** – старший преподаватель кафедры «Оборудование и автоматизация химических производств», ведущий инженер ХТФ Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: atp@pstu.ru

#### **About the authors**

**Petukhovskaya Victoria Romanovna** – Student Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: wikapet1997@rambler.ru

**Spirina Anastasia Sergeevna** – Student Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: nastjaspirina@mail.ru

**Sokolchik Pavel Yuryevich** – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor of the Equipment and automation of chemical production Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: psokol@pstu.ru

**Orekhov Mikhail Sergeevich** – Senior Lecturer of the Equipment and automation of chemical industry department Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: atp@pstu.ru

## **АНАЛИЗ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ ДЛЯ ЗАДАЧИ АППРОКСИМАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ КОМПЛЕКСНОЙ ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИНАМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА ПЕРЕДАТОЧНОЙ ФУНКЦИЕЙ**

**М.А. Работников**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

В статье представлены результаты исследования целевой функции, сформированной по методу наименьших квадратов, для решения задачи идентификации параметров передаточной функции объекта по снятой экспериментально КЧХ. Рассмотрены целевые функции для задачи идентификации каналов передачи технологических объектов, разомкнутых и замкнутых, для объектов в одноконтурной САУ. Проведен сравнительный анализ реализованных в разработанном приложении для решения данной задачи оптимизационных методов.

**Ключевые слова:** комплексная частотная характеристика, передаточная функция, идентификация, метод наименьших квадратов, метод сканирования, метод Гаусса–Зейделя, симплекс-метод, метод наискорейшего спуска, BFGS.

## **ANALYSIS OF THE TARGET FUNCTION FOR THE TASK OF APPROXIMATION OF THE EXPERIMENTAL COMPLEX FREQUENCY CHARACTERISTIC OF A DYNAMIC OBJECT BY A TRANSFER FUNCTION**

**M.A. Rabotnikov**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

This article contains the results of research of the objective function formed by the least squares method for solving the problem of identifying the parameters of the transfer function using the experimental CFC. Objective functions for open and closed control channels in a single-loop automatic control system are considered. A comparative analysis of the optimization methods implemented in the developed application for solving this problem was made.

**Keywords:** complex frequency response, transfer function, identification, least squares method, scan method, GaussSeidel method, simplex method, gradient method, BFGS.

Один из методов исследования динамики технологического объекта управления является анализ экспериментально полученной комплексной частотной характеристики. С целью автоматизации

обработки результатов подобных исследований и решения задачи структурной и параметрической идентификация объекта по экспериментально полученной КЧХ разработано программное приложение [1]. Целевая функция для поиска параметров передаточной функции исследуемого канала сформирована по методу наименьших квадратов с использованием всех степеней свободы выборки экспериментальных значений  $\text{Re}^e(\omega_v)$  и  $\text{Im}^e(\omega_v)$ :

$$\Phi(\vec{b}, \vec{a}, k, \tau) = \sum_{v=1}^N (\text{Re}^e(\omega_v) - \text{Re}^{ap}(\omega_v))^2 + \sum_{v=1}^N (\text{Im}^e(\omega_v) - \text{Im}^{ap}(\omega_v))^2 \rightarrow \min_{\vec{b}, \vec{a}, k, \tau}, \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент передачи объекта,  $\tau$  – чистое запаздывание,  $\vec{b}$ ,  $\vec{a}$  – другие параметры передаточной функции объекта,  $\vec{b}^0, \vec{a}^0, k^0, \tau^0$  – оценки параметров передаточной функции объекта [1].

В общем случае исследуемый объект аппроксимируется последовательным соединением апериодического звена первого порядка, интегродифференцирующего звена и звеном запаздывания:

$$W_y(s) = k_y \frac{bs + 1}{a_2 s^2 + a_1 s + 1} e^{-s\tau}. \quad (2)$$

В приложении предусмотрена возможность идентификации объекта по каналу «возмущающее воздействие – регулируемая величина» замкнутой одноконтурной системы регулирования. Передаточная функция этого канала имеет вид:

$$W_{y\lambda}(s) = \frac{W_{y\lambda}(s)}{1 + W_{yu}(s)W_r(s)}, \quad (3)$$

где  $W_{yu}(s)$  – передаточная функция объекта по каналу «управляющее воздействие – регулируемая величина»,  $W_r(s)$  – передаточная функция регулятора,  $W_{y\lambda}(s)$  – передаточная функция технологического объекта по каналу «возмущающее воздействие – регулируемая величина».

Для решения задачи (1) в приложении реализованы следующие оптимизационные методы: сканирование, метод Гаусса–Зейделя с возможностью многомерного запуска из случайной точки, градиентный метод, симплексный метод и метод Бroyдена–Флетчера–Гольдфарба–Шанно (BFGS).

С целью определения целесообразности реализации в приложении других оптимизационных методов и формулирования рекомен-

даций по выбору метода для частных случаев проведено исследование зависимости вида целевой функции от вида аппроксимирующей передаточной функции. Методом сканирования произведен поиск локальных экстремумов целевых функций, сформированных по комплексным частотным характеристикам, полученным экспериментально на имитационном и лабораторном объектах.

Для исследования целевой функции задачи идентификации динамического объекта на имитационной модели получены комплексные частотные характеристики для каналов, представленных апериодическим звеном первого порядка, последовательным соединением апериодического звена первого порядка и звена запаздывания, последовательным соединением идеального интегрирующего звена и звена запаздывания, последовательным соединением апериодического звена первого порядка и интегродифференцирующего звена и последовательным соединением апериодического звена первого порядка, интегродифференцирующего звена и звена запаздывания. На лабораторном объекте (эмуляторе печи) при отключенной системе автоматического регулирования получена комплексная частотная характеристика канала «управляющее воздействие – температура печи», аппроксимируемая последовательным соединением апериодического звена первого порядка и звена запаздывания [2].

По полученным КЧХ сформированы целевые функции задачи (1), произведен поиск локальных экстремумов (табл. 1).

Таблица 1

Исследование формы целевой функции разомкнутого контура

| Объект                                   | Передаточная функция исследуемого канала                          | Количество параметров | Количество экстремумов |
|--|---|-----------------------|------------------------|
| Имитационная модель                      | $W(s) = \frac{k}{as + 1}$   | 2                     | 1                      |
| Имитационная модель, лабораторный объект | $W_{\text{эл}}(s) = \frac{k}{as + 1} e^{-st}$                     | 3                     | 1                      |
| Имитационная модель                      | $W_{\text{эл}}(s) = \frac{k}{s} e^{-st}$                          | 2                     | 1                      |
| Имитационная модель                      | $W_{\text{эл}}(s) = k \frac{bs + 1}{a_2 s^2 + a_1 s + 1}$         | 4                     | 62                     |
| Имитационная модель                      | $W_{\text{эл}}(s) = k \frac{bs + 1}{a_2 s^2 + a_1 s + 1} e^{-st}$ | 5                     | 366                    |

С увеличением количества идентифицируемых параметров в передаточной функции ОУ усложняется вид целевой функции и возрастает количество локальных экстремумов, что усложняет поиск глобального экстремума. На рис. 1 представлено распределение экстремумов целевой функции для случая аппроксимации экспериментальной КЧХ исследуемого объекта последовательным соединением аperiodического звена первого порядка, интегриродифференцирующего звена и звена запаздывания.

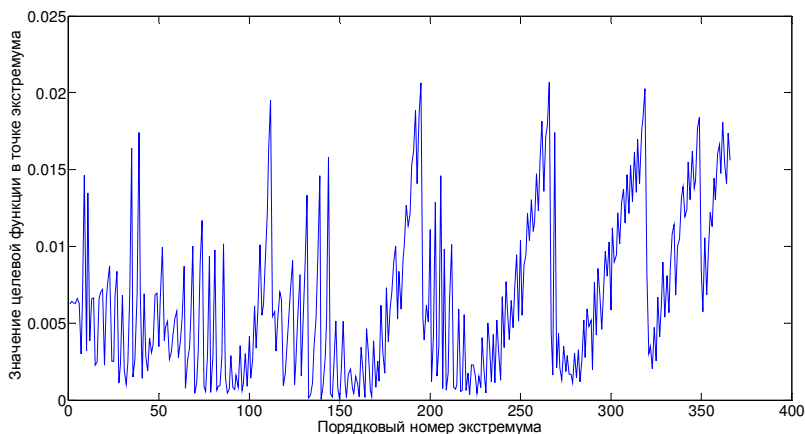


Рис. 1. Экстремумы целевой функции разомкнутого контура

Целевая функция имеет несколько локальных экстремумов, близких по значению к глобальному. Наиболее удачными методами для поиска параметров передаточной функции разомкнутого контура являются симплексный метод, охватывающий всю исследуемую область гиперпространства, и квазиньютоновский метод BFGS, позволяющий оценить кривизну целевой функции.

Для исследования целевой функции канала «возмущающее воздействие – регулируемая величина», замкнутой по каналу управления одноконтурной САР, сняты комплексные частотные характеристики с имитационной модели и эмулятора печи по данному каналу. Объект аппроксимируется аperiodическим звеном первого порядка с последовательным звеном запаздывания. По полученным КЧХ сформированы целевые функции исследуемого канала, произведен поиск локальных экстремумов (табл. 2).



## Исследование формы целевой функции замкнутого контура

| Объект              | Передаточная функция исследуемого канала                              | Количество параметров | Количество экстремумов |
|---------------------|---|-----------------------|------------------------|
| Имитационная модель | $W_{y\lambda}(s) = \frac{W_{y\lambda}(s)}{1 + W_{y\lambda}(s)W_r(s)}$ | 6                     | 54412                  |
| Лабораторный объект |   |                       | 49541                  |

На рис. 2 представлено распределение экстремумов целевой функции для случая аппроксимации экспериментальной КЧХ замкнутого контура. Целевая функция имеет множество локальных экстремумов, близких по значению к глобальному. Значения параметров передаточной функции в точках локальных экстремумов расположены в различных областях гиперпространства, при этом значения целевой функции в этих точках близки и соответствуют практически одинаковым комплексным частотным характеристикам.

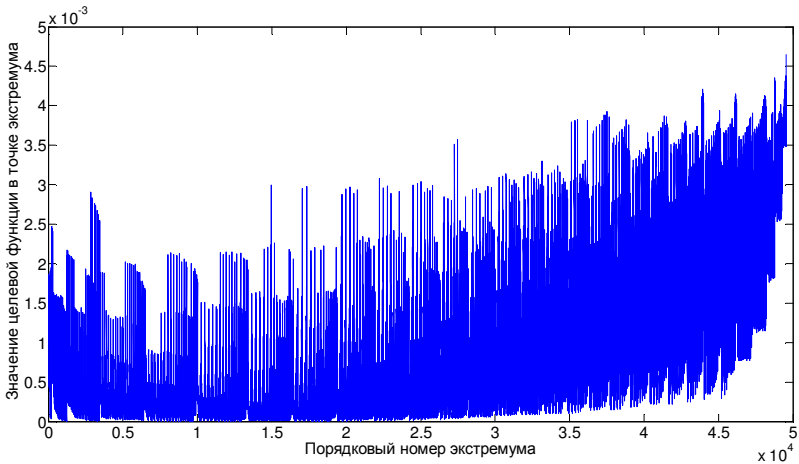


Рис. 2. Экстремумы целевой функции замкнутого контура

В этом случае выбрать метод, строго сходящийся к глобальному экстремуму или близкому по значению локальному, нельзя. Для решения такой задачи необходимо наличие дополнительной информации об ограничениях, накладываемых на параметры передаточной функции. Для определения области внутри ограниченного гиперпространства, близкой по значениям к глобальному экстремуму,

проводится предварительное исследование формы целевой функции методом Гаусса–Зейделя или любым другим с возможностью многомерного запуска из случайной точки. Для последующего поиска экстремума в области, ограниченной первичной идентификацией, наиболее удачен метод BFGS.

По результатам проведенного анализа формы целевой функции установлено, что для решения задачи аппроксимации экспериментальной комплексной частотной характеристики передаточной функцией наиболее удачным является класс квазиньютоновских методов (в частности, BFGS), позволяющих оценить кривизну целевой функции, с возможностью многомерного запуска из случайной точки для случаев идентификации объекта в замкнутом контуре.

### **Библиографический список**

1. Работников М.А., Бояршинова А.С., Шумихин А.Г. Автоматизация поиска значений параметров передаточной функции канала передачи по экспериментальной комплексной частотной характеристике // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2017. – № 2. – С. 63–76.

2. Работников М.А., Александрова А.С., Шумихин А.Г. Автоматизация обработки экспериментальной комплексной частотной характеристики при идентификации управляемого объекта // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2018. – № 1. – С. 21–33.

### **Сведения об авторе**

**Работников Михаил Алексеевич** – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: [robotnikov@pstu.ru](mailto:robotnikov@pstu.ru)

### **About the author**

**Rabotnikov Mikhail Alexeevich** – Master Student Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: [robotnikov@pstu.ru](mailto:robotnikov@pstu.ru)

## **СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ ВЗВЕШИВАНИЯ БОЛЬШЕГРУЗНЫХ ОБЪЕКТОВ**

**С.В. Снеткова, А.С. Боровский**

Оренбургский государственный университет, Оренбург

В статье приводится системный анализ проблемы взвешивания некоторых существующих автоматизированных систем массогабаритного контроля большегрузных автомобильных транспортных средств.

**Ключевые слова:** системный анализ, автоматизация, массогабаритный контроль, автоматизированный пост весового контроля, система взвешивания.

## **SYSTEM ANALYSIS OF PROBLEMS WEIGHING HEAVY OBJECTS**

**S.V. Snetkova, A.S. Borovsky**

Orenburg State University, Orenburg

This article provides a systematic analysis of the problem of weighing some existing automated systems of weight and size control of heavy vehicles.

**Keyword:** system analysis, automation, weight and dimensional control, automated weight control post, weighing system.

Современный мир характеризуется бурным развитием различных компьютерных технологий и связанных с ними электронных устройств. В любую сферу деятельности человека пришла минимизация, однако области автомобильных перевозок данная тенденция не коснулась. В связи с ростом товарообмена между странами резко увеличилась интенсивность внешних перевозок, осуществляемых грузовым автотранспортом.

С ростом роли автотранспорта в повседневной жизни и значительным увеличением коммерческого грузопотока осуществление весового контроля за грузовым трафиком становится, как никогда, актуальной задачей. Важную роль в данном процессе играет весовое оборудование, благодаря которому происходят учёт и систематизация объёмов и весов перевозимых товаров.

Современные автотранспортные предприятия обустривают стационарные весовые посты, связанные с компьютерной базой данных и отвечающие за контроль и учёт перевозимого товара. В последнее

время на трассах стали появляться посты, оборудованные весовыми измерительными комплексами, предназначенными для проверки данных, указанных в товаротранспортных накладных, и выявления фактов перегруза машин.

В большинстве случаев весовые посты оборудуются современными электронными средствами контроля, позволяющими в полной мере использовать преимущества новейших компьютерных технологий и глобальной коммутационной сети. Завязанные на единую базу данных несколько постов, размещённых в ключевых точках погрузки/выгрузки, позволяют полностью автоматизировать процесс логистики предприятия. Однако могут существовать различия, связанные с массогабаритными размерами установленных комплексов [2].

Автоматизация процессов деятельности человека после появления компьютеров поднялась на новый более качественный этап.

Потребность в программном обеспечении, предназначенном для решения конкретных задач, сильно сказывается в областях специфических, т.е. там, где универсальные программы не могут в полной мере отвечать требованиям специфики производства. Одной из таких областей является горно-обогатительный комбинат.

В статье «Разработка автоматизированной системы массогабаритного контроля большегрузных автомобильных транспортных средств», опубликованной в материалах V Международной научной конференции «Современные тенденции технических наук» (Казань, май 2017), рассмотрены проблемы массогабаритного контроля большегрузных транспортных средств на дорогах общего пользования и на территориях коммерческих организаций [1].

Данная статья отражает актуальную проблему массогабаритного контроля большегрузных транспортных средств на дорогах общего пользования и на территориях коммерческих организаций, занимающихся реализацией сыпучих продуктов.

Достаточно подробно и в то же время лаконично сформулирован процесс получения, передачи и обработки информации о массогабаритных параметрах большегрузных транспортных средств. Кроме того, в статье имеется подробное описание технической реализации автоматического пункта весового контроля на базе гидравлических мембранных цилиндров приемников давления и преобразователя давления частотно-резонансного типа. Также приведены весомые аргументы о необходимости применения подобных постов для муниципальных образований и коммерческих организаций [1].

Автоматизированный пост весового контроля является одним из важнейших инструментов контроля и сбора информации о массогабаритных характеристиках транспортного средства для последующей обработки данных и принятия решений на их основе [3].

В настоящее время на горнообогатительном комбинате существует система взвешивания большегрузных автосамосвалов, которая включает в себя весовую платформу, блоки вторичной аппаратуры, считыватели для автоматического определения бортового номера автосамосвалов, инфракрасные детекторы для расчета скорости и ускорения при движении АС по весовой платформе, и сервер, на котором хранятся все отчеты, реестры и другая информация о процессе взвешивания. Однако данная информация не связана с самой системой взвешивания, поэтому представляется актуальным разработка автоматизированного рабочего места оператора по управлению технологическим процессом взвешивания количества породы, перерабатываемой на фабрике, позволяющего вести учет, контроль, а также получать различные выходные документы.

В диаграмме IDF0 была разработана схема автоматизированного взвешивания автотранспортных средств. Данная диаграмма представлена на рис. 1.

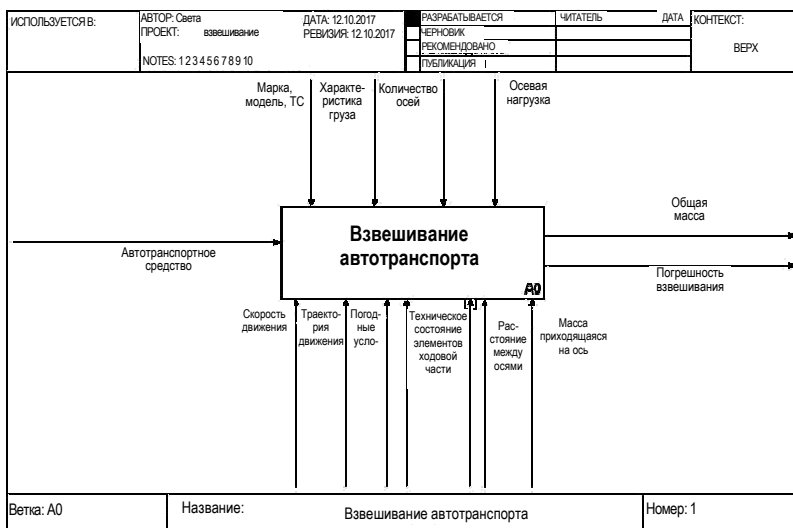


Рис. 1. Схема взвешивания автотранспорта

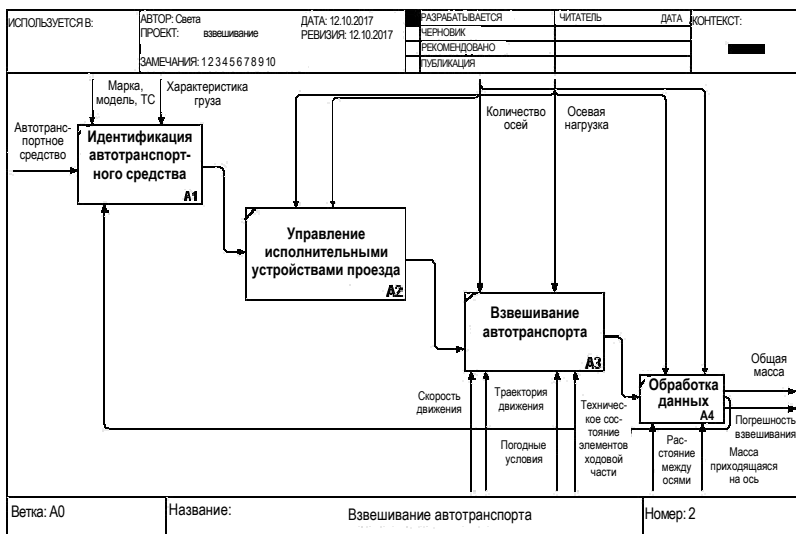


Рис. 2. Декомпозиция задачи взвешивания автотранспорта на отдельные подзадачи

Система взвешивания большегрузных объектов предназначена для взвешивания автосамосвалов (АС) грузоподъемностью более 100 т и учета руды, поступающей на обогатительную фабрику, в автоматическом режиме, а также для управления движением АС через платформы и выдаче информации о состоянии процесса взвешивания [4].

### Библиографический список

1. Исаев И.А. Проблемы и пути развития систем автоматического массогабаритного контроля большегрузных транспортных средств // Молодой ученый. – 2016. – № 3. – С. 109–111.
2. Костяков А.Н. Основы информационных технологий на автомобильном транспорте: учеб. пособие. – Чита: Изд-во ЧитГУ, 2008. – 363 с.
3. Балашов Е.П., Пузанков Д.В. Проектирование информационно-управляющих систем. – М.: Радио и связь, 1987. – 256 с.
4. Браславский Д.А., Петров В.В. Точность измерительных устройств. – М.: Машиностроение, 1976. – 312 с.

### **Сведения об авторах**

**Снеткова Светлана Владимировна** – студентка Оренбургского государственного университета, Оренбург, e-mail: snetckowa.swetlana@yandex.ru

**Боровский Александр Сергеевич** – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Управление и информатика в технических системах» Оренбургского государственного университета, Оренбург, e-mail: borovski@mail.ru

### **About the authors**

**Snetkova Svetlana Vladimirovna** – Student Orenburg State University, Orenburg, e-mail: snetckowa.swetlana@yandex.ru

**Borovsky Alexander Sergeevich** – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Management and Informatics in Technical Systems Orenburg State University, Orenburg, e-mail: borovski@mail.ru

## **ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ БЫСТРОЙ ПЕРЕНАЛАДКИ ОБОРУДОВАНИЯ КАК СПОСОБ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА**

**Т.А. Попова, О.А. Стародубцева**

Новосибирский государственный технический университет,  
Новосибирск

В статье рассматривается система SMED, которая является инструментом, позволяющим сократить время наладки и переналадки оборудования. В условиях жесткой конкуренции и быстрого изменения внешних факторов скорость переналадки оборудования является одним из важнейших показателей, характеризующих эффективность работы предприятия. Возможности быстрой переналадки позволяют быстро менять ассортимент выпускаемой продукции и избегать скапливания лишних запасов продукции на складе.

**Ключевые слова:** партии деталей, инструмент SMED, внешние и внутренние операции, потери времени, быстрая переналадка, стандарт переналадки.

## **THE INTRODUCTION OF A SYSTEM OF QUICK CHANGEOVER AS A WAY TO OPTIMIZE PRODUCTION**

**T.A. Popova, O.A. Starodubtseva**

Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk

This article discusses the SMED system, which is a tool to reduce the time of adjustment and readjustment of equipment. In conditions of fierce competition and rapid changes in external factors, the speed of equipment changeover is one of the most important indicators characterizing the efficiency of the enterprise. Quick changeover capabilities allow you to quickly change the range of products and avoid the accumulation of excess stocks of products in stock.

**Keywords:** parts, tools SMED, internal and external operations, loss of time, quick changeover, standard changeovers.

**Введение.** Существует большое количество внешних и внутренних факторов, оказывающих существенное влияние на бизнес-процессы промышленных предприятий. При этом необходимо учитывать процессы, связанные с процедурой импортозамещения. Процесс импортозамещения можно считать одним из актуальных направлений в развитии российской промышленности.



Для реализации такой задачи необходимо обратить внимание на увеличение производственных мощностей, с помощью использования современных технологий, позволяющих обеспечить полную автоматизацию и цифровизацию на производстве в наиболее оптимальные сроки и на оптимизацию производства путем внедрения системы быстрой переналадки оборудования.

Продолжительность процесса переналадки оборудования для большинства промышленных предприятий делает его очень дорогостоящим, так как предприятия производят продукцию крупными партиями, и процесс замены продукции на линии проблематичен. Простои оборудования для них исчисляются миллионами рублей. Однако изготовление продукции крупными партиями имеет несколько недостатков [1]:

- Для того чтобы изготовить крупную партию продукции, предприятие может не успеть с выполнением заказа в силу разных внутренних и внешних факторов, а это влечет за собой массу проблем, связанных с договорными отношениями с заказчиком;
- Продукция, которая не реализована требует затрат, связанных с хранением и не только, например, для продажи продукции потребуются ее переделывание или того хуже уничтожение из-за порчи, а это дополнительные расходы, что не добавляет ценности продукту.

**Основная часть.** Инструмент SMED (single minute exchange of die) или «**быстрая переналадка**» достаточно простой и распространенный на российских промышленных предприятиях. Данный инструмент был разработан в компании «Гойота» для сокращения размеров партий изготавливаемых продуктов между переналадками. Время переналадки оборудования, которое производило большие партии изделий, было достаточно велико, что, естественно, приводило к большому количеству запасов и связанных с ними расходов: перемещение, транспортировка, учёт, эксплуатация, содержание складов и т.п., а также к потере прибыли в связи с незадействованным капиталом, находящимся в запасах.

Разработанный метод позволяет не только сократить время переналадки при производстве с одного изделия на другое, но и снизить размер партии и количество запасов.

Преимущества использования SMED приводят:

- к сокращению времени выполнения заказа, за счет снижения запасов,

- сокращению инвестиций и затрат на производство,
- уменьшению занятых площадей,
- оптимизации производства за счет уменьшения работы, не добавляющей ценность,
- снижению риска травматизма,
- снижению вероятности порчи изделий, поскольку сокращается время их хранения,
- уменьшению объема производственного брака из-за меньшего числа ошибок в ходе наладки и пробных пусков оборудования и т.д.

Как правило, на промышленных предприятиях, не применяющих SMED, процесс переналадки неоптимален, отсутствуют методика переналадки и стандарты, подготовительное время может иметь различные вариации, нет различия между внутренней и внешней наладкой.

Например, традиционная переналадка оборудования, без использования системы SMED, включает четыре этапа (таблица) [1].

Как показано в таблице, этап «Демонтаж и монтаж съемных частей, инструментов», т.е. непосредственно переналадка, занимает по сравнению с другими этапами гораздо меньше времени, а на такой этап, как «Регулировка и пробные пуски», тратится около 50 % всего времени переналадки. При традиционной переналадке оборудование производит некачественную продукцию до тех пор, пока не завершится четвертый этап. Поэтому регулировка и пробные пуски относятся к операциям внутренней наладки.

Этапы наладки и время их выполнения до внедрения системы SMED

| № п/п | Этапы наладки                                  | Доля времени конкретной операции в процессе наладки до внедрения системы SMED |
|-------|--|---|
| 1     | Подготовка, проверка материалов и инструментов | 30 %  |
| 2     | Демонтаж и монтаж съемных частей, инструментов | 5 %   |
| 3     | Измерения, настройка и калибровка              | 15 %  |
| 4     | Пробные пуски, регулировка                     | 50 %  |

Источник: «Quick Changeover for Operators. The SMED System» by Shigeo Shingo, 2000

Основная причина, из-за которой традиционные операции переналадки занимают много времени, заключается в том, что операции внутренней и внешней наладки перемешаны между собой. Многие задачи, выполнить которые можно и при работающем оборудовании,

выполняются только после его остановки. Применение же SMED основано на разделении операций, совершаемых при переналадке на внутренние и внешние. Внутренние операции процесса переналадки выполняются на остановленном оборудовании, подлежащем наладке, а внешние операции совершаются во время изготовления годных изделий на оборудовании, подлежащем наладке.

Алгоритм применения инструмента SMED:

**1. Анализ текущей ситуации.** На данном этапе выполняется хронометраж, и желательно снять видео текущего процесса переналадки, что помогает разобраться в том, как именно выполняются процессы наладки каждой конкретной единицы оборудования.

**2. Разделение операций на внешнюю и внутреннюю наладки.** На этом этапе все зафиксированные действия подразделяются на внутренние и внешние, а также те, которые нужно сделать до остановки оборудования, во время остановки и после нее. Благодаря этому этапу можно сократить простои оборудования, происходящие в процессе переналадки, на 30–50 % [1].

**3. Перевод внутренних работ во внешние.** Выделяются те действия, которые можно выполнить без остановки оборудования, что позволяет еще больше сократить время переналадки.

**4. Сокращение внутренних и внешних работ.** Данный этап направлен на оптимизацию всех действий по переналадке.

Несмотря на существующий миф о том, что внедрение LEAN не требует абсолютно никаких затрат, данный инструмент по праву является наиболее затратным, так как значительная часть потенциала сокращения времени переналадки реализуется изменением конструкции (крепежей, приспособлений и т.д.), т.е. после вложения определенных средств. Результатом проведенного анализа и принятых решений должен являться стандарт переналадки, четко регламентирующий последовательность действий, параметры настройки и запуска, необходимое время и средства для её осуществления (инструмент, оснастка и т.п.). Разумеется, стандарт выполнения переналадки должен поддерживаться руководителями, т.е. руководители должны убедиться, что ничто не мешает следовать стандарту и контролировать его соблюдение [2].

**Заключение.** Система SMED представляет новый взгляд на процесс переналадки, так как позволяет сокращать время простоя оборудования, а это делает работу более равномерной и спокойной. Кроме

того, данный инструмент обеспечивает большую безопасность производства – меньше физических нагрузок или риска получения травм рабочими. Производственный процесс становится легче и безопаснее, так как уменьшение запасов позволяет стабилизировать рабочий процесс, а стандартизация инструментов дает возможность следить за меньшим количеством инструментов. Все это позволяет увеличить производительность труда и снизить себестоимость производимой продукции.

### **Библиографический список**

1. Александров А.В. Быстрая переналадка [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.vialek.ru/press/articles/672> (дата обращения: 26.11.2018).

2. SMED. Быстрая переналадка [Электронный ресурс]. – URL: <http://leanbase.ru/knowledgebase/smed-bystraya-perenaladka> (дата обращения: 19.11.2018).

### **Сведения об авторах**

**Попова Татьяна Александровна** – магистрант кафедры «Производственный менеджмент и экономика энергетики» Новосибирского государственного технического университета, Новосибирск, e-mail: [tatyana.alex555@mail.ru](mailto:tatyana.alex555@mail.ru)

**Стародубцева Ольга Анатольевна** – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Производственный менеджмент и экономика энергетики» Новосибирского государственного технического университета, Новосибирск, e-mail: [olgastarodubzeva@mail.ru](mailto:olgastarodubzeva@mail.ru)

### **About the authors**

**Popova Tatyana Alexandrovna** – Master Student degree student of the Department of Production management and energy Economics Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, e-mail: [tatyana.alex555@mail.ru](mailto:tatyana.alex555@mail.ru)

**Starodubtseva Olga Anatolyevna** – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Production management and energy Economics Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, e-mail: [olgastarodubzeva@mail.ru](mailto:olgastarodubzeva@mail.ru)

## ИНТЕГРАЦИЯ САПР ТП С ЛОЦМАН: PLM

**А.Ю. Хохлова, А.И. Сергеев**

Оренбургский государственный университет, Аэрокосмический институт, Оренбург

В данной статье рассматривается современное состояние проблем внедрения и использования систем поддержки жизненного цикла изделий на российских предприятиях. Предлагается интеграция разработанной САПР ТП Aluminium-ТП 0.1 в ЛОЦМАН: PLM для поддержки концепции информационного пространства на предприятии.

**Ключевые слова:** САПР ТП, алюминиевый металлопрокат, ЛОЦМАН: PLM, ЛОЦМАН Клиент.

## INTEGRATION OF CAD SYSTEM WITH LOTSMAN: PLM

**A.Yu. Khokhlova, A.I. Sergeev**

Orenburg State University, Aerospace Institute, Orenburg

This article discusses the current state of the problems of introducing and using product life cycle support systems in Russian enterprises. The integration of the developed CAD of TP Aluminum-TP 0.1 in LOTSMAN: PLM to support the concept of the information space in the enterprise is proposed.

**Keywords:** CAD TP, aluminum metal rolling, LOTSMAN: PLM, LOTSMAN Client.

Способность к автоматизированному проектированию стала в последние годы ключевой компетенцией в современном машиностроении и строительстве. Наличие собственных систем поддержки жизненного цикла изделий (CAD, CAM, CAE, CAPP, PDM, PLM) отражает уровень развития страны и даже является вопросом национальной безопасности. Меняется традиционный облик промышленного производства.

Многие зарубежные производители, открывающие производство в России, для своих инженерных подразделений выбрали российское программное обеспечение (ПО). С продуктами «Аскон» работают «Даймлер КамАЗ Рус» (совместное предприятие КамАЗа и немецкого автомобилестроительного концерна Daimler), машиностроительный концерн Samozzi, заводы японских компаний Komatsu и Hitachi, многие зарубежные производители автокомпонентов, вышедшие

в последние годы на наш рынок. Российские разработчики систем автоматизированного проектирования участвуют и в международной научной кооперации.

На сегодняшний день не только зарубежные производители начали отдавать свое предпочтение российскому ПО, но и промышленные потребители. Раньше они внедряли системы зарубежных производителей, даже если функционал этих систем был для них избыточен на 50–70 %.

Переход на отечественное ПО реализовали «Гражданские самолеты Сухого» (производитель лайнера Sukhoi Superjet 100), отказавшиеся от AutoCAD в пользу «Компаса» [1]. PLM получил свое уверенное развитие за последние 10–15 лет на западе, а также в Японии и ряде других развитых стран. Начиная примерно с 2010 г., PLM-концепция плавно приходит и в российские предприятия [2].

ЛОЦМАН: PLM содержит всю информацию, необходимую для проектирования, изготовления и эксплуатации продукции машиностроительного предприятия.

На этапе подготовки производства система обеспечивает накопление данных о результатах конструкторско-технологического проектирования и обмен информацией между инженерными службами. Утвержденные данные и документация передаются в другие подразделения для материально-технического обеспечения, производства и эксплуатации выпускаемых изделий.

Источником данных выступают также корпоративные базы данных (справочники) семейства ЛОЦМАН (ЛОЦМАН Клиент, ЛОЦМАН Технолог и т.д.), содержащие справочные данные о материалах и сортаментах, стандартных изделиях и т.д.

Такая организация процессов обработки и хранения информации значительно снижает требования к производительности компьютеров, устанавливаемых на рабочих местах, распределяя вычислительную нагрузку между разными компонентами.

Ввод данных в ЛОЦМАН: PLM осуществляется при помощи передачи информации из систем конструкторско-технологического проектирования, непосредственно из этих клиентских приложений [3]. ЛОЦМАН Клиент – центральный модуль системы ЛОЦМАН: PLM, предназначенный для управления инженерными данными и жизненным циклом изделия. К клиентскому приложению могут быть подключены дополнительные модули, расширяющие его возможности [4].

На основе проведенного ранее анализа [5] было установлено, что уровень автоматизации ряда областей, например, таких как разработка технологического процесса (ТП) механической обработки термоупрочняющихся изделий из алюминиевого металлопроката, остается крайне низким. Системы автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП) в этих областях предлагают пользователю редакторы с не полностью разработанными шаблонами текстов отдельных операций и переходов. Технолог выполняет проектирование ТП при минимальной информационной и интеллектуальной поддержке системы.

Для разрешения данного противоречия была разработана САПР ТП Aluminium-ТП 0.1 – программа для автоматического формирования технологических процессов изготовления деталей алюминиевого, холоднштамповочного производства. Обладает следующими функциями:

- автоматическая генерация последовательностей операционных переходов на основе геометрической модели, выполненной в программе КОМПАС-3D с использованием интеллектуальных инструментов на основе базы знаний;
- наличие базы данных производственного и технологического оснащения;
- предусмотрено ведение справочников и графиков на поверку оснастки;
- вывод данных осуществляется в бланки в соответствии с ГОСТ и СТП [6].

Для интеграции разработанного решения в единое информационное пространство предприятия предлагается внедрить САПР ТП Aluminium-ТП 0.1 в ЛОЦМАН: PLM через клиентское приложение ЛОЦМАН Клиент (рисунок).

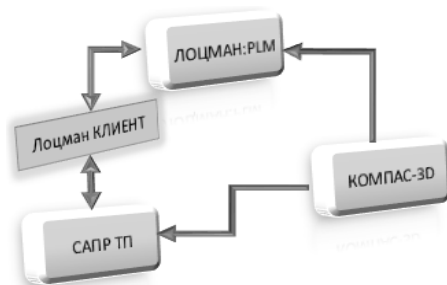


Рис. Интеграция САПР ТП с ЛОЦМАН: PLM

Внедрение САПР ТП Aluminium-ТП 0.1 осуществляется добавлением нового пункта в меню главного окна приложения ЛОЦМАН Клиент, что позволит работать с одной или несколькими базами данных программы ЛОЦМАН: PLM.

Такой подход интегрирования с PLM-системой обеспечивает доступ к разработке с различных отделов и централизованное хранение технологической информации, что является одной из ключевых компетенций в рамках концепции единого информационного пространства предприятия.

### **Библиографический список**

1. Механик А. Продукты должны жить в рынке [Электронный ресурс]. – URL: <http://expert.ru/expert/2017/04/produktyi-dolznyi-zhit-v-rynke> (дата обращения: 12.11.2018).

2. Чеплин М. Внедрение концепции plm на производственных предприятиях – модная тенденция или необходимость? [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.up-pro.ru/library/information\\_systems/project/plm-koncepciya.html](http://www.up-pro.ru/library/information_systems/project/plm-koncepciya.html) (дата обращения: 14.11.2018).

3. Оснач Д., Нырков Н. ЛОЦМАН: PLM – «центральная нервная система» комплекса АСКОН [Электронный ресурс]. – URL: <https://sapr.ru/article/7460> (дата обращения: 14.11.2018).

4. ЛОЦМАН Клиент: руководство пользователя [Электронный ресурс]. – URL: [http://download.ascon.ru/public/Documents/Manual/Вендор%20КОМПЛЕКС/ЛОЦМАН%20PLM/04\\_ЛОЦМАН%20PLM%20Клиент\\_Пользовательская%20документация.pdf](http://download.ascon.ru/public/Documents/Manual/Вендор%20КОМПЛЕКС/ЛОЦМАН%20PLM/04_ЛОЦМАН%20PLM%20Клиент_Пользовательская%20документация.pdf) (дата обращения: 16.11.2018).

5. Хохлова А.Ю., Сергеев А.И. Системный анализ систем автоматизированного проектирования технологических процессов // Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии: материалы VIII Всерос. науч.-прак. конф. – Оренбург, 2017. – С. 666–668.

6. Хохлова А.Ю., Сергеев А.И. Система автоматизированного проектирования технологических процессов изготовления термоупрочняющихся изделий из алюминиевого металлопроката // Автоматизированные системы управления и информационные технологии: материалы всерос. науч.-техн. конф. – Пермь, 2018. – С. 113–116.



### **Сведения об авторах**

**Хохлова Анна Юрьевна** – магистрант кафедры «Системы автоматизации производства» Оренбургского государственного университета, Аэрокосмического института, Оренбург, e-mail: Anna.kh.90@mail.ru

**Сергеев Александр Иванович** – доктор технических наук, доцент кафедры «Системы автоматизации производства» Оренбургского государственного университета, Аэрокосмического института, Оренбург, e-mail: alexandr\_sergeew@mail.ru

### **About the authors**

**Khokhlova Anna Yurevna** – Master Student department of systems of automation of production Orenburg State University, Aerospace institute, Orenburg, e-mail: Anna.kh.90@mail.ru

**Sergeyev Alexander Ivanovich** – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of department of systems of automation in production Orenburg State University, Aerospace institute, Orenburg, e-mail: alexandr\_sergeew@mail.ru

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ ФТАЛЕВОГО АНГИДРИДА

**У.К. Щуклина, М.С. Орехов**

Пермский национально исследовательский  
политехнический университет, Пермь

В статье построена модель регулятора с переменной структурой на примере автоматизированной системы регулирования расхода питательной воды для обогрева фталевого ангидрида колонны дистилляции А-331.

**Ключевые слова:** регулятор с переменной структурой, фталевый ангидрид.

## IMPROVEMENT OF A CONTROL SYSTEM OF PRODUCTION OF PHTHALIC ANHYDRIDE

**U.K. Shchuklina, M.S. Orekhov**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

In this article, a model with a variable structure controller is built using the example of an automated feed water flow rate control system for heating phthalic anhydride of the distillation column A-331.

**Keywords:** variable structure controller, phthalic anhydride.

**Введение.** Автоматизированная система регулирования (АСР) расхода питательной воды для обогрева колонны дистилляции фталевого ангидрида А-331 состоит из одноконтурной системы управления расходом подачи питательной воды в испаритель Е-331 и предохранительного клапана, установленного на линии байпаса в обход испарителя Е-331. Данная АСР представлена на рис. 1. Одноконтурная система управления расходом питательной воды в испаритель Е-331 реализована с помощью датчика перепада давления, регулятора с ПИ законом регулирования и исполнительного механизма. Предохранительный клапан, установленный на линии байпаса в обход испарителя Е-331, служит для сброса воды по линии байпаса в обход испарителя Е-331, для предотвращения роста давления в испарителе Е-331.

Данная АСР нуждается в усовершенствовании в связи с тем, что часто возникают резкие возмущения вследствие пульсации давления в трубопроводе, вызванной работой насосов, которые ПИ-регулятор не

способен своевременно обработать. Тем самым возникает рост давления в испарителе E-331 и, как следствие, срабатывание предохранительного клапана, что приводит к нарушению режима работы испарителя и снижению качества сырья, используемого в дальнейшем.

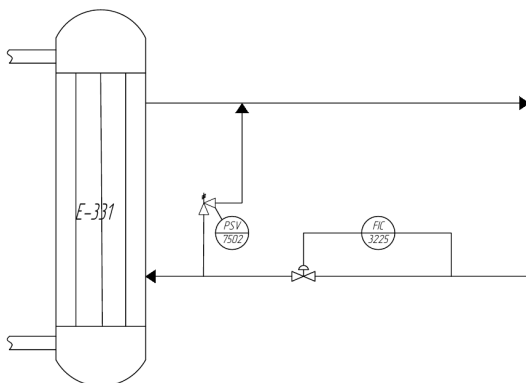


Рис. 1. Структурная схема АСР

**Основная часть.** Предлагается включить в АСР регулятор с переменной структурой (РПС). Такой регулятор, в зависимости от контролируемых возмущающих воздействий, имеет возможность изменить свою структуру и, как следствие, алгоритм управления. РПС дополнительно содержат блок переключения структуры и логическое устройство, осуществляющее переключение структуры. Структура РПС представлена на рис. 2.

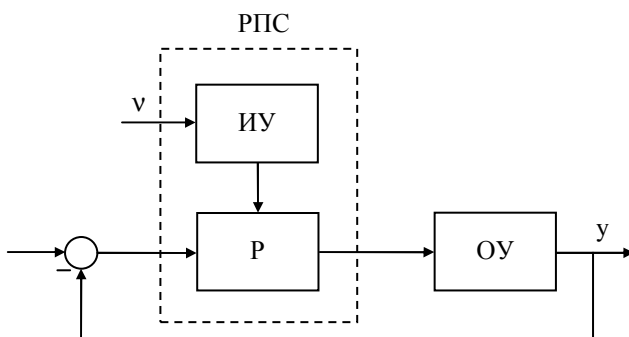


Рис. 2. Структурная схема РПС: ИУ – измерительное устройство, Р – регулятор, ОУ – объект управления

Параметры настройки регулятора, для каждого варианта его структуры, могут рассчитываться различными методами синтеза регулятора, учитывающего, например, внешние возмущения, управляющее воздействие, минимум прямых показателей качества и т.п.

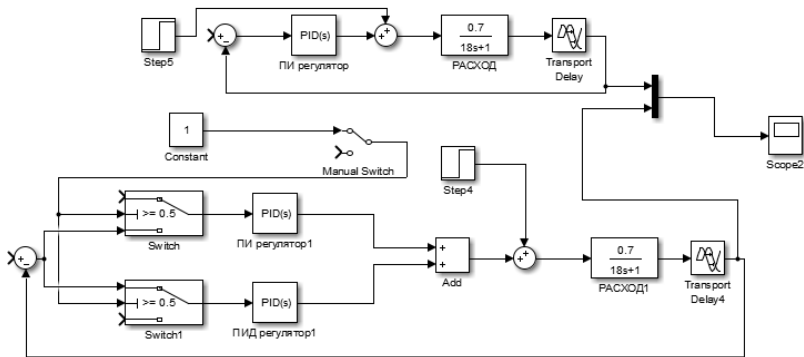


Рис. 3. Модель РПС в MatLab

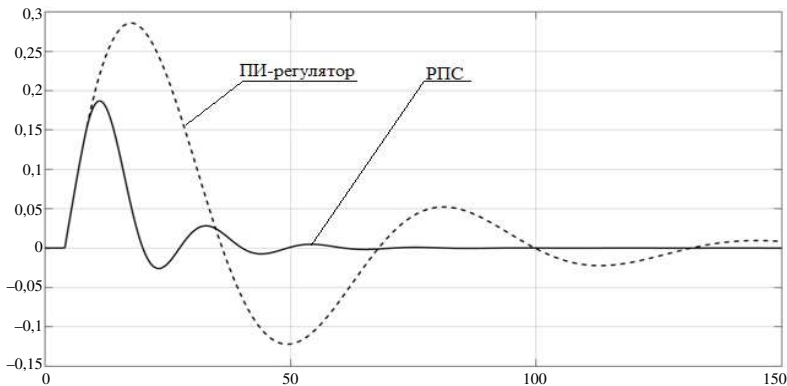


Рис. 4. График обработки возмущения ПИД-регулятора и РПС

Для предлагаемого РПС выбраны два алгоритма регулирования со своими настройками. Параметры первой структуры рассчитаны, исходя из требований наилучшего отработки задающего воздействия, параметры второй – из минимизации динамической ошибки при отработке возмущающих воздействий. Параметры настройки РПС первой структуры:  $K_p = 0,9$ ;  $T_i = 0,25$ . Параметры настройки РПС второй структуры:  $K_p = 5,8$ ;  $T_i = 0,55$ .

С целью улучшения работы РПС в его алгоритм вводят зону нечувствительности по ошибке регулирования. Введение в закон регулирования зоны нечувствительности позволяет повысить устойчивость системы управления, и, кроме того, это приводит к значительному снижению частоты переключения структур, что снижает износ исполнительных механизмов. РПС был смоделирован благодаря среде MatLab (пакет Simulink) с помощью логического блока переключения SWITCH, стандартного блока регулирования PID и сумматора выходных сигналов ADD. На логический блок приходят 2 сигнала: управляющий сигнал и возмущающий сигнал. Логический блок сравнивает значение возмущающего сигнала с константой, которая задается в этом блоке, и в случае, если значение принимает позицию ИСТИНА, то происходит переключение. Переключение происходит между двумя PID-блоками с ПИ-законами регулирования, с разными настройками регулирования для нормального технологического режима и для компенсации возмущений. Модель РПС и график отработки возмущений представлены на рис. 3 и 4 соответственно.

#### Сравнение РПС и обыкновенной АСР

| Показатели качества    | РПС   | АСР   |
|------------------------|-------|-------|
| Время регулирования, с | 17,61 | 33,42 |
| Перерегулирование, %   | 18,7  | 28,6  |
| Степень затухания      | 0,85  | 0,818 |

**Заключение.** Внедрение РПС позволило быстрее реагировать на возмущения в ходе управления технологическим процессом и обрабатывать их. Тем самым улучшилось качество ведения процесса, и снизился риск потери качества сырья.

Введение вторичного ПИ-регулятора позволило мгновенно реагировать на внезапное возмущение роста давления подаваемой питательной воды в испаритель Е-331, тем самым предотвратить рост давления в испарителе Е-331 за счет быстрого отработки уставленного задания регулятора.

Введение регулятора с переменной структурой в АСР приведет к более качественному ведению технологического процесса за счет переключения между двумя ПИ-регуляторами с разными настройками регулирования. Сложность введения регулятора заключается лишь в настройках переключения между регуляторами, которая устранивается за счет точных данных объекта управления.

## Библиографический список

1. Автоматические системы и регуляторы с расширенными функциональными возможностями для непрерывных технологических процессов: в 2 т. Т. 1: Синтез алгоритмов и функциональных структурных схем / А.С. Ключев, А.А. Говоров [и др.]. – М.: Исполсервис, 2004. – 264 с.

2. Регуляторы с переменной структурой для непрерывных технологических процессов с запаздыванием / В.В. Кафаров, В.П. Мешалкин, А.А. Говоров [и др.] // Приборы и системы управления. – 1986. – № 4. – С. 23–26.

3. Микропроцессорные контроллеры АСР с расширенными функциональными возможностями / А.А. Говоров, С.А. Говоров [и др.]. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2003. – 172 с.

4. Автоматическое управление в химической промышленности: учебник для вузов / Е.Г. Дудников, А.В. Казаков, Ю.Н. Софиева, А.Э. Софиев, А.М. Цирлин / под ред. Е.Г. Дудникова. – М.: Химия, 1987. – 368 с.

## Сведения об авторах

**Орехов Михаил Сергеевич** – старший преподаватель кафедры «Оборудование и автоматизация химических производств» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: atp@pstu.ru

**Щуклина Ульяна Константиновна** – студентка Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: ulyanochka59@mail.ru

## About the authors

**Orekhov Mikhail Sergeevich** – Senior Lecturer of the Equipment and automation of chemical industry department Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: atp@pstu.ru

**Shchuklina Ulyana Konstantinovna** – Student Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: ulyanochka59@mail.ru

## ПОСТРОЕНИЕ РЕГРЕССИОННЫХ МОДЕЛЕЙ СВЯЗИ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

**Д.А. Юрков, П.Ю. Сокольчик, С.И. Сташков**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

В данной статье рассмотрены методы построения регрессионных моделей применительно к технологическим процессам и проведена апробация на моделях.

**Ключевые слова:** прогноз, регрессионные модели, технологические параметры.

## PLOTTING OF REGRESSION MODELS OF PARAMETERS CONNECTION IN TECHNOLOGICAL PROCESS.

**D.A. Yurkov, P.Yu. Sokolchik, S.I. Stashkov**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

Methods of plotting reviewed on this article in the context of technological process and models are checked.

**Keywords:** forecast, regression models, technological parameters.

**Введение.** В химической и смежных отраслях промышленности при прогнозе технологических ситуаций, в том числе возможных аварий, выпуска производственного брака, вероятных показателей качества продукции и др., возможно применение модельных зависимостей, характеризующих химико-технологическую систему. Для решения таких задач могут использоваться классические регрессионные многофакторные модели [1]. Один метода получения таких моделей – метод наименьших квадратов, представленный в матричной форме [2], который представляет собой обработку исходных данных, записанных в виде матриц, что позволяет легко формализовать задачу для вычисления на микропроцессорных средствах.

**Теоретические сведения.** Методом наименьших квадратов необходимо найти коэффициенты уравнений регрессии вида:

$$y = b_0x_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_kx_k, \quad (1)$$

где  $x_0$  – фиктивная переменная, равная 1.

Представим исходный статистический материал в матричной форме.

Матрица вида

$$\begin{bmatrix} x_{01} & x_{11} & \dots & x_{k1} \\ x_{02} & x_{12} & \dots & x_{k2} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_{0n} & x_{1n} & \dots & x_{kn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

называется матрицей независимых коэффициентов, а матрица-столбец вида

$$Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} \quad (3)$$

называется вектором наблюдений.

Вводится матрица-столбец коэффициентов

$$B = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_n \end{bmatrix}, \quad (4)$$

которая определяется по формуле

$$B = (X^T X)^{-1} X^T Y. \quad (5)$$

**Получение экспериментальных данных.** Для получения экспериментальных данных сформирована модельная зависимость вида:

$$\begin{cases} y_1 = a_{10} + a_{111}x_1 + a_{112}x_2 + \dots + a_{1211}x_1x_1 + \dots + a_{1277}x_7x_7, \\ y_2 = a_{20} + a_{211}x_1 + a_{212}x_2 + \dots + a_{2211}x_1x_1 + \dots + a_{2277}x_7x_7, \end{cases} \quad (6)$$

имитирующая одно из химических производств нефтехимической направленности, где  $i$  – номер уравнения,  $j$  – номер степени входного параметра,  $k$  – номер входного параметра,  $l$  – номер входного параметра.

Уравнение представлено семью входными параметрами и двумя выходными.

На параметры модели были нанесены случайные воздействия. Так, например, шумы на выходных параметрах имитируют разброс показателей, связанных с дисперсией лабораторных измерений, по-



мехи в измерительных каналах и т.п. шумы на входных параметрах характеризуются разбросом показателей качества исходного сырья, нестабильностью технологических параметров и т.п.

Для модельного эксперимента произведена генерация выборки параметров, имитирующих технологическую ситуацию, глубиной 100 точек.

**Обработка экспериментальных данных.** Произведено нормирование данных по формуле

$$\hat{X}_i = \frac{X_i - m_x}{\sigma_x}, \quad (7)$$

где  $m_x$  – математическое ожидание,  $\sigma_x$  – среднее квадратичное отклонение.

Построение регрессионной модели производилась с применением прикладного пакета MatLab. В результате вычислений получено уравнение регрессии вида:

$$\begin{cases} y_1 = 0,4888 + 0,0238x_1 + 0,0068x_2 + 0,0054x_3 + 0,2617x_4 + \\ \quad + 0,1955x_5 + 0,1986x_6 + (-0,1614)x_7, \\ y_2 = (-0,2543) + (-0,3057)x_1 + (-0,0834)x_2 + 0,0730x_3 + \\ \quad + 0,1957x_4 + 0,0766x_5 + (-0,0086)x_6 + (-0,2314)x_7. \end{cases} \quad (8)$$

Произведена проверка значимости коэффициентов регрессии:

$$t_i = \frac{|b_i|}{S_{\text{ост}} \sqrt{c_{jj}}}, \quad (9)$$

где  $S_{\text{ост}}$  – остаточная дисперсия,  $c_{jj}$  – элементы матрицы моментов  $C$ ,

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nn} \end{bmatrix}, \quad (10)$$

$$C = X^T X, \quad (11)$$

$$S_{\text{ост}}^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (y_k^* - y_k)^2, \quad (12)$$

где  $N$  – количество точек,  $y$  – вектор наблюдений,  $y^*$  – вектор наблюдений, полученный по уравнению регрессии.

Произведена проверка адекватности моделей по критерию Фишера:

$$F = \frac{S_{\text{ост}}^2}{S_{\text{воспр}}^2}, \quad (13)$$

где  $S_{\text{воспр}}^2$  – дисперсия воспроизведения,

$$S_{\text{воспр}}^2 = \frac{1}{N-1} * \sum_{i=1}^N (y - \bar{y})^2. \quad (14)$$

**Заключение.** Полученная регрессионная модель для выбранного примера производства может использоваться для прогноза показателей качества продукции в ходе технологического процесса.

### **Библиографический список**

1. Управление химико-технологическими процессами приготовления многокомпонентных смесей / Я.Е. Гельфанд, Л.М. Яковис, С.К. Дороганич [и др.] / под ред. Я.Е. Гельфанда. – Л.: Химия, 1988. – 288 с.

2. Ахназарова С.Н., Кафаров В.В. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1985. – 327 с.

### **Сведения об авторах**

**Юрков Дмитрий Андреевич** – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: mactepbeka@gmail.com.

**Соколичик Павел Юрьевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудование и автоматизация химических производств» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: psokol@pstu.ru.

**Сташков Сергей Игоревич** – старший преподаватель кафедры «Оборудование и автоматизация химических производств» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: sergey.stashkov@pstu.ru.

### **About the authors**

**Yurkov Dmitry Andreevich** – Student Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: mactepbeka@gmail.com.

**Sokolchik Pavel Urievich** – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor of the Equipment and automation of chemical industry department Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: psokol@pstu.ru.

**Stashkov Sergey Igorevich** – Senior Lecturer of the Equipment and automation of chemical industry department Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: sergey.stashkov@pstu.ru.

## **ПОДБОР ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВЕНТИЛЯЦИЕЙ С УЧЕТОМ НАДЕЖНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК**

**М.А. Братчиков, А.Г. Шумихин, М.С. Орехов**  
Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

Рассмотрены результаты подбора оборудования с учетом требований по обеспечению максимально возможной надежности работы системы регулирования микроклиматических параметров уклонного блока ЗТ-9 нефтешахты №1 «ЯРЕГАНЕФТЬ». Построена надежностьная схема канала регулирования и проведен аналитический расчет, подтверждающий высокую степень надежности выбранного оборудования.

**Ключевые слова:** вентиляция, нефтедобыча, уклонный блок, надежность, повышение надежности.

## **SELECTION OF EQUIPMENT FOR IMPLEMENTATION OF VENTILATION CONTROL SYSTEM WITH ACCOUNT OF RELIABLE CHARACTERISTICS**

**M.A. Bratchikov, A.G. Shumihin, M.S. Orehov**  
Perm National Research Polytechnic University, Perm

The results of equipment selection are considered taking into account the requirements to ensure the maximum possible reliability of the microclimatic parameters control system of the sloping block ЗТ-9 of the petroleum station No 1 "Yareganef". The reliability scheme of the control channel is constructed and an analytical calculation is carried out, confirming the high degree of reliability of the selected equipment.

**Keywords:** ventilation, oil production, an inclined block, reliability, increase of reliability.

Расчёт надежности системы автоматизированного управления необходим для оценки её способности выполнять требуемые функции с безотказностью, удовлетворяющей установленным критериям проектной документации на систему.

Объектом расчета является система регулирования микроклимата шахты. Любая система автоматизированного управления обладает надежностью и имеет определенную вероятность отказов [1].

С точки зрения надежности необходимо выделить три основные функции, реализуемые АСУ ТП: функциональные, информационные, вспомогательные. Элементы АСУ ТП, участвующие в выполнении основных функций системы, размещаются в аппаратных шкафах и функционируют в постоянном режиме. Остановка объекта производится только во время проведения плановых или ремонтных работ.

Для проверки соответствия достигнутого уровня надежности объекта установленным требованиям используется расчетный метод оценки, так как прямое экспериментальное подтверждение невозможно технически и нецелесообразно экономически. В соответствии с основными принципами определения свойств, составляющих надежность выбран структурный метод расчета, основой которого является представление объекта в виде логической схемы, описывающей связанность между состояниями и переходами объекта от одного состояния к другому [2].

Расчет показателей безотказности технической системы в общем случае производится в допущении, что как вся система целиком, так и любой ее элемент могут находиться только в одном из двух возможных состояний – работоспособном и неработоспособном. Состояние системы определяется состоянием и сочетанием элементов, составляющих систему АСР. Значит, расчет безотказности системы сводится к перебору возможных комбинаций состояний элементов и сложению вероятностей работоспособных состояний системы. Представим рассматриваемую АСР в виде надежностной схемы (рис. 1, 2).

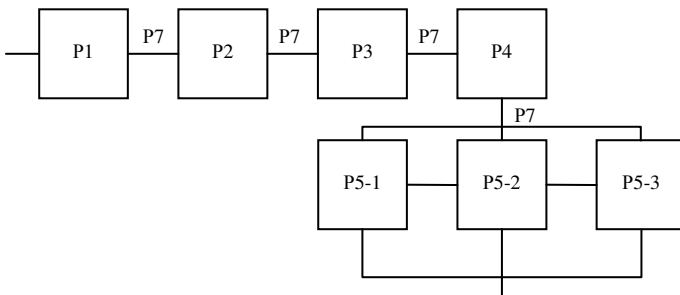


Рис. 1. Надежностная схема регулирования температуры



Рис. 2. Надежностная схема регулирования загазованности

В ходе анализа рынка подобрано оборудование, отвечающее требованиям разрабатываемой системы.

Из представленных марок выбор осуществлялся по повышенной надежности в сравнении с конкурентами. В итоге выбор пал на следующие технические средства, отмеченные на структурных схемах следующим образом: P1 – вероятность безотказной работы датчиков Trolex TX (все датчики имеют идентичные значения наработки на отказ); P2 – вероятность безотказной работы барьера искробезопасности Авантаж БИБ 02I-ГР; P3 – вероятность безотказной работы контроллера Siemens Simatic S7-1200; P4 – вероятность безотказной работы контроллера Siemens Simatic S7-300; P5 – вероятность безотказной работы УКВ; P6 – вероятность безотказной работы УВЦГ; P7 – вероятность безотказной работы работ линии связи.

В системе с последовательным соединением для безотказной работы в течение некоторой наработки необходимо и достаточно, чтобы каждый из ее элементов работал безотказно в течение 2000 ч и выше. Вероятность безотказной работы системы регулирования температуры за время  $t$  рассчитывается по формуле [2]:

$$P(t)_T = P_1(t) \cdot P_2(t) \cdot P_3(t) \cdot P_4(t) \cdot P_5(t) \cdot P_7(t).$$

Системы регулирования загазованности:

$$P(t)_A = P_1(t) \cdot P_2(t) \cdot P_3(t) \cdot P_4(t) \cdot P_6(t) \cdot P_7(t).$$

Для системы, состоящей из разнотипных элементов, работающих при нормальной эксплуатации в установившемся режиме, закон распределения отказов можно считать экспоненциальным. Тогда вероятность безотказной работы определяется по формуле:

$$P_{t_i} = e^{-\lambda \cdot t_i}.$$

Таким образом, полученная вероятность безотказной работы канала регулирования температуры:

$$P(2000)_T = 0,8187 \cdot 0,9802 \cdot 0,9883 \cdot 0,989 \cdot 0,9892 \cdot 0,984 = 0,76349.$$

Канала регулирования загазованности:

$$P(2000)_A = 0,8187 \cdot 0,9802 \cdot 0,9883 \cdot 0,989 \cdot 0,9958 \cdot 0,984 = 0,76858.$$

Полученный результат не удовлетворяет необходимым требованиям. Поэтому для повышения надежности используется холодный резерв чувствительного элемента датчика. С учетом резерва определена надежность:

– канала измерения и регулирования температуры составила:

$$P(2000)_T = 0,96713 \cdot 0,9802 \cdot 0,9883 \cdot 0,989 \cdot 0,9892 \cdot 0,984 = 0,902.$$

– канала регулирования загазованности:

$$P(2000)_A = 0,96713 \cdot 0,9802 \cdot 0,9883 \cdot 0,989 \cdot 0,9958 \cdot 0,984 = 0,90793.$$

Проведенный расчет показал, что надежность контура управления соответствует поставленным требованиям лишь тогда, когда производится резервирование измерительного элемента.

Искомый коэффициент готовности системы составляет 0,99987, что является достаточно высоким показателем и в соответствии с нормативно-технической документацией позволяет вводить объект в действие [3].

### **Библиографический список**

1. ГОСТ 27.003-90 Надежность техники. Состав и общие правила задания требований по надежности // Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс.
2. Теория надежности / А.В. Антонов, М.С. Никулин, А.М. Никулин, В.А.Чепурко. – М.: Инфра-М, 2015. – 576 с.
3. ГОСТ 27.002-2015 Надежность в технике. Термины и определения // Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс.

### **Сведения об авторах**

**Братчиков Максим Александрович** – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: maks-a-96@mail.ru

**Шумихин Александр Георгиевич** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автоматизация технологических процессов» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: shumichin@gmail.com

**Орехов Михаил Сергеевич** – старший преподаватель кафедры «Автоматизация технологических процессов» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: atp@pstu.ru

### **About the authors**

**Bratchikov Maxim Aleksandrovich** – Student Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: maks-a-96@mail.ru

**Shumikhin Alexander Georgievich** – Doctor of Technical Sciences, Professor Head of the Department "Automation of Technological Processes" Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: shumichin@gmail.com

**Orekhov Mikhail Sergeevich** – Senior Lecturer Department of Automation of Technological Processes Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: atp@pstu.ru

## УПРАВЛЕНИЕ РАЗРЕЖЕНИЕМ ХЛОР-ГАЗА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЕДКОГО КАЛИ МЕТОДОМ МЕМБРАННОГО ЭЛЕКТРОЛИЗА

**Р.З. Бурганов**

Березниковский филиал Пермского национального  
исследовательского политехнического университета, Березники

Определена необходимость более точного поддержания перепада давления на мембранах мембранного электролизёра. Предложен способ уменьшения отклонения значения разрежения от заданного значения. Опробована усовершенствованная система регулирования.

**Ключевые слова:** хлор; едкий кали; производство; мембранный электролиз; управление.

## CONTROL OF THE DISCHARGE OF THE CHLORINE WITH THE MANUFACTURE OF THE CAUSTIC POTASSIUM BY METHOD OF MEMBRANE ELECTROLYSIS

**R.Z. Burganov**

Berezniki branch Perm National Research Polytechnic University, Berezniki

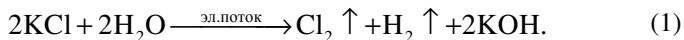
A neediness of more precision pressure drop holding is determined for membrane electrolyze unit. A method for reducing the deviation of the vacuum value from a predetermined value is proposed. An improved control system has been tested.

**Keywords:** chlorine; caustic potash; production; membrane electrolysis; control.

В соответствии с технологическим регламентом [1] и нормами эксплуатации мембран при производстве едкого кали методом мембранного электролиза необходимо поддерживать перепад давления на них в пределах 4,9 ... 5,1 кПа. При чрезмерном колебании давления и реверсирования перепада давления возможно механическое повреждение полупроницаемых мембран и электролизных ячеек, а также снижение срока службы всех элементов электролизеров.

В основу технологического процесса производства хлора и едкого кали методом мембранного электролиза положен электрохимический метод, основанный на пропускании постоянного электрического тока через водный раствор калийной соли, в результате чего происходит его разложение [2]. При этом кроме хлора образуются раствор едкого кали (электролитический шелок) и водород.

Процесс в целом можно выразить следующей реакцией:



Едкое кали и водород образуются на катоде, а хлор – на аноде.

Мембранный электролизер представляет собой последовательность анодов и катодов. Между каждой парой анод/катод установлена гидравлически непроницаемая, ионопроводящая мембрана. Для предохранения полупроницаемых мембран и электролизных ячеек от механического повреждения вследствие чрезмерного колебания давления и реверсивного перепада давления, а также для продления срока службы всех элементов электролизеров производится непрерывный контроль дифференциального давления (перепад давления) между давлением в основном коллекторе влажного хлор-газа и давлением в основном коллекторе влажного водорода. При нормальном режиме электролиза дифференциальное давление (перепад давлений) между давлением в коллекторе влажного хлор-газа и коллектором влажного водорода должен составлять в пределах 4,9 ... 5,1 кПа.

В том случае, если дифференциальное давление между давлением в основном коллекторе влажного хлор-газа и основным коллектором влажного водорода снизится до 4 кПа и менее или повысится до 6 кПа и более, то срабатывает световая предупреждающая сигнализация. Если дифференциальное давление снизится до 3 кПа и менее или повысится до 7,5 кПа и более, то срабатывают звуковая сигнализация и блокировка на отключение электролизеров.

В коллекторе влажного хлор-газа поддерживается постоянное разрежение на заданном значении путем применения одноконтурной системы регулирования. В коллекторе водорода поддерживается постоянное давление на заданном значении путем применения одноконтурной системы регулирования (рис. 1).

Поскольку перепад давления на мембране электролизера определяется как разность давлений в коллекторе водорода и давления в коллекторе хлор-газа, необходимо установить величины разброса давлений водорода и хлора. Разброс этого параметра невелик.

На рис. 2 приведен тренд изменения разрежения в коллекторе хлор-газа. На рисунке можно видеть, что разброс параметра значителен. Следовательно, необходимо улучшить качество регулирования разрежения хлор-газа и тем самым добиться улучшения стабильности параметра перепада давления в основном коллекторе влажного хлор-газа и давления в основном коллекторе влажного водорода.



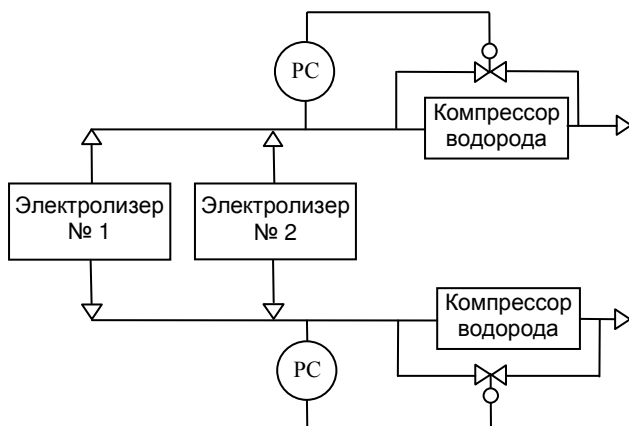


Рис. 1. Схема регулирования давления водорода и разрежения хлор-газа

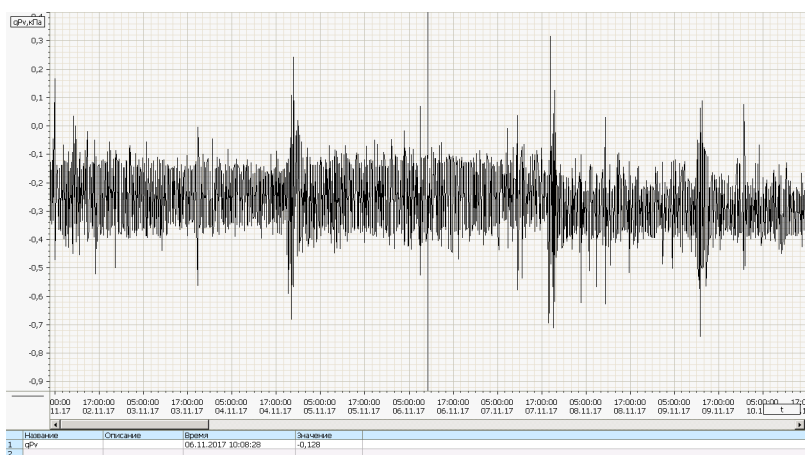


Рис. 2. Изменение давления в коллекторе хлор-газа

Можно сделать вывод, что существующая система регулирования разрежения хлора работает недостаточно эффективно. Это может быть обусловлено тем, что к коллектору хлора кроме электролизеров подключены другие технологические аппараты. Нестабильное протекание технологических процессов в них и изменение технологических параметров оказывают влияние на разрежение в коллекторе хлора, т.е. являются возмущениями для системы регулирования.

Кроме того, расстояние между точкой отбора давления хлора и регулирующим органом составляет около 40 м. Это вносит значительное запаздывание, что ухудшает работу системы регулирования. Кроме этого точка отбора давления хлора установлена на коллекторе хлора и является одной для обоих электролизеров. Расстояние между точкой отбора давления хлора и электролизером также имеет значительное расстояние. Это приводит к отличию показаний прибора по сравнению с приборами, установленными у электролизера.

Для устранения указанных недостатков была разработана усовершенствованная система регулирования, предполагающая установку стабилизирующих контуров регулирования разрежения хлор-газа для каждого электролизера (рис. 3).

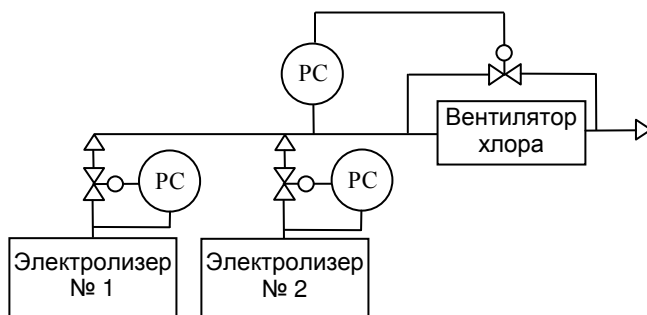


Рис. 3. Предложенная схема регулирования давления водорода и разрежения хлор-газа

Преобразователи давления устанавливаются в непосредственной близости от каждого электролизера. Таким образом, устраняется запаздывание в системе регулирования и повышается качество регулирования. Также в значительной мере снижается взаимное влияние электролизеров по разрежению хлор-газа. По результатам испытаний получен тренд изменения разрежения хлор-газа. Разброс значений разрежения хлор-газа значительно снизился.

Для реализации описанной системы регулирования необходимо выбрать технические средства. Средства измерения и регулирования для процесса электролиза должны удовлетворять следующим требованиям: обеспечение требуемой точности измерения, обеспечение высокой надежности средства измерения, обеспечение работы приборов в условиях агрессивных сред, приборы должны быть устойчивы к из-

меряемым средам, а также такие приборы должны уже эксплуатироваться в цехе. Такими условиями являются агрессивные среды: растворы КОН, растворы КСl, хлор в газообразном состоянии и в виде конденсата, а также высокая напряженность электромагнитного поля.

Реализации выбранной системы регулирования с учетом указанных требований удовлетворяют следующие приборы:

- основной коллектор влажного хлор-газа – преобразователь давления Endress+Hauser Cerabar S PMP75. Диапазон измерения – от –2 до 4 кПа;

- давление водорода – преобразователь давления Endress+Hauser Cerebar S PMP 71. Диапазон измерения от –1 до 8 кПа;

- исполнительное устройство Samson Dy 300 с позиционером.

В качестве управляющего устройства используется промышленный контроллер Simatic S7-300. Этот контроллер зарекомендовал себя как надежное высокотехнологичное средство управления технологическим процессом. В состав контроллера входят:

- модуль процессора CPU 315,

- модуль аналогового ввода SM331,

- модуль аналогового вывода SM332,

- блок питания SITOP Smart 10 A.

Для вычисления перепада давлений используются вычислительные возможности применяемой SCADA системы WinCC. Эта система применяется для визуализации технологического процесса.

**Заключение.** В результате проведения работы проанализированы и определены причины нестабильности перепада давлений в основном коллекторе влажного хлор-газа и основным коллектором влажного водорода. Предложены мероприятия по повышению качества регулирования. Опробование усовершенствованной системы регулирования показало ее преимущества перед существующей.

### **Библиографический список**

1. Временный технологический регламент производства хлора и едкого кали методом мембранного электролиза (утв. 2013 г. генеральным директором ООО «Сода-хлорат»). – 533 с.

2. Делимарский Ю.К. Электролиз. Теория и практика. – Киев: Техника, 1982. – 167 с.

3. Микропроцессоры в химической промышленности / Р.И. Батырев, Б.Ф. Зарецкий, М.М. Эленбоген [и др.]. – М.: Химия, 1988. – 136 с.

4. Беккер В.Ф. Решение технологических проблем действующего производства средствами автоматизации. Т. 1. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2012. – 312 с.

5. Кирин Ю.П., Затонский А.В., Беккер В.Ф. Построение моделей динамики сложных технологических объектов в позиционных системах управления // Вестник Магнитогор. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. – 2009. – № 3. – С. 25–28.

### **Сведения об авторах**

**Бурганов Ренат Зуфьярович** – студент Березниковского филиала Пермского национального исследовательского политехнического университета, Березники.

**Беккер Вячеслав Филиппович** – кандидат технических наук, профессор кафедры «Автоматизация технологических процессов» Березниковского филиала Пермского национального исследовательского политехнического университета, Березники, e-mail: bekker@bf.pstu.ru .

### **About the authors**

**Burganov Renat Zufyarovich** – Student Berezniki branch Perm National Research Polytechnic University, Berezniki.

**Bekker Vyacheslav Filippovich** – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor of the Department "Automation of Technological Processes" Berezniki Branch Perm National Research Polytechnic University, Berezniki, e-mail: bekker@bf.pstu.ru.

## **РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНОГО МЕТОДА ХРАНЕНИЯ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ В ДОКУМЕНТООРИЕНТИРОВАННОЙ БАЗЕ ДАННЫХ**

**И.А. Шмидт, А.П. Попов**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

Статья посвящена разработке оптимального метода хранения временных рядов в документоориентированной базе данных. Поскольку существующие методы не позволяют добиться требуемого уровня производительности СУБД, автором предложен новый подход к организации модели данных для хранения временных рядов. Использование предложенного подхода позволяет значительно повысить скорость работы СУБД при выполнении операций записи и чтения, а также уменьшить размер самого хранилища.

**Ключевые слова:** временной ряд, документоориентированная СУБД, оптимизация, mongoDB.

## **DEVELOPMENT OF THE OPTIMAL TIME SERIES STORING TECHNIQUE IN A DOCUMENT DATABASE**

**I.A. Shmidt, A.P. Popov**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

The article is devoted to development of the optimal time series storing technique in a document database. Author suggests a new approach to data model organization for time series storing, since existing techniques doesn't meet requirements in DBMS performance level. The use of the proposed approach allows improving DBMS performance dramatically in running writing and reading operations, and also decreasing the database size.

**Keywords:** time series, a document DBMS, optimization, mongoDB.

**Введение.** Постоянно возрастающие объемы информации требуют применения новых прогрессивных технологий для организации систем хранения. Одним из самых распространенных видов данных, получаемых в современном мире, являются временные ряды. Временным рядом называются наборы значений, имеющих привязку к отметке измерения и располагающихся в четкой хронологической последовательности, при этом значения, относящиеся к одной отметке времени, называются кадром. Примерами временных рядов являются данные метеонаблюдений, ЭЖГ, биржевые сводки и др.

В настоящее время существует несколько подходов к организации систем хранения временных рядов. Ранее проведенные исследования показали, что использование реляционных СУБД для построения таких хранилищ не рационально [1]. Для этих задач рекомендуется использовать NoSQL-решения, например, документоориентированные базы данных. Модель данных подобных хранилищ позволяет объединять множество пар «ключ–значение» в абстракцию, называемую «документ».

В данной работе рассмотрены методы организации структуры «документов» для хранения временных рядов с точки зрения оптимизации производительности работы СУБД. Для реализации полученных решений используется документоориентированная СУБД mongoDB.

**Структура хранения данных в документоориентированной СУБД.** Большинство документоориентированных СУБД для хранения данных используют формат JSON. MongoDB не является исключением, в ней применяются формат BSON, двоичное представление JSON. Документы могут иметь вложенную структуру и объединяются в коллекции [2]. На данный момент существует несколько способов представления временных рядов в виде документов. Давайте рассмотрим некоторые из них:

1. Реляционный метод хранения. Если мы воспользуемся реляционным методом представления документа, т.е. представим кадр в виде строки таблицы и реализуем этот формат в документоориентированной СУБД, то мы будем хранить каждый набор значений (кадр) в отдельном документе (рис. 1) [3].

Хотя этот подход реализуем в mongoDB, он не использует всех особенностей документоориентированной модели данных [2, 3]. Напротив, он больше подходит к применению в реляционных СУБД, а не в документоориентированных.

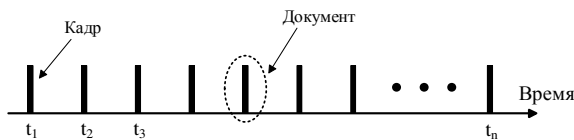


Рис. 1. Реляционный метод хранения

2. Документоориентированный метод хранения. По своей реализации данный метод является полной противоположностью предыдущему. При таком подходе к организации модели данных в одном

документе будут храниться все кадры, принадлежащие одному временному ряду в виде массива (рис. 2). Документоориентированный подход реализует вложенную структуру документов в MongoDB [3].

Однако на практике этот метод имеет ряд ограничений, одним из которых является наличие фиксированного максимального размера документа. Поэтому если размер временного ряда превышает это значение, то его разбивают на несколько частей и записывают в разные документы.

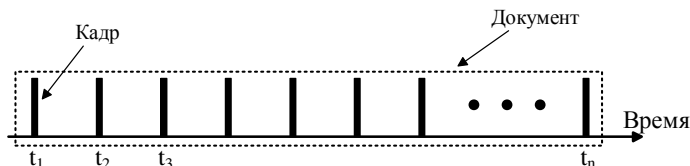


Рис. 2. Документоориентированный метод хранения

### Оптимизация документоориентированного метода хранения.

Описанный выше документоориентированный метод хранения временных рядов обладает рядом преимуществ перед реляционным. Однако он имеет один существенный недостаток – низкую скорость считывания данных.

Поскольку чтение одного большого документа занимает много времени, то скорость считывания данных можно увеличить, уменьшив количество кадров, записываемых в документ, однако это может отразиться на скорости записи. В связи с этим встает вопрос о нахождении такого размера документа (количества кадров временного ряда, хранимых в одном документе), при котором будет обеспечиваться оптимальная скорость записи и считывания данных.

При использовании данного метода временной ряд разделяется на несколько частей оптимального размера, каждая из которых хранится в отдельном документе (рис. 3).

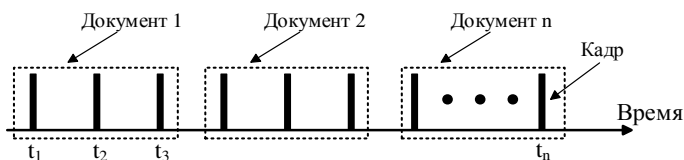


Рис. 3. Оптимальный метод хранения

Для подтверждения эффективности этого метода и нахождения оптимального количества кадров в документе был проведен эксперимент, в рамках которого для исходного временного ряда, содержащего порядка 1 млн кадров со 121 параметром в каждом, был определен такой размер документа, при котором обеспечивались оптимальные скорость записи и считывании данных, а также размер базы данных.

**Результаты эксперимента.** На рис. 4 представлена зависимость времени выполнения операции считывания от количества кадров, хранимых в одном документе.

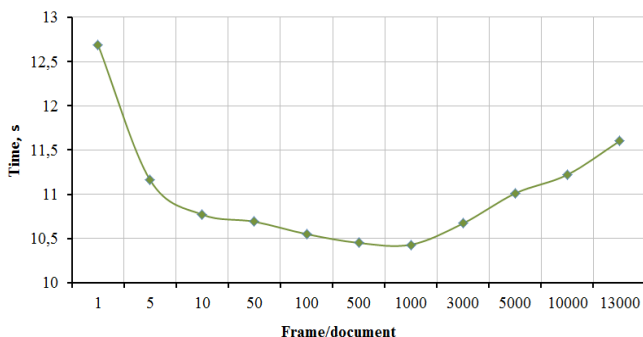


Рис. 4. Зависимость времени считывания от размера документа

Время, затрачиваемое на считывание данных, можно разделить на две составляющие: время доступа к документу на дисковой подсистеме и время считывания самого документа. С одной стороны, при наличии большого количества документов увеличивается частота обращений к дисковой подсистеме, которая обладает низкой производительностью. С другой стороны, при увеличении размера документа резко возрастает время на его чтение из-за наличия сложноорганизованной вложенной структуры. По графику видно, что минимальное время считывания данных достигается при хранении 1000 кадров в документе, т.е. при данном размере документа обеспечивается оптимальное соотношение времени доступа к данным и времени их считывания.

На рис. 5 представлена зависимость времени выполнения операции записи от количества кадров, хранимых в одном документе. По графику видно, что уменьшение времени выполнения записи достигается увеличением количества кадров в документе из-за особенностей заполнения документоориентированной структуры данными.



Оптимальное время записи достигается при размере документа в 3000 кадров. Дальнейшее увеличение количества кадров в документе не приводит к повышению производительности.

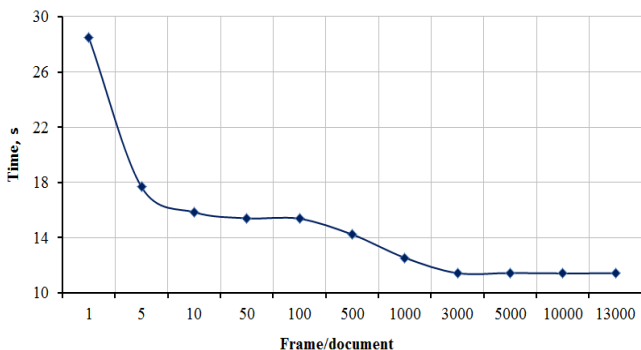


Рис. 5. Зависимость времени записи от размера документа

На рис. 6 представлена зависимость размера базы данных от количества кадров, хранимых в одном документе.

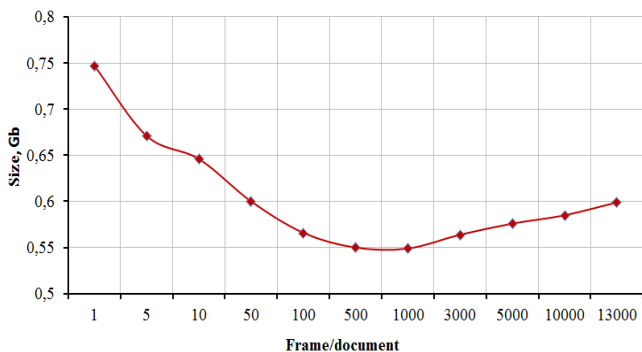


Рис. 6. Зависимость размера БД от размера документа

В mongoDB имеется фиксированный минимальный размер документа [2], и неважно, занимают ли хранимые данные этот объем памяти или нет. На графике видно, что увеличение количества кадров в документе повышает эффективность использования памяти. Однако при хранении большого количества кадров в одном документе наблюдается увеличение размера БД из-за нерационального использования памяти вложенной структурой.

**Заключение.** В настоящей работе рассмотрены вопросы хранения временных рядов в документоориентированной базе данных. Для повышения уровня производительности СУБД был предложен новый подход, в рамках которого предлагается разделять временные ряды на несколько документов оптимального размера. Для подтверждения этой гипотезы был проведен эксперимент, который показал, что использование предложенного подхода позволяет значительно повысить эффективность работы СУБД, а именно:

- сократить время записи до 125 %;
- сократить время считывания на 11–22 %;
- уменьшить размер базы данных на 10–35 %.

### **Библиографический список**

1. Schmidt I. Storing Data in the Trial of Complex Technical Products // Proceedings of the 2nd International Conference on Applied Innovations in IT. – 2014. – Vol. 1. – Iss. 2. – P. 85–87. DOI: 10.13142/kt10002.14
2. Бэнкер К. MongoDB в действии. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 395 с.
3. Schema Design for Time Series Data in MongoDB [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.mongodb.com/blog/post/schema-design-for-time-series-data-in-mongodb> (дата обращения: 07.05.2018).

### **Сведения об авторах**

**Шмидт Игорь Альбертович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Микропроцессорные средства автоматизации» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: [shmidt@msa.pstu.ac.ru](mailto:shmidt@msa.pstu.ac.ru)

**Попов Александр Павлович** – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: [apopov2106@gmail.com](mailto:apopov2106@gmail.com)

### **About the authors**

**Schmidt Igor Albertovich** – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor Department of Microprocessor Automation Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: [shmidt@msa.pstu.ac.ru](mailto:shmidt@msa.pstu.ac.ru)

**Popov Alexander Pavlovich** – Student Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: [apopov2106@gmail.com](mailto:apopov2106@gmail.com)

**Секция 3**

**ИННОВАЦИОННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ.  
ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

## СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

**Д.Р. Абашев<sup>1</sup>, Е.В. Чабанова<sup>1</sup>, Е.А. Чабанов<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Волжский государственный университет водного транспорта (Пермский филиал), Пермь

<sup>2</sup>Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь

В статье рассмотрены современные проблемы электроэнергетики. Описаны проблемы дефицита энергетических ресурсов, загрязнения окружающей среды, неравномерного распределения энергоресурсов. Предложено производство вспомогательных и альтернативных топливных ресурсов как вариант замещения используемых энергетических ресурсов.

**Ключевые слова:** энергосбережение, энергозамещение, энергоресурсы, энергетика.

## MODERN ELECTRIC POWER INDUSTRY PROBLEMS AND THEIR SOLUTIONS

**D.R. Abashev<sup>1</sup>, E.V. Chabanova<sup>1</sup>, E.A. Chabanov<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Volga State University of Water Transport (Perm branch), Perm

<sup>2</sup>Perm National Research Polytechnic University, Perm

This article considers modern problems of electric power industry. The problems of shortage of energy resources, environmental pollution, and uneven distribution of energy resources are described. Production of auxiliary and alternative fuel resources as a variant of substitution of the used energy resources is offered.

**Keywords:** energy saving, energy substitution, energy resources, energy.

Энергетика – один из основных факторов развития всех отраслей промышленности, транспортной сферы, коммунального и сельского хозяйства, повышения производительности труда и благосостояния населения. Одним из основных условий существования человечества является наличие и потребление энергии, т.е. базовым условием удовлетворения потребностей человека, тем, что может улучшить качество условий жизни, является наличие энергии. Человеческая цивилизация развивается параллельно с открытием и развитием новых источников энергии, методов преобразования энергии, и увеличением потребления энергии.

Сегодня энергетика – это основа развития промышленности, которая, в свою очередь, определяет прогресс общества. Промышленно-развитые страны всегда «делали ставку» на энергетику. Однако энергетика является одним из источников отрицательного влияния на экологию и человека. Она оказывает влияние на такие оболочки земли, как:

- 1) атмосфера (сжигание кислорода и выбросы газа, влаги, а также твердых частиц);
- 2) гидросфера (расходование воды, искусственные водохранилища, сброс загрязненных вод);
- 3) литосфера (расходование топлива, внесение изменений в ландшафт) [1].

Рассматривая данный вопрос, можно говорить о трех проблемах электроэнергетики, которые в большей мере влияют на общество и затрагивают развитие цивилизации:

1. Нехватка энергоресурсов и электроэнергетики в частности;
2. Ухудшение состояния окружающей нас среды (техногенное воздействие самого человека, работающего на предприятиях энергетики);
3. Геополитические и социальные угрозы (основанные на отношениях).

Первая проблема – одна из самых важных, так как она связана с природными ресурсами, а именно с дефицитом энергетических ресурсов. Они являются невозобновляемыми и, в конце концов, могут закончиться (из всего числа полезных ископаемых, а именно 80 % используются для получения электроэнергии).

Для того чтобы сохранить и повысить электрообеспеченность, рассматривают 2 способа решения данной проблемы:

- 1) поиск и разработка новых энергоресурсов;
- 2) энергосбережение и повышение энергоэффективности [2].

Страны, испытывающие дефицит энергии, в основном вынуждены тратить часть своего ВВП на приобретение энергоресурсов, что негативно влияет на социальную и экономическую сферу страны. К тому же такие страны, к сожалению, остаются уязвимыми для политических и социальных катаклизмов по сравнению со странами, которые имеют в избытке энергоресурсы. С одной стороны, можно сказать, что у энергоисбыточных стран нет проблем, но это не так. Страны, богатые энергоресурсами, могут зависеть от своих ресурсов, что может обернуться для них зависимостью природной ренты, и в результате этого ослабевает стимул инновационного развития.

Вторая проблема связана с загрязнением окружающей среды. Она проявляется постепенно с использованием энергетики.

К основным результатам воздействия энергетики на окружающую среду можно отнести следующие:

1. Недра Земли являются объектом получения энергии (исчерпаемость природных ресурсов);
2. Атмосфера загрязняется (в атмосферу выделяются частички газа и пыли);
3. Гидросфера загрязняется (загрязняются водные ресурсы Земли, вредные вещества выбрасываются в воду);
4. Литосфера загрязняется во время транспортировки энергоносителей и при захоронении отходов;
5. Загрязнение территорий из-за захоронения радиоактивных отходов;
6. Гидрологический режим рек нарушается в связи со строительством гидроэлектростанций [5].

Все это негативно влияет на климат окружающей среды, происходит изменение температуры, а именно ее повышение, и на погоду, в результате чего появляется аномальная нестабильность. Аварии на энергетических объектах зачастую стали приобретать черты техногенных катастроф, примером служит катастрофа на «Фукусима-1».

Третья проблема связана с распределением энергоресурсов на Земле. Многие страны, не получившие источников энергии, испытывают ее дефицит и в результате получают:

- 1) насилие (передел энергетических ресурсов всеми способами);
- 2) неконтролируемую миграцию населения;
- 3) социальный взрыв (ухудшение условий жизни) [3].

Вместе с тем, говоря о проблеме большего потребления энергии, следует отметить, что для некоторых стран должна быть решена еще одна немаловажная задача – стабилизация численности населения.

Итак, потребление энергии на душу населения в мире обнаруживает явную тенденцию к стабилизации. Следует отметить, что этот процесс начался еще около 25 лет тому назад, т.е. задолго до нынешних спекуляций на глобальном изменении климата. Это явление впервые наблюдали еще в начале периода перехода к индустриализации, где энергия была главным потребляемым ресурсом. Указанный факт имеет важное значение, поскольку в результате увеличения общего потребления энергии в мире личное потребление растет более медленными темпами.

Эксперты приходят к выводам, что решением проблем удовлетворения возрастающих потребностей человека можно назвать реализацию концепции по энергосбережению и энергозамещению вкупе с повышением объема добычи природных ресурсов и привлечением таких топливных ресурсов, как вспомогательный и альтернативный [4].

Концепцией энергосбережения является повышение эффективности работы с энергоресурсами на всех этапах, включая поиск, разведку, добычу, производство, транспортировку до потребителя, распределение и потребление.

### **Библиографический список**

1. Мананков А.В. Геоэкология. Методы оценки загрязнения окружающей среды: учебник и практикум для акад. бакалавриата [Электронный ресурс]. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Юрайт, 2018. – 209 с. – (Сер. Университеты России). – URL: <https://biblio-online.ru/book/geoekologiya-metody-ocenki-zagryazneniya-okruzhayushey-sredy-423939> (дата обращения: 08.12.2018).

2. Ушаков В.Я. Возобновляемая и альтернативная энергетика: ресурсосбережение и защита окружающей среды: монография. – Томск: СибГрафик, 2011. – 138 с.

3. Федеральный закон от 23.11.2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении...» [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_93978/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_93978/) (дата обращения: 06.12.2018).

4. Энергетика и перспективы ее развития [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.youtube.com/watch?v=NbAJlw5jPqk> (дата обращения: 08.12.2018).

5. Энергетика. Экологические проблемы [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.youtube.com/watch?v=BJrkkQaYyYY> (дата обращения: 08.12.2018).

### **Сведения об авторах**

**Абашев Данис Раисович** – студент 2-го курса специальности 26.05.07 «Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики» Пермского филиала Волжского государственного университета водного транспорта, Пермь, e-mail: [abashev.danis@yandex.ru](mailto:abashev.danis@yandex.ru)

**Чабанова Евгения Владимировна** – кандидат педагогических наук, доцент, заведующая кафедрой «Гуманитарные дисциплины»,

Пермского филиала Волжского государственного университета водного транспорта, Пермь, e-mail: jentosina@yandex.ru

**Чабанов Евгений Александрович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электротехника и электромеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, доцент кафедры «Технические дисциплины» Пермского филиала Волжского государственного университета водного транспорта, Пермь, e-mail: ceapb@mail.ru

#### **About the authors**

**Abashev Danis Raisovich** – 2nd year student of the specialty 26.05.07 “Operation of shipboard electrical equipment and automation equipment”, Perm branch of Volga State University of Water Transport, Perm, e-mail: abashev.danis@yandex.ru

**Chabanova Evgeniya Vladimirovna** – Ph.D. in Pedagogical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Humanities Perm branch of Volga State University of Water Transport, Perm, e-mail: jentosina@yandex.ru

**Chabanov Evgenii Aleksandrovich** – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor Department of Electrical Engineering and Electromechanics Perm National Research Polytechnic University, Perm, Associate Professor, Department of Technical Disciplines Perm branch of Volga State University of Water Transport, Perm, e-mail: ceapb@mail.ru



## НЕФТЕБАЗЫ

**И.Р. Абыев**

Российский государственный университет нефти и газа (Национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина, Москва

Дан обзор нефтебазы, а также представлены классификация нефтебаз и методы строительства. На сегодняшний день данная тема актуальна, так как при строительстве нефтебаз учитываются многие факторы.

**Ключевые слова:** нефтебазы, классификация нефтебаз.

## STORAGE DEPOT

**I.R. Abyev**

Russian State University of Oil and Gas (National Research University)  
named after I.M. Gubkin, Moscow

The article is devoted to the review of the tank farm, as well as their classification and construction method. To date, this topic is relevant, since many factors are taken into account in the construction of oil depots.

**Keywords:** oil depots, classification of oil depots.

Развитие транспорта связано со значительным ростом потребления нефти, нефтепродуктов и газа. Промышленность, транспорт и сельское хозяйство потребляют около 200 сортов нефтепродуктов в виде топлив и масел. Газ используют в металлургии, на электростанциях, в двигателях внутреннего сгорания как наиболее дешевый вид топлива. Бесперебойная работа всех отраслей народного хозяйства зависит от своевременной поставки нефтепродуктов. Доставка и распределение нефтепродуктов осуществляются трубопроводным, водным, железнодорожным и автомобильным транспортом, а также сетью нефтебаз, газохранилищ, раздаточных станций. Каждый вид транспорта используется в зависимости от развития соответствующих транспортных путей, объема перевозок, характера нефтегрузов, расположения нефтепромыслов, нефтеперерабатывающих заводов, нефтебаз и основных потребителей. При этом во всех случаях выбора вида транспорта преследуется цель – при минимальных затратах сократить сроки доставки нефти и нефтепродуктов. При выборе вида

транспорта во внимание принимаются как его недостатки, так и преимущества. Нельзя пренебрегать и такими факторами, как сезонность работы и расстояние перевозки. Например, водным транспортом, который дешевле железнодорожного, можно перевозить только в навигационный период, автомобильным (в некоторых районах) – до наступления распутицы, а железнодорожным и трубопроводным – практически круглый год. При перевозках нефтепродуктов на короткие расстояния целесообразно использовать автомобильный транспорт.

Современная нефтебаза – это сложное и многообразное хозяйство. Оно включает резервуарные парки, разветвленную сеть трубопроводов, насосное оборудование, наливное и сливное оборудование, лаборатории анализа качества нефтепродуктов. От правильного проектирования и эксплуатации нефтебазы зависит её эффективность. Нефтебазами называют предприятия, состоящие из комплекса сооружений и установок, предназначенных для приема, хранения и отпуска нефтепродуктов потребителям.

По назначению нефтебазы бывают самостоятельными предприятиями, производящими прием, хранение и отпуск нефтепродуктов потребителям, и входящими в состав промышленных, транспортных и других предприятий, предназначенных для снабжения этих хозяйств.

Технологические процессы, осуществляемые на нефтебазах, подразделяются на основные и вспомогательные процессы.

К основным технологическим процессам относят:

- прием нефтепродуктов на нефтебазу;
- хранение нефтепродуктов в резервуарах и складах;
- налив нефтепродуктов в железнодорожные цистерны, нефтеналивные суда или перекачку по трубопроводам;
- отпуск нефтепродуктов потребителям в автоцистерны, бочки.

К вспомогательным процессам относят:

- очистку и обезвоживание (осветление) нефтепродуктов;
- регенерацию отработавших масел.

Нефтебазы представляют большую опасность в пожарном отношении. Наиболее пожароопасными объектами являются резервуары. Поэтому за критерий пожароопасности нефтебаз принят суммарный объем резервуарного парка. Его величина, а также максимальный объем одного резервуара  $V_{p,max}$  положены в основу деления нефтебаз на категории:

- I – общий объем резервуарного парка свыше 100 000 м<sup>3</sup>;

- II – общий объем резервуарного парка свыше 20 000 м<sup>3</sup> по 100 000 м<sup>3</sup>;
- IIIа – общий объем резервуарного парка свыше 10 000 м<sup>3</sup> по 20 000 м<sup>3</sup>,  $V_{p.max} = 5000 \text{ м}^3$ ;
- IIIб – общий объем резервуарного парка свыше 2 000 м<sup>3</sup> по 10 000 м<sup>3</sup>,  $V_{p.max} = 2000 \text{ м}^3$ ;
- IIIв – общий объем резервуарного парка до 2 000 м<sup>3</sup> включительно,  $V_{p.max} = 700 \text{ м}^3$ .

В зависимости от категории нефтебаз строительными нормами и правилами устанавливаются минимально допустимые (с точки зрения пожарной безопасности) расстояния до соседних объектов, например, расстояние от нефтебаз I категории до жилых и общественных зданий должно быть не менее 200 м, а от нефтебаз II и III категории – не менее 100 м.

При выборе района для строительства нефтебазы необходимо учитывать следующее:

1. Расстояние от крупных потребителей нефтепродуктов до нефтебазы должно быть наименьшим.

2. Рельеф площадки должен обеспечивать наиболее рациональное расположение всех сооружений нефтебазы. При размещении резервуарного парка необходимо иметь колонки для заправки автоцистерн и эстакады для налива железнодорожных цистерн.

3. Не должно быть оползней; допускаемая нагрузка на грунт должна обеспечивать прочность возводимых сооружений. По химическому составу грунт не должен вызывать интенсивной коррозии при нормальной изоляции. Высота уровня грунтовых вод не должна превышать допускаемых пределов.

4. Расстояния от нефтебазы до границ соседних предприятий, поселков должны быть не меньше 100 – 200 м. Вне территории нефтебазы допускается насаждение садов, огородов, лиственных деревьев и размещение открытых складов негорючих материалов, при этом возле ограждения нефтебазы необходимо оставлять свободные полосы шириной 10 м.

5. При расположении нефтебаз поблизости от реки их необходимо размещать по течению реки ниже гидроэлектростанций, гидротехнических сооружений, судостроительно-ремонтных заводов; мостов, пристаней и речных вокзалов на расстоянии не менее 300 м.

6. При сооружении причалов на водных нефтебазах необходимо обеспечить достаточную для подхода судов глубину примыкающей акватории реки и возможно меньшую длину трубопроводов от причала к емкостям нефтебазы.

7. Подъездные железнодорожные пути нефтебазы должны иметь наименьшую длину и выдерживать радиусы закруглений не менее 250 м.

8. Относительно городов и жилых поселков нефтебазы должны располагаться так, чтобы пары нефтепродуктов при господствующих ветрах не относились на жилые дома, котельные.

9. Вблизи территории нефтебаз должны быть хорошие грунтовые или шоссейные дороги, соединяемые с внутрибазовыми дорогами проездами шириной не менее 6 м.

10. Необходимо обеспечить снабжение нефтебазы электроэнергией и водой для производственных и бытовых нужд.

11. При отводе участка следует предусматривать возможность дальнейшего расширения нефтебазы.

Нефтебазы строятся в зависимости от своего назначения. Перевалочные нефтебазы обычно строятся на транспортных магистралях водного, железнодорожного и трубопроводного транспорта на пути основного грузового потока нефти. Например, в XIX и XX веках основные грузопотоки нефти и нефтепродуктов шли по Волге и северным рекам Сибири. Поэтому большинство нефтебаз располагалось именно на берегах этих рек в крупных перевалочных центрах – Астрахани, Волгограде, Саратове, Самаре, в Нижнем Новгороде и т.д. Воротами этого грузопотока являлась Астрахань, поэтому в этом перевалочном пункте было сосредоточено 5 крупнейших нефтебаз 1-й и 2-й категории. Распределительные нефтебазы строятся приближенно к пунктам наибольшего потребления нефтепродуктов, связанных с водными и железнодорожными магистралями и продуктопроводами.

Выбор площадок под строительство нефтебаз – очень ответственная задача, поскольку нефтебазы являются не только связующими центрами в экономических районах, но и техногенными объектами в части экологической и пожарной опасности. Выбор площадки под строительство нефтебаз осуществляется специальной комиссией, в которой участвуют представители административных органов, органов технического, экологического и противопожарного надзора (МЧС) и представители транспортных магистралей и владельцев существующих инженерных сетей.

Так, например, нефтебазы вблизи населенных пунктов выбираются с учетом направления господствующих ветров, поскольку на нефтебазах происходят постоянные выбросы паров углеводородов в атмосферу. Поэтому необходимо предусматривать рассеивание этих выбросов ветром в противоположную сторону от населенных пунктов.

При строительстве нефтебаз вблизи берегов рек расстояние площадки от берега реки принимается не менее 200 м. Допускается сокращать это расстояние при условии выполнения дополнительного комплекса мероприятий по предотвращению загрязнения водоема и грунтовых вод от загрязнения нефтепродуктами. Площадка, как правило, должна выбираться ниже по течению реки не менее 100 м от населенных пунктов, водозаборов, гидротехнических сооружений промышленных предприятий. При размещении площадки выше по течению минимальное расстояние принимается для нефтебаз I категории не менее 3,0 км, II категории – 2,0 км, III категории – не менее 1,5 км от ГЭС, судостроительных и судоремонтных заводов и не менее 1 км от остальных предприятий и населенных пунктов.

Расстояние от зданий и сооружений нефтебазы до ближайших предприятий и объектов принимается по таблице.

Окончательное решение о строительстве нефтебазы принимается после разработки технико-экономического обоснования (ТЭО). При разработке ТЭО проектные организации учитывают экономическую целесообразность строительства нефтебазы в выбранном регионе и все указанные выше экологические, санитарные и противопожарные требования.

Генеральный план нефтебазы представляет собой определенное расположение различных объектов на территории, отведенной для строительства. Генеральный (главный) план нефтебазы составляется с учетом всех местных условий: рельефа, геологических и гидрогеологических особенностей площадки, метеорологических условий, номенклатуры нефтепродуктов и некоторых особых условий эксплуатации (противопожарных, санитарных, транспортных).

**Заключение.** В современном мире данная тема актуальна, так как при строительстве нефтебаз необходимо знать категорию, а также взять во внимание рельеф местности, высотные отметки, погодные условия для строительства нефтебазы.

## Библиографический список

1. Шишкин Г.В. Справочник по проектированию нефтебаз. – Л.: Недра, Ленингр. отделение, 1978. – 216 с.
2. Коршак А.А., Корабейников Г.Е., Муфтахов Е.М. Нефтебазы и АЗС: учеб. пособие. – Уфа: Дизайн полиграф сервис, 2006. – 416 с.
3. Шестаков Р.А. Отбор нефти из магистрального нефтепровода как частная задача параметрической диагностики. Постановка задачи // Технологии нефти и газа. – 2015. – № 2. – С. 55–59.
4. Поляков В.А., Шестаков Р.А., Комаров Д.Н. Комплексная параметрическая методика обнаружения утечек и несанкционированных врезок на трубопроводах // Трубопроводный транспорт: теория и практика. – 2018. – № 1. – С. 40–42.

## Сведения об авторе

**Абыев Исмаил Рафаэлевич** – студент Российского государственного университета нефти и газа (Национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина, Москва, e-mail: is.1234@yandex.ru

## About the author

**Abyev Ismail Rafaelevich** – Student Russian State University of Oil and Gas (National Research University) named after I.M. Gubkin, Moscow, e-mail: is.1234@yandex.ru

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЛИНЕЙНЫХ ВЕНТИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

**Ф.Н. Баянов, Н.В. Шулаков**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

В данной статье представлена концепция применения цилиндрического линейного вентильного электродвигателя (ЦЛВД) в сочетании с плунжерным насосом. Рассмотрены эффективность и преимущества данной концепции.

**Ключевые слова:** плунжерный насос, периодический режим работы, цилиндрический линейный вентильный двигатель.

## PERSPECTIVES OF APPLICATION OF CYLINDRICAL LINEAR AC ELECTRONIC MOTOR IN OIL-EXCHANGING INDUSTRY

**F.N. Bayanov, N.V. Shulakov**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

The concept of the use of a cylindrical linear AC electronic motor (CLEM) in combination with a plunger pump is presented. The efficiency and advantages of this concept are considered.

**Keywords:** plunger pump, intermittent operation, cylindrical linear AC electronic motor.

С момента начала использования нефти в производственных масштабах объемы добычи и сфера применения неуклонно растут. В современной промышленности нефть применяется для производства различного вида топлива, масел, строительных и других материалов. В настоящее время для добычи нефти широко применяются штанговые и погружные центробежные насосы.

Наиболее распространенная и относительно простая схема добычи использует штанговые плунжерные насосы. С одной стороны, это дорогой, но с другой стороны и не достаточно надежный способ. Доступная для этого способа глубина – до 2000 м. Производительность одного плунжерного насоса может достигать 500 м<sup>3</sup>/сутки. В связи с невысокой надёжностью и производительностью штанговых плунжерных насосов в наше время все больше применяются цен-

тробежные насосные установки погружного типа – электроцентробежные насосы (ЭЦН). Но и они имеют свои недостатки, их эффективность сильно снижается при добыче высоковязкой нефти и нефти с высоким содержанием свободного газа.

В данной статье предлагается использовать цилиндрический линейный вентильный электродвигатель (ЦЛВД). ЦЛВД – это двигатель, способный совершать линейные возвратно-поступательные движения, минуя механические кривошипно-шатунные механизмы. Линейные двигатели находят свое применение в компрессорах, электрических молотах и линейных насосах из-за его возвратно-поступательных движений. Но рынок предложений ограничен, самый известный линейный колебательный двигатель разработан LG для холодильников и кондиционеров с такими преимуществами, как низкий уровень шума и высокая эффективность.

Предлагается создать ЦЛВД в сочетании с плунжерным насосом. Благодаря этому его можно применить при добыче нефти, причем его использование позволяет добывать нефть бесштанговым способом. Объединение ЦЛВД с плунжерным насосом позволит добывать нефть из малодобитных скважин, глубиной более 2 км, с большой кривизной, а также в горизонтальных скважинах. Это решение способствует более эффективной добыче за счет снижения затрат на подготовку фундамента под станок-качалку и абсолютного отсутствия потерь на трении штанг о колонну.

В нашей стране наибольшее распространение по количеству добываемых скважин получили штанговые насосы, а по объему добычи – погружные центробежные. Это связано с тем, что штанговые насосы предназначены для эксплуатации низко- и среднедебитных скважин, а центробежные – для эксплуатации средне- и высокодебитных скважин (рис. 1). При существующих системах центробежных насосов нельзя уменьшить производительность глубинного насоса до значения, необходимого для эксплуатации малодобитной скважины в непрерывном режиме, поэтому в настоящее время малодобитные скважины вынуждены работать в циклическом режиме, когда откачка жидкости из скважины производится периодически. Основное время насос отключен, и скважина постепенно заполняется пластовой жидкостью. Это обычно происходит в течение нескольких десятков часов. После заполнения скважины насос включается на несколько часов и откачивает накопившуюся в скважине жидкость. Но частые запуски негативно влияют на надежность насосов.



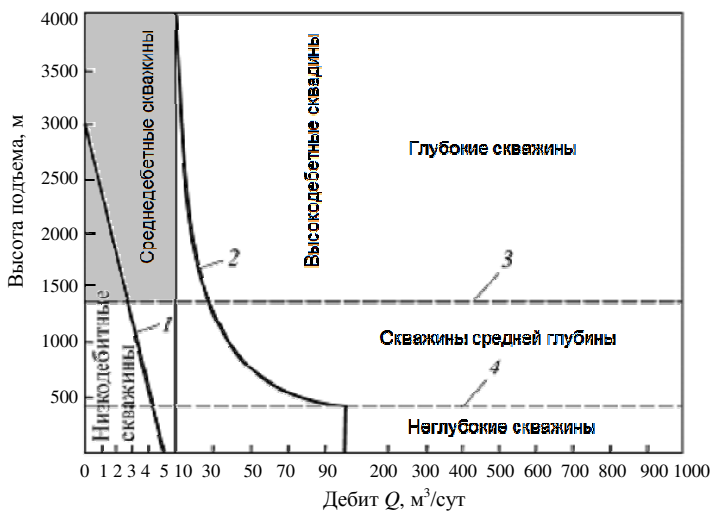


Рис. 1. Различных категорий скважин по дебиту и высоте подъема

Разрабатываемый привод погружного плунжерного насоса является альтернативой станкам-качалкам, позволяющей устранить многие недостатки существующих механизмов. Несмотря на совершенствование станков-качалок, они перестают соответствовать современным требованиям надежности эксплуатации скважины. Это связано с передачей к насосу усилия с помощью промежуточных механических звеньев – колонн штанг, кривошипа, редукторов. Данный недостаток отсутствует у насосного агрегата, состоящего из ЦЛВД, совмещенного с плунжерным насосом. ЦЛВД питается с помощью армированного кабеля от преобразователя частоты, расположенного на поверхности земли рядом со скважиной. ЦЛВД управляется от ПЧ, который обеспечивает необходимую частоту качания и длину хода плунжера.

Благодаря исключению промежуточных звеньев между электроприводом и плунжерным насосом, у данной конструкции возникает ряд существенных преимуществ:

- снижается металлоемкость конструкции;
- снижаются затраты на строительные и монтажные работы вследствие исключения вспомогательных конструкций;
- снижаются затраты на ремонты вследствие поломок и обрывов штанг;

- снижается эмульгирование нефти в насосно-компрессорных трубах;
- снижаются ограничения по глубине спуска плунжерного насоса (более 3 км).

Как правило, механическая структура линейного двигателя может быть разделена на ротор и статор. В двигателе с подвижным магнитным ротором, последний состоит из магнитов, установленных на стержень ротора, удерживаемого линейными подшипниками на обоих концах двигателя. Статорная часть включает в себя катушки и статорное железо. Таким образом, когда катушки возбуждаются, взаимодействие между магнитами и катушками приводит к генерации тяги.

Для достижения высоких тяговых показателей и малой массы в предлагаемой конструкции используется массив Хальбаха. Данный массив характеризуется особым расположением постоянных магнитов в роторе двигателя таким образом, что магнитное поле, с одной стороны практически отсутствует, а с другой – увеличивается вдвое. На рис. 2 показаны массив Хальбаха и его самоэкранирующие свойства. В этой структуре два противоположных намагниченных радиальных магнита зажаты двумя осевыми магнитами с различными направлениями намагничивания; выбор направления намагничивания смежных радиальных и осевых магнитов зависит от положения области воздушного зазора. Для этой конструкции выбирается внешняя усиленная комбинация магнитов, поскольку воздушный зазор находится на внешней стороне двигателя.

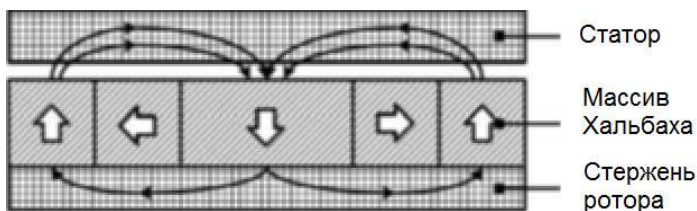


Рис. 1. Схематическая структура массива Хальбаха

В статоре щелевая конструкция является предпочтительной для увеличения тяги, так как полузамкнутая структура уменьшает утечку потока, что способствует стабильной и высокой тяге.

Общая механическая структура линейного колебательного двигателя показана на рис. 3. Для того чтобы компенсировать большую силы инерции, в полое пространство движителя встроены резонанс-

ные пружины. Таким образом, кинетическая энергия и потенциальная энергия пружины могут взаимно трансформироваться, тем самым уменьшая входной ток и повышая эффективность системы.

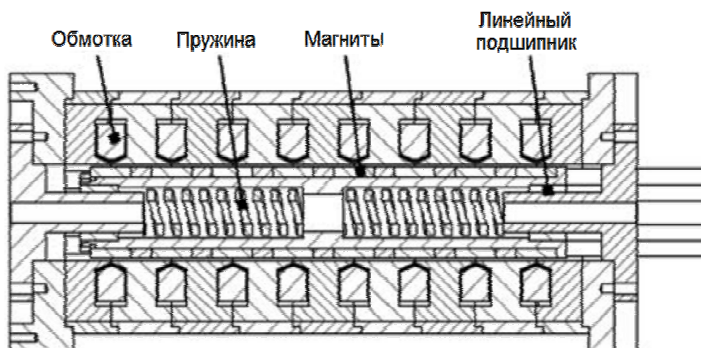


Рис. 3. Механическая структура линейного колебательного двигателя

Основной проблемой ЦЛВД в составе ПБЭНА является пониженный КПД (55–65 %), что связано с низкой частотой ПЧ (5–7 Гц) для нормального обеспечения работы привода из-за необходимости низкой скорости хода штанги плунжерного насоса. Понижение частоты питающей сети от ПЧ для уменьшения количества ходов при добыче нефти, для регулирования дебита нерационально, так как резко начинает снижаться энергетический КПД ЦЛВД. Особенностью проектируемого насосного агрегата ПБЭНА на основе ЦЛВД является возможность работы в периодическом режиме, такой режим наиболее рационален с точки зрения поддержания высокого энергетического КПД добычи. Это связано с тем, что активные потери в двигателе не изменяются в зависимости от частоты ПЧ и скорости движения вторичного элемента, а вот полезная мощность тем больше, чем больше скорость движения штока и частота ПЧ. Такое возможно благодаря наличию датчика положения штока, питания ЦЛВД от ПЧ и низкой инерционности работы агрегата. После окончания рабочего цикла возможно временное отключение ЦЛВД, т.е. возникает работа в краткосрочном периодическом режиме. Это позволяет поддерживать постоянно высокий КПД добычного агрегата при любом дебите.

Также необходимо сравнить энергетические параметры нефтедобывающих агрегатов в зависимости от глубины добычи. Как видно из графиков, характеристика КПД для штангового привода плунжерного

насоса падает быстрее из-за механических потерь на трение штанги о НКТ при ее изгибах. Но до глубины в 1,5 км применение штангового привода эффективнее из-за низкого КПД погружного привода на основе ЦЛВД. Таким образом, для обычных скважин проектируемый привод на основе ЦЛВД может быть более эффективным только для средних и глубоких малодобитных и среднедобитных скважин.

В то же время потери энергии привода ЦЛВД происходят в забое скважины. Но этот недостаток в ряде месторождений дает определенное преимущество нефтяному агрегату с ЦЛВД. Потери электрической энергии преобразуются в тепло в забое и разогревают нефтепродукт в скважине. Благодаря этому при добыче вязкой нефти и нефти с высоким содержанием парафинов не требуется установки дополнительных электрических нагревателей в забой. Именно в таком случае погружной скважинный насос с ЦЛВД будет наиболее эффективен. В среднем при статистических мощностях подогревателя скважины в 10–20 кВт суммарный энергетический КПД агрегата с штанговым насосом опускается настолько, что ЦЛВД будет выгодней с глубины более 1 км. При этом есть месторождения, где мощность нагревателя в забое доходит до 50–80 кВт, что вдвое-втрое превышает затраты энергии на насосное оборудование. Для таких скважин рекомендуется применять ЦЛВД с любой глубины.

По результатам исследования можно сделать выводы:

1. Оценивать эффективность применения новых нефтедобывающих агрегатов того или иного исполнения следует по КПД, что влечет за собой требование по регулированию производительности насосной установки.

2. Использование бесштанговой насосной установки позволяет:

– снизить металлоемкость и затраты на строительные и монтажные работы станков, фундаментов, штанговых колонн, на подземные ремонты;

– снизить эмульгирование нефти в насосно-компрессорных трубах.

3. Исключение промежуточных звеньев привода станка и приближение двигателя к насосу обеспечат ряд существенных преимуществ. Кроме этого к проектируемому приводу нет жестких требований по глубине спуска в скважину, которая может достигать 3 км и более.

4. С учетом значительных запасов вязкой, парафиносодержащей нефти в России и недостаточности разработки таких месторождений, следует признать перспективность исследования.

### Библиографический список

1. Мирзин А.М., Коротаев А.Д., Шутемов С.В. Усилие тяжения цилиндрического линейного вентильного двигателя с постоянными магнитами между статором и вторичным элементом // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6.

2. Ключников А.Т., Коротаев А.Д., Шутемов С.В. Моделирование цилиндрического линейного вентильного двигателя // Электротехника. – 2013. – № 11.

3 околоский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным управлением. – М.: Академия, 2006. – 272 с.

### Сведения об авторах

**Баянов Федор Николаевич** – аспирант Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: bayanoffedia@gmail.com

**Шулаков Николай Васильевич** – доктор технических наук, профессор кафедры «Электротехника и электромеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: shulakov@pstu.ru

### About the authors

**Bayanov Fedor Nikolaevich** – Graduate Student Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: bayanoffedia@gmail.com

**Shulakov Nikolay Vasilevich** – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Electrical Engineering and Electromechanics department Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: shulakov@pstu.ru

## ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И СООРУЖЕНИИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ В СЕЙСМИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ЗОНАХ

**П.А. Губина, Д.Г. Саяпова**

Российский государственный университет нефти и газа (Национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина, Москва

В статье описаны классические методы прокладки магистральных трубопроводов в условиях сейсмической активности и зонах активных тектонических разломов. Приведены альтернативные решения, способствующие совершенствованию технологии сооружения и повышению эксплуатационной надежности трубопровода. Произведена оценка применения строительных инноваций в реальных условиях на примере трубопроводной транспортной системы «Сахалин – I» и «Сахалин – II».

**Ключевые слова:** магистральный трубопровод, сейсмическое воздействие, активный тектонический разлом, водонепроницаемая траншея, грунт обратной засыпки.

## TECHNICAL SOLUTIONS IN THE DESIGN AND CONSTRUCTION OF PIPELINES IN SEISMICALLY ACTIVE ZONES

**P.A. Gubina, D.G. Sayapova**

Russian State University of Oil and Gas (National Research University) named after I.M. Gubkina, Moscow

This article describes the classical lay methods in the seismic zones and in the conditions of active tectonic faults. Alternative solutions that contribute to the improvement of construction technology and increase the operational reliability of the pipeline are presented. The evaluation of the application of constructive innovations is made by the example of the pipeline transport system "Sakhalin-I" and "Sakhalin-II".

**Keywords:** pipeline, seismic impact, active tectonic fault, waterproof trench, backfilling material.

Для России актуальной проблемой являются освоение новых месторождений нефти и газа, дальнейшее развитие нефтегазовой промышленности в новых районах добычи природного газа и нефти, сооружение трубопроводов и других объектов нефтяной и газовой промышленности, а именно: в Средней Азии, Сибири, на Кавказе, Дальнем Востоке и Крайнем Севере, которые отличаются высокой сейсмической активностью.

Наиболее важным антисейсмическим мероприятием при проектировании трубопроводов является правильный выбор трассы с учетом данных сейсмического районирования. В СНиП 2.05.06-85\*[1] указано: «При выборе трассы трубопроводов в сейсмических районах необходимо избегать активных тектонических разломов, а также участков, сейсмичность которых превышает 9 баллов». Но не всегда возможно выполнить эти указания ввиду большой протяженности многих активных разломов. В актуализированной версии этого СНиП – СП 36.13330.2012 [2] – появилось дополнение: «Прокладка трубопроводов в перечисленных условиях может быть осуществлена в случае особой необходимости при соответствующем технико-экономическом обосновании. При этом в проектной документации должны быть предусмотрены дополнительные мероприятия, обеспечивающие надежность трубопровода».

Подробнее рассмотрим определение, указанное в СП 14.13330.2013 [3]: «Активный разлом – это тектоническое нарушение с признаками постоянных или периодических перемещений его крыльев в позднем плейстоцене – голоцене (за последние 100 000 лет), величина (скорость) которых такова, что они представляют опасность для сооружения и требуют специальных конструктивных и/или компоновочных мероприятий для обеспечения его безопасности. Основные типы перемещений блоков земной коры подразделяются на подвижки: сброса, взброса и сдвига». В ходе анализа основных нормативных документов, а также научных статей и патентов в области сооружения магистральных трубопроводов установлены основные технические решения при строительстве в регионах с сейсмической активностью.

В мировой практике строительства трубопроводов используются различные методы и конструктивные решения по их прокладке в сейсмических районах. При сейсмической активности территории пролегания трубопровода в 6 баллов следует предусматривать надземный способ прокладки, а при 8 баллах и выше – подземный.

Наиболее часто применяется надземный способ прокладки трубопроводов на свободноподвижных опорах, которые обеспечивают необходимую подвижность трубопровода, а также компенсируют тепловые деформации труб. Данный способ прокладки является эффективным при пересечении трассой трубопровода активных тектонических разломов в условиях вечной мерзлоты вследствие экономической нецелесообразности использования траншейного метода. Основными недостатками данного способа прокладки являются высокая металлоемкость и необходимость применения демпфирующих устройств.

При подземной прокладке трубопроводов основные требования следующие [4]:

1. Разработка специальной трапецевидной траншеи с пологими откосами (уклон 1:1,5), заполненной материалом обратной засыпки, удовлетворяющим условиям эксплуатации трубопровода, величине подвижки по разлому, гидрогеологическим условиям в зоне пересечения АТР, а также климатическим условиям региона строительства;
2. Устройство подсыпки из мягкого грунта толщиной не менее 200 мм;
3. Засыпка трубопровода измельченным, несвязным грунтом (крупнозернистым песком, торфом);

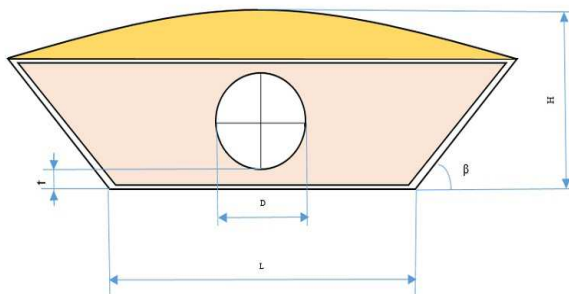


Рис. 1. Траншея с пологими откосами

4. Применение труб с утолщенной стенкой, которые обладают высокими прочностными свойствами и, как следствие, устойчивы к различным видам деформаций;

5. Проведение мероприятий по гидроизоляции трубопровода с учетом сохранения легко деформирующейся грунтовой среды вокруг трубопровода путем использования водонепроницаемой оболочки или так называемой геомембраны.

6. Проведение мероприятий по водопонижению для предотвращения избыточного увлажнения материала засыпки. Меры контроля влажности включают в себя исключение попадания влаги в траншею или использование дренажных устройств.

Недостатком данного способа является то, что со временем мелкий песок и торф вымываются из траншеи потоками воды от ливневых дождей. Это может привести к ухудшению компенсационного и демпфирующего свойств окружающего грунта при данном способе прокладки трубопровода. Также при сооружении трубопровода в сейсмически активной зоне следует проводить такие технологические мероприятия, как:



1. Особый контроль сварных работ и качества сварных швов и соединений в зоне возможного возникновения деформаций;
2. Установка автоматически срабатывающей запорной арматуры;
3. Установка автоматической системы контроля положения трубопровода;
4. Установка сейсмометрических станций для записи колебаний трубопровода и окружающего грунта.

Ярким примером применения данных технических решений могут служить наиболее уникальные по сложности природно-климатических условий объекты, расположенные на территории Российской Федерации, – трубопроводные системы «Сахалин-I» и «Сахалин-II». Трубопроводы проложены в зоне высокой сейсмической активности (до 10 баллов по MSK-64), пересекают 21 активный тектонический разлом, участки постоянной мерзлоты, грунты, разжижающиеся при землетрясении, а также гористую местность с неустойчивыми оползневыми склонами. Работы выполнялись при температурах до  $-40^{\circ}\text{C}$ .

Европейский научный центр итальянской компании «Снампродже-ти» создал расчетную методику определения нелинейного фактического напряжения и деформаций во всех элементах перехода (включая компенсационный участок). А именно были определены оптимальные углы пересечения разломов, конструкции специальных траншей для грунтов низкой и высокой фильтрующей способности с использованием геомембраны. Также были определены материалы засыпки траншей (керамзитовый гравий, песок), характер и расчетные параметры взаимодействия труба – обратная засыпка при перемещениях трубопровода в траншее в момент землетрясения. Определены требования к трубам и трубным деталям на переходах, повышенные параметры сварки.

При реализации проекта «Сахалин II» была применена технология, позволяющая исключить сдавливание тела трубы смещающейся земной корой. Основной задачей проектирования трубопроводов в районах с данной особенностью является обеспечение возможности трубопровода перемещаться во время изменения сейсмической активности. Для решения этой задачи разработана конструкция под названием «скользящий анкер».

Таким образом, в настоящее время существует множество технических методов, позволяющих повысить эксплуатационную надежность трубопроводов, пересекающих зоны сейсмических воздействий. Решение проблемы стойкости к сейсмоактивности сводится к отказу от конструкций и устройств повышенной жесткости, т.е. приданию им определенной оптимизированной гибкости путем использования различных

методов совершенствования этапов проектирования и сооружения магистрального трубопровода. Активная форма защиты объектов является наиболее перспективным направлением, обеспечивающим надежность и экономическую выгодность мероприятий в данном направлении.

### **Библиографический список**

1. СНиП 2.05.06-85\*. Магистральные трубопроводы.
2. СП 36.13330.2012 Магистральные трубопроводы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.06-85\* (с изм. № 1).
3. СП 14.13330.2013. Строительство в сейсмических районах (актуализирован. ред. СНиП II-7-81\*).
4. Пионт Д.Ю., Трушин Р.С., Темис М.Ю. Основные аспекты проектирования магистральных трубопроводов на участках пересечения активных тектонических разломов // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2014.
5. Надеин В.А., Иванцов О.М. Сахалинский трубопроводный меридиан // Трубопроводный транспорт. – 2009. – № 3(15). – С. 10–18.
6. Стром А.Л. Определение исходных параметров для проектирования переходов магистральных трубопроводов через активные разломы // Инженерные изыскания. – 2014. – № 3. – С. 50–57.
7. Шестаков Р.А., Комаров Д.Н., Филиппов С.А. Анализ нормативных методов обнаружения утечек // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – 2015. – № 3. – С.47–50.

### **Сведения об авторах**

**Губина Полина Андреевна** – студентка Российского государственного университета нефти и газа (Национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина, Москва, e-mail: gubinapolina03@gmail.com

**Саяпова Даяна Гайнановна** – студентка Российского государственного университета нефти и газа (Национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина, Москва, e-mail: dayana\_sayapova@mail.ru

### **About the authors**

**Gubina Polina Andreevna** – Student Russian State University of Oil and Gas (National Research University) named after I.M. Gubkina, Moscow, e-mail: gubinapolina03@gmail.com

**Sayapova Dayana Gaynanova** – Student Russian State University of Oil and Gas (National Research University) named after I.M. Gubkina, Moscow, e-mail: dayana\_sayapova@mail.ru

## **ПРИМЕНЕНИЕ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ЭНЕРГО- И ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ СПГ-ТАНКЕРОВ**

**А.В. Дубровская, Д.Н. Комаров, А.В. Лезнов**

Российский государственный университет нефти и газа (Национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина, Москва

В данной статье предлагается рассмотреть возможность использования малоразмерных газотурбинных установок (МГТУ) для обеспечения энерго- и теплоснабжения СПГ-танкеров. Рассматриваются преимущества и ключевые особенности предлагаемых установок.

**Ключевые слова:** сжиженный природный газ, СПГ, малоразмерная газотурбинная установка; СПГ-танкер; энергоустановка; энергоэффективность; альтернативная энергетика.

## **APPLICATION OF SMALL-SIZE GAS TURBINE UNITS FOR POWER AND HEAT SUPPLY OF LNG TANKERS**

**A.V. Dubrovskaya, D.N. Komarov, A.V. Leznov**

Russian State University of Oil and Gas (National Research University) named after I.M. Gubkina, Moscow

This article proposes to consider the possibility of using small-size gas turbine units (SSGTU) to provide power and heat supply for LNG tankers. The advantages and key features of the proposed installations are considered.

**Keywords:** liquefied natural gas; LNG; small-size gas turbine unit; LNG tanker; energy unit; energy efficiency; alternative energy.

Для транспортировки сжиженного природного газа используются танкеры. СПГ-танкер – очень сложное по устройству и обслуживанию судно. Оно нуждается в тщательном обслуживании на протяжении всего рейса по транспортировке углеводородов. Это влечет за собой достаточно обширный штат обслуживающего персонала. Каюты, диспетчерские, капитанский мостик, кухни, склады и прочие помещения – все это необходимо снабжать электроэнергией и теплом. Необходимо оптимальное решение, которое будет в достаточной мере экономичным и эффективным.

Во все времена транспортировка нефти и газа различными путями имела множество проблем и вопросов, которые неизбежно возникнут

кали в силу особенностей строения транспортируемых веществ, их физических и химических свойств. Одна из главных таких проблем – потеря товарного продукта в ходе транспортировки сжиженного природного газа (СПГ). Над оптимизацией процессов транспортировки каждый день ломает свои головы множество умов по всему миру. Несмотря на изоляцию танка от окружающей среды и поддержание внутри необходимых условий для перевозки СПГ, жидкая фаза испаряется, образуя паровую шапку, что приводит к росту давления в танке и необходимости стравливания паров СПГ в атмосферу. Для снижения потерь используют установки повторного сжижения газа. Продукт остается на борту, но этот процесс весьма энергоемкий. В данной статье предлагается не затрачивать энергию на преобразование газа, а генерировать ее, используя испарившийся СПГ.

Одним из рациональных решений может стать использование малоразмерных газотурбинных установок (МГТУ), в качестве топлива для которых будут использоваться пары СПГ. На данный момент это одно из перспективных и развивающихся направлений в газовой промышленности. Малоразмерные газотурбинные установки производятся в диапазоне мощностей от 30 кВт до 1 МВт, что отлично подходит для обеспечения собственных нужд танкера. Также есть возможность объединить несколько микротурбин указанных единичных мощностей для увеличения общей мощности энергоустановки.

Что касается производства малоразмерных газотурбинных установок, то тут в нашей стране имеются определенные трудности. В мире существует только одна компания, которая занимается серийным выпуском МГТУ – это американская корпорация «Capstone». На примере этих микротурбин рассмотрим основные особенности и преимущества подобных механизмов.

Микротурбинный двигатель состоит всего из одной движущейся детали – вращающегося вала, на котором соосно расположены электрический генератор, компрессор и непосредственно турбина. В установке не используются редукторы или другие механические приводы. Уникальной конструктивной особенностью двигателя является применение воздушных подшипников, за счет которых достигается рекордная скорость вращения вала – 96 000 оборотов в минуту. Эта инновация дает возможность отказаться от использования масла, высокий расход которого у других видов оборудования составляет значительную часть эксплуатационных затрат.

Низкие рабочие температуры снижают уровень эмиссии окислов азота, что позволяет отнести микротурбины к одному из самых экологически чистых источников генерации энергии.

Другой уникальной особенностью подобных турбин является компоновка основных узлов агрегата. В компактном корпусе размещены компрессор, камера сгорания, рекуператор, непосредственно турбина и постоянные магниты электрогенератора. Генератор охлаждается набегающим потоком воздуха, что исключает необходимость организации системы жидкостного охлаждения и повышает надежность и экономичность оборудования в процессе эксплуатации. Благодаря использованию воздухо-воздушного теплообменника (рекуператора) в конструкции турбодвигателя микротурбины имеют высокий для турбогенераторов электрический КПД – до 35 %. Рекуператор использует тепловую энергию выхлопа для предварительного нагрева воздуха в камере сгорания, что позволяет снизить объем потребляемого топлива практически в два раза.

Энергосистемы на базе микротурбин являются в достаточной степени автономными для работы даже без обслуживающего персонала. Вся необходимая информация и управление режимами работы турбин может осуществляться посредством GPS-модуля. Это позволяет использовать установки и в труднодоступных удаленных местах. Таким образом, с точки зрения автономности их использование на СПГ-танкерах целесообразно и может позволить сократить обслуживающий персонал. По заверениям производителей срок до капитального ремонта микротурбин достигает до 60 000 ч, а сервисное обслуживание требуется не чаще одного раза в год.

Подобные микротурбины имеют несколько важных преимуществ, которые делают данную технологию достаточно привлекательной. Одно из важнейших преимуществ – габариты. Для самых больших единичных мощностей габариты со всеми необходимыми вспомогательными системами составляют порядка 9 м в длину, 2,5 – в ширину и 3 м – в высоту. Меньшие, чем у аналогичных устройств, габариты делают микротурбины привлекательным вариантом для установки на замкнутых площадях, например на СПГ-танкере.

Также немаловажен факт того, что данные установки не требуют высоких эксплуатационных затрат. На это влияют конструктивные особенности турбин: отсутствие охлаждающей жидкости и смазок, а также относительная редкость обслуживания. Все эти факторы заметно снижают затраты на функционирование установок.

Микротурбины могут быть приспособлены практически под любой вид топлива, в том числе возможна работа на сжиженном природном газе. А использование когенерации в рассматриваемых микротурбинах влечет за собой повышение коэффициента использования топлива, что делает технологический процесс более экономичным и эффективным. Срок окупаемости проектов в области микротурбинных технологий оценивается специалистами приблизительно в 2–3 года, что является отличным показателем.

На сегодняшний день на подавляющем большинстве танкеров используются поршневые двигатели на дизельном топливе, что обязывает к закупке и хранению соответствующего запаса топлива на всю продолжительность рейса. Перспективным направлением является переход от дизельных двигателей на СПГ-танкерах на двигатели, использующие в качестве топлива тот самый испарившийся СПГ. Но это требует полного технического переоборудования уже существующих танкеров или проектирования концептуально новых. МГТУ же в определенной степени просты в установке и неприхотливы в эксплуатации, поэтому могут рассматриваться как способ обеспечения потребности в энергии на собственные нужды. Зная характеристики используемой микротурбины, можно определить расход газа, который будет обеспечивать заданную мощность, а также параметры нагрева воды для горячего водоснабжения и отопления. Расход топливного газа определяется по следующему соотношению:

$$B = \frac{N_e}{\eta_e \cdot Q_{\text{нр}}}, \quad (1)$$

где  $B$  – расход газа на топливо, м<sup>3</sup>/с,  $N_e$  – эффективная мощность микротурбины, Вт,  $\eta_{\text{уст}}$  – КПД установки,  $\eta_e$  – эффективный КПД микротурбины,  $Q_{\text{нр}}$  – низшая теплота сгорания газа, Дж/м<sup>3</sup>.

С помощью основного уравнения теплообмена можно получить тепловую мощность, которая будет передаваться теплоносителю (например, воде), который уже будет поступать в системы отопления танкера, а также служить горячим водоснабжением:

$$Q = k \cdot F \cdot \Delta t, \quad (2)$$

где  $Q$  – тепловой поток, Вт,  $k$  – коэффициент теплопередачи в процессе теплообмена, Вт/(м<sup>2</sup>·К),  $F$  – площадь поверхности теплообмена, м<sup>2</sup>,  $\Delta t$  – средний температурный напор, К.

Учитывая также, что

$$Q = G \cdot c_p \cdot (t' - t''), \quad (3)$$

где  $G$  – массовый расход теплоносителя, кг/с,  $c_p$  – теплоемкость теплоносителя, Дж/(кг·К),  $t'$  – температура холодной воды, °С,  $t''$  – температура нагретой воды, °С, можно определить, до какой температуры возможно нагреть воду с помощью теплоты уходящих газов микротурбины или какой массовый расход воды обеспечит необходимое повышение температуры.

В нашей стране, как было отмечено, развитие малотурбинных технологий не находится на должном уровне. Однако некоторые разработчики занимаются данным вопросом. Так, представители Центрального института авиационного моторостроения им. А.В. Баранова в 2016 г. создали и испытали первый опытный образец малоразмерной ГТУ. И хотя этот прототип предназначается для использования на малой и беспилотной авиации, можно надеяться, что в случае успеха область применения отечественных установок в будущем будет расширяться.

В заключение можно отметить, что данная технология имеет широкие перспективы для обеспечения более эффективного процесса транспортировки сжиженных углеводородов. Это позволяет повысить экономические показатели транспортировки за счет снижения потерь продуктов. Стоит признать, что на данный момент уже реализуются на практике проекты двигателей для СПГ-танкеров, работающих на сжиженном природном газе.

Одним из самых передовых предприятий в России, которое имеет широкие перспективы по развитию и строительству судов, работающих на СПГ, является дальневосточный завод «Звезда». Он базируется в городе Большой Камень Приморского края. Образованный в послевоенный период завод имеет богатую историю. В 2009 г. начато строительство, а в 2016 г. была запущена первая очередь новой верфи. На данный момент ведутся работы по сооружению второй очереди. К сегодняшнему моменту завод преобразован в судостроительную компанию «Звезда», которая управляется консорциумом из «Роснефти», «Роснефтегаза» и Газпромбанка.

В сентябре 2017 г. между заводом «Звезда», компаниями «Роснефть», «Совкомфлот», «Роснефтефлот» и Государственной транспортной лизинговой компанией было заключено соглашение по

строительству как минимум пять судов, работающих на сжиженном природном газе. Это первый подобного рода проект в Российской Федерации. А привлечение микротурбинных установок в качестве источника энергоснабжения СПГ-танкера может стать очередным прорывом в области транспортировки газа.

### Библиографический список

1. Калинин А.Ф. Расчет, регулирование и оптимизация режимов работы газоперекачивающих агрегатов: учеб. пособие для бакалавров. – М.: МПА-ПРЕСС, 2011. – 265 с.

2. Комаров Д.Н., Шестаков Р.А. Анализ обеспечения промышленной безопасности в условиях применения альтернативных источников моторного топлива // Материалы конф. ГНИИ «Нацразвитие»; май 2018. – СПб.: Изд-во ГНИИ «Нацразвитие», 2018. – С. 57–62.

3. Термодинамика и теплопередача в технологических процессах нефтяной и газовой промышленности: учебник для вузов РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина / А.Ф. Калинин, С.М. Купцов, А.С. Лопатин, К.Х. Шотиди. – М.: ИЦ РГУ нефти и газа, 2016. – 264 с.

4. Газомоторное топливо как современная альтернатива традиционным видам топлива (сравнительный анализ) / Е.О. Штанько, Д.Н. Комаров, Р.А. Шестаков, Л.Р. Хасанова // Магистральные и промышленные трубопроводы: проектирование, строительство, эксплуатация, ремонт: науч.-техн. сб. № 2. – М.: Изд. центр РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина. – 2018. – С. 34–42.

5. «Звезда» все же построит пять танкеров для «Совкомфлота» – Бизнес [Электронный ресурс] // Коммерсантъ. – URL: <https://www.kommersant.ru/doc/3421579> (дата обращения: 06.07.2018).

6. ССК «Звезда» [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.sskvezda.ru/index.php/ru/> (дата обращения: 09.07.2018).

7. ЦИАМ: проекты двигателей малой мощности [Электронный ресурс] // АвиаПорт.Новости. – URL: <https://www.aviaport.ru/news/2015/05/08/338921.html> (дата обращения: 08.07.2018).

8. Capstone Turbine Corporation (CPST). – URL: <https://www.capstoneturbine.com/> (дата обращения: 02.07.2018).



## Сведения об авторах

**Дубровская Анастасия Владимировна** – магистрант Российского государственного университета нефти и газа (Национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина, Москва, e-mail: dubrovskaya.a@gubkin.ru

**Комаров Денис Николаевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Нефтепродуктообеспечение и газоснабжение» Российского государственного университета нефти и газа (Национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина, Москва, e-mail: dnkomarov@yandex.ru

**Лезнов Александр Владимирович** – магистрант Российского государственного университета нефти и газа (Национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина, Москва, e-mail: alexleznov1@yandex.ru

## About the authors

**Dubrovskaya Anastasiya Vladimirovna** – Master Student Russian State University of Oil and Gas (National Research University) named after I.M. Gubkina, Moscow, e-mail: dubrovskaya.a@gubkin.ru

**Komarov Denis Nikolaevich** – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor Russian State University of Oil and Gas (National Research University) named after I.M. Gubkina, Moscow, e-mail: dnkomarov@yandex.ru

**Leznov Alexander Vladimirovich** – Master Student Russian State University of Oil and Gas (National Research University) named after I.M. Gubkina, Moscow, e-mail: alexleznov1@yandex.ru

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ АУДИТ КАК ФАКТОР, ВЛИЯЮЩИЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

**О.Д. Евдокимова, Л.Н. Юдина**  
Новосибирский государственный  
технический университет, Новосибирск

В данной статье рассматривается энергетический аудит как важный инструмент повышения энергоэффективности предприятия.

**Ключевые слова:** энергопотребление, энергоэффективность, энергетический аудит, аудитор, энергетические ресурсы.

## ENERGY AUDIT AS A FACTOR AFFECTING THE EFFICIENCY OF ENERGY CONSUMPTION AT INDUSTRIAL ENTERPRISES

**O.D. Evdokimova, L.N. Yudina**  
Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk

In this article considers energy audit as an important tool for improving the energy efficiency of an enterprise.

**Keywords:** energy consumption, energy efficiency, energy audit, auditor, energy resources.

«Каждое промышленное производство связано с использованием электроэнергии, именно данная часть затрат часто расходуется недостаточно продуктивно. В наше время индустриальные компании в Российской Федерации расходуют на единицу издаваемой продукции в 2–3 раза больше электроэнергии, чем подобные производства в Америке или же Европе» [1].

Вследствие этого проблемам энергопотребления на предприятиях стоит уделять должное внимание. И основным инструментом, который позволяет выявить данные проблемы, является энергоаудит.

Энергетический аудит может помочь предприятию решить несколько важных задач, а именно:

- 1) выявить причины роста затрат и потерь электроэнергии;
- 2) создать комплекс мер по устранению выявленных проблем;
- 3) составить план работы с более целесообразным использованием электроэнергии.

Аудитор, проводя статистические исследования на основе предоставляемых данных, дает рекомендации по улучшению состояния энергопотребления на предприятии, более лучшему использованию энергетических ресурсов. Именно от правильного выбора компаний-аудиторов сегодня зависит результативность проделанного аудита. Исходя из этого, выявим ряд критериев, которые нужно учитывать при выборе аудитора.

**1. Репутация аудиторской компании.** Сведения о профессиональной истории (досье) аудиторской компании (обязательность, беспристрастность, способность к комплексной оценке аудируемого лица, учет особенностей деятельности клиента, умение дать конкретные рекомендации).

**2. Уровень квалификации:**

- знание законодательства в области бухгалтерского учета, аудита, налогообложения и права;
- учет особенностей деятельности клиента. Аудитор должен знать все нюансы проверяемого сегмента бизнеса;
- также немаловажным фактором является коммуникабельность аудитора.

**3. Стоимость услуг.** За аудиторские услуги цена определяется такими факторами, как:

- цель проведения проверки;
- вид проверки;
- размер организации и масштаб ее деятельности;
- состояние системы учета на анализируемом предприятии;
- количество индивидуальных требований.

**4. Ответственность.** Практически все аудиторские компании осуществляют добровольное страхование профессиональной ответственности. Страхование ответственности может осуществляться, если работники аудиторской компании причинят несколько видов ущерба во время оказания обязательных и необязательных услуг. Это, например, случаи:

- «непреднамеренной утраты или порчи документов бухгалтерской (финансовой) отчетности и другой документации. В случае если предоставление документов было зафиксировано в письменном виде» [2];
- профессиональной небрежности, содержащейся в выданных в письменном виде рекомендациях;
- просчетов, неправильного установления существующих ошибок.

После выбора аудитора, осуществляется самэнергоаудит, он проводится в три этапа.

**1-й этап:**

- исследование ключевых особенностей производства, используемого оборудования;
- исследование состояния энергетического потребления на предприятии;
- предварительный анализ на основе собранных данных.

**2-й этап:**

- осуществление энергетического обследования предприятия;
- подробное исследование каждого единичного объекта производства;
- изучение формирования энергетического паспорта, в котором отражаются:
  - «эффективность работы организации согласно учету и анализу потребления электроэнергии в компании в целом и согласно отдельным направлениям производства» [3];
  - оценочная характеристика потерь электроэнергии, которая сравнивается с показателями нормы;
  - факторы, которые были обнаружены в процессе энергетического обследования и которые мешают уменьшить потери электроэнергии на предприятии;
  - план по исполнению рекомендаций для увеличения энергоэффективности на промышленном производстве.

**3-й этап:**

- оформление расчетов, полученных во время энергетического обследования;
- указания на выявленные моменты нерационального энергопотребления;
- разработка рекомендаций по ликвидации всех найденных проблем.

Таким образом, энергоаудит позволяет не только выявить проблемы энергопотребления на промышленном производстве, но и дать рекомендации по их устранению, что, в свою очередь, приведет к увеличению энергоэффективности производства, а также к конкурентоспособности продукции данного предприятия.

## Библиографический список

1. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.gks.ru/>
1. Компания «ПрофБухУчет» [Электронный ресурс]. – URL: <https://buhu4et.ru/>
2. Фокин В.М. Основы энергосбережения и энергоаудита. – М.: Машиностроение-1, 2006. – 256 с.

## Сведения об авторах

**Юдина Лилия Николаевна** – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Производственный менеджмент и экономика энергетики» Новосибирского государственного технического университета, Новосибирск, e-mail: [udinaln@ngs.ru](mailto:udinaln@ngs.ru)

**Евдокимова Ольга Дмитриевна** – студентка Новосибирского государственного технического университета, Новосибирск, e-mail: [udinaln@ngs.ru](mailto:udinaln@ngs.ru)

## About the authors

**Yudina Liliya Nikolaevna** – Ph.D. of Economic Sciences, Associate Professor at the Department of Industrial Management and Energy Economics Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, e-mail: [udinaln@ngs.ru](mailto:udinaln@ngs.ru)

**Evdokimova Olga Dmitrievna** – Student Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, e-mail: [udinaln@ngs.ru](mailto:udinaln@ngs.ru)

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ БЕСКОНТАКТНЫХ ДАТЧИКОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

**Д.С. Жарич**

Новосибирский государственный технический  
университет, Новосибирск

Высоковольтные линии электропередачи – важнейшие элементы энергосистемы, ответственные за передачу электроэнергии на дальние расстояния. Однако воздушные линии часто подвержены таким природным воздействиям, как провис фазного проводника и галопирование, по причине обледенения проводов и повышенной ветровой нагрузки. В данной статье будут рассмотрены способ определения таких параметров линии, как ток и положение проводника, с помощью бесконтактных датчиков и методика разработки аппаратной части системы.

**Ключевые слова:** энергетика, воздушная линия, провис провода, галопирование, магниторезистивный датчик.

## DEVELOPING OF NONCONTACT SENSORS SYSTEM FOR OVERHEAD LINE PARAMETERS MONITORING

**D.S. Zharich**

Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk

The most important components of energy system are high voltage transmission lines responsible for electric power transmission to remote distances. However, overhead lines often suffer from sagging and galloping caused by icing and increased wind load. In this paper, the method for determining such line parameters as current and conductor position by using noncontact sensors and techniques for developing the system hardware will be considered.

**Keywords:** power engineering, overhead line, sagging, galloping, magnetoresistive sensor.

**Введение.** В странах с большой площадью и низкой плотностью объектов генерации и потребления основным способом передачи электроэнергии от мест производства до потребителя является передача с помощью высоковольтных воздушных линий (ВЛ) электропередачи. От надежности работы ВЛ зависит энергоснабжение как городов (больниц, аэропортов и других потребителей первой и второй

категорий), так и крупных промышленных предприятий нефтегазовой и металлургической отрасли, остановки в работе которых могут привести к крупному экономическому ущербу. При этом очень часто, особенно в условиях северных широт, ВЛ находятся в жестких атмосферных условиях и могут подвергаться обледенению, вследствие чего возникают провис и галопирование (пляска) фазных проводников, что негативно отражается на надежности работы ЛЭП. Поэтому динамический мониторинг состояния ВЛ – это важная задача по улучшению надежности функционирования линий электропередачи.

Провис проводников – явление, при котором стрела провеса провода увеличивается за счет удлинения провода при нагреве протекающим по нему током или из-за увеличения веса провода ввиду гололедных явлений. Иногда провод может опускаться до небезопасных расстояний от земли. Это критично в местах пересечения ЛЭП с автомобильными трассами, железнодорожными путями, реками и т.д. Галопирование – возникновение высокоамплитудных, низкочастотных осцилляций провода. Такие колебания возникают, когда на подветренной стороне провода образуется обледенение, нарушающее обтекаемость провода, что вызывает завихрения и подъемные силы. Амплитуда колебаний при пляске проводов может достигать междуфазных расстояний, что сильно повышает риск междуфазных замыканий с последующим циклом АПВ, а также увеличивается нагрузка на траверсы и тело опоры, вплоть до разрушения опоры, что приводит к прекращению электроснабжения.

Поскольку уменьшить ветровую нагрузку не представляется возможным, единственным решением данной проблемы являются отслеживание гололедных явлений и их своевременная плавка. Важными параметрами для определения состояния линии являются положение проводника в пространстве и ток, протекающий в линии.

Таким образом, мониторинг пространственных параметров линии и тока является важным мероприятием для увеличения надежности ЛЭП, особенно находящихся в жестких погодных условиях и в отдаленных районах. Решением данной задачи может быть разработка измерительного комплекса, обладающего достаточной для определения напряженности магнитного поля на уровне земли точностью, с возможностью передачи полученной информации на ПК, на котором и будет происходить анализ картины магнитного поля и параметров ВЛ.

С помощью системы таких измерительных комплексов можно осуществить мониторинг высоты подвеса проводов и тока в них как на отдельных пролетах, так и на всей линии. При обнаружении значительного провиса проводов и его локализации можно отправить ремонтную бригаду непосредственно на место провиса для обследования ВЛ и проведения соответствующих мероприятий (плавка гололеда, снижение нагрузки по линии).

Помимо указанных задач датчик может с точностью до пролета определять место аварии на линии, например, место обрыва фаз, что крайне полезно при авариях на протяженных линиях или в труднодоступной местности.

**Определение параметров ВЛ.** Определение положение проводника и тока возможно, используя закон Био–Савара–Лапласа:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I[\vec{r} \times d\vec{r}]}{r^3}, \quad (1)$$

где  $\vec{r}$  – вектор, описывающий кривую проводника с током  $I$ ,  $r$  – модуль  $\vec{r}$ ,  $d\vec{B}$  – вектор магнитной индукции, создаваемый элементом проводника  $d\vec{r}$ .

По (1) видно, что вектор магнитной индукции в точке, удаленной на расстояние  $r$ , зависит от расстояния  $r$  и от величины тока  $I$ . Проанализируем зависимость величины магнитного поля под линией при различных режимах работы на примере линии с треугольным расположении фаз, в габаритах опоры У220-1+14. Проведем моделирование магнитного поля, создаваемого ЛЭП в нормальном режиме, при провисе проводников на 5 м и при отклонении проводников вправо на 3 м при галопировании. Распределение напряженности магнитного поля под линией на высоте 1 м от земли представлено на рис. 1.

По рис. 1 видно, что изменение положения проводников влечет за собой изменение распределения напряженности магнитного поля под линией. Практика показывает, что в большинстве случаев на все 3 фазы оказывается одинаковое воздействие (нагрев провода, обледенение), следовательно, все 3 фазы изменяют свое положение в равной степени. Поэтому можно предположить возможность использования зависимости изменения магнитного поля под линией от величины изменения координаты проводов для определения положения фаз в пространстве. Покажем эту зависимость на модели ЛЭП, построив семейство кривых, полученных при варьировании высоты подвеса провода.



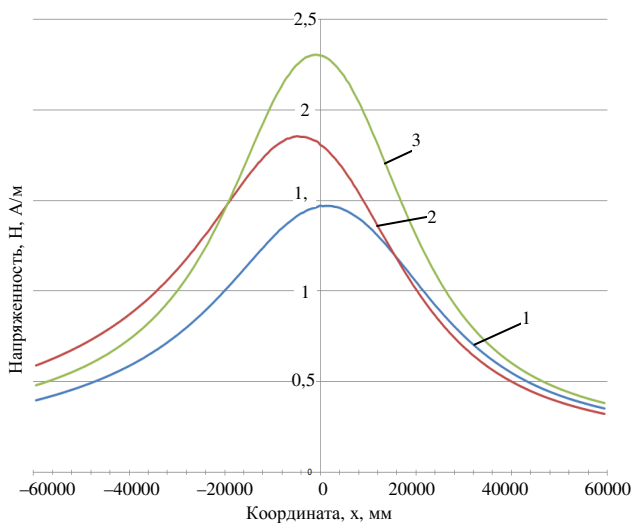


Рис. 1. Распределение напряженности магнитного поля под ВЛ 220 кВ:  
 1 – нормальный режим; 2 – пляска +3 м; 3 – провис – 5 м

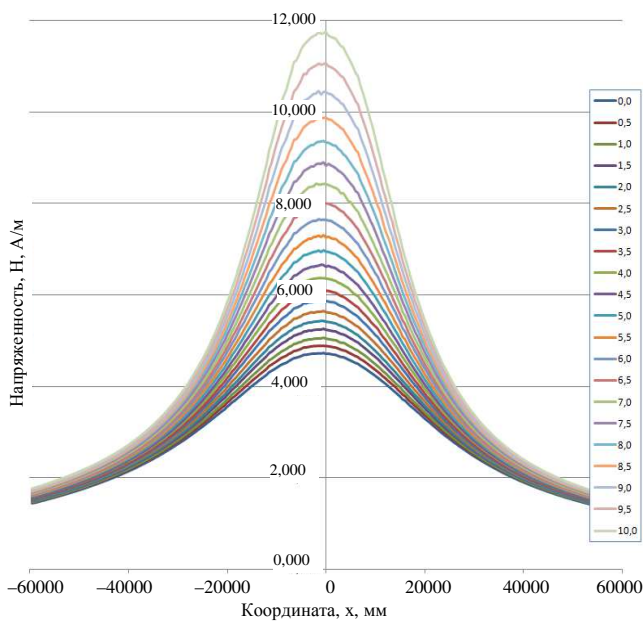


Рис. 2. Семейство кривых напряженности магнитного поля под линией при различных величинах симметричного провиса

На рис. 2 видно, что максимальное изменение напряженности магнитного поля для опоры с треугольным расположением фазных проводников наблюдается в диапазоне от  $-10$  до  $+10$  м от вертикальной оси опоры. Следовательно, для более точного определения величины провиса целесообразно размещать датчики в этом диапазоне. Однако если величина провиса не одинакова для трех фаз или ВЛ двухцепная, то определение высоты проводников значительно усложняется и требует более продвинутых методов расчета, например, метода стохастической оптимизации [1].

Проблема выбора положения и количества бесконтактных датчиков исследована в [2]. Было установлено, что для определения характеристик линии в целом, а не каждой отдельной фазы, достаточно одного датчика. Для определения несимметрии поля необходимо использовать два датчика, установленных под фазами А и В или А и С, но невозможно проводить мониторинг фазы, не оснащенной датчиком. Для определения характеристик каждой фазы необходимо использовать три датчика [2].

С учетом вышеизложенного для рассмотренной конфигурации проводников было установлено, что наиболее целесообразная для установки датчиков зона –  $\pm 10$  м от оси опоры, а количество датчиков определяется задачей, стоящей перед датчиком (определение провиса, пляски, обрыва фаз).

**Аппаратная часть.** Аппаратная часть разрабатываемого устройства должна представлять систему, состоящую из микропроцессора, аналого-цифрового преобразователя, датчика магнитного поля (МП) и температуры, передатчика, ректенны для съема электроэнергии с ВЛ и питания датчика, заземляющего устройства и блока питания, в который входят выпрямитель, контроллер заряда Li-ion аккумуляторов, плата защиты и балансировки аккумуляторов и батарейный отсек. Предполагаемый внешний вид устройства представлен на рис. 3. Компоненты блока питания 1 и микропроцессора 2 устанавливаются на платформе 3, плата датчиков поля и температуры 4, ректенна 5 устанавливаются на ось 6, которая закрепляется во внутренней трубе 7. Внутренняя труба необходима для тепло- и гидроизоляции компонентов устройства. Она, в свою очередь, устанавливается во внешнюю трубу 8, выполняющую роль корпуса устройства.

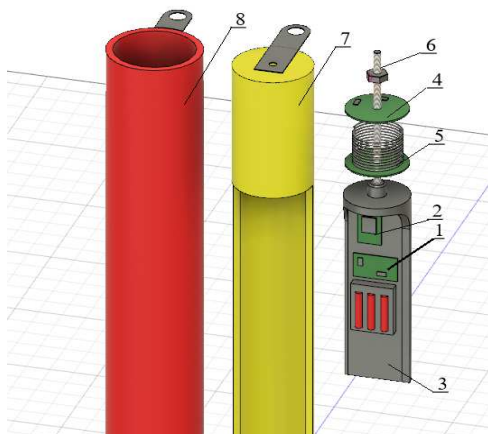


Рис. 3. Модель разрабатываемого устройства

К датчику МП – основному компоненту устройства предъявляются следующие требования: он должен обладать высокой чувствительностью и пределом измерения не более 80 Гс, что обусловлено максимальной напряженностью поля по СанПин. Исходя из этого, может быть выбран датчик Honeywell HMC1022 с пределом измерения 6 Гс и чувствительностью 85 мкГс, что по предварительным расчетам достаточно для определения напряженности магнитного поля. Частота отклика датчика, равная 5 МГц, позволит с высокой точностью считывать кривую магнитного поля и определять гармонический состав тока в линии, что является полезной для мониторинга функцией.

Для дискретизации сигнала, полученного с датчика, и дальнейшей его обработки может быть выбран микропроцессорный модуль ESP-32 с двухъядерным 32-битным процессором Xtensa Dual-Core LX6, 12-битным АЦП и Wi-Fi модулем, что решает проблему передачи данных с датчика на сервер.

Блок питания должен выдавать необходимые для питания датчика 12 В, тип аккумуляторов – Li-ion.

Предварительная себестоимость компонентов разрабатываемого измерительного устройства равна 1750.47 руб.

**Заключение.** Измерительный комплекс позволит выявлять отклонения параметров линии, вследствие чего значительно снизится количество аварий на линиях и сократится время их ремонта. Эле-

ментная база измерителя включает магниторезистивный датчик Honeywell HMC1022, микроконтроллер ESP-32, Li-ion-аккумуляторы и прочие комплектующие. В дальнейшем планируются создание прототипа датчика и его тестирование в реальных эксплуатационных условиях, а также создание программной части измерительного комплекса для анализа картины магнитного поля и представления результатов анализа в пользовательском графическом интерфейсе.

### **Библиографический список**

1. Novel Application of Magnetoresistive Sensors for High-Voltage Transmission-Line Monitoring / X. Sun, K.S. Lui, K.K.Y. Wong, W.K. Lee, Y. Hou, Q. Huang [et al.] // IEEE Transactions on Magnetics. – 2011. – Vol. 47. – P. 2608–2611.

2. Яблонский А.В. Определение характеристик линии электропередачи путем измерения магнитного поля: выпускная квалификац. работа. – Новосибирск, 2018. – 78 с.

### **Сведения об авторе**

**Жарич Дмитрий Сергеевич** – магистрант Новосибирского государственного технического университета, Новосибирск, e-mail: dim.zharich@ya.ru

### **About the author**

**Zharich Dmitry Sergeevich** – Master Student Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, e-mail: dim.zharich@ya.ru

## **ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ УТЕЧЕК ИЗ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ**

**Р.И. Зайнутдинов, А.Д. Бабакин**

Российского государственного университета нефти и газа (Национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина, Москва

В статье рассмотрены аспекты внедрения волоконно-оптического метода в качестве основного метода обнаружения утечек на магистральных трубопроводах.

**Ключевые слова:** трубопроводный транспорт, системы обнаружения утечек, волоконно-оптический метод.

## **FIBER-OPTICAL METHOD FOR DETECTING LEAKS FROM PIPELINES**

**R.I. Zaynutdinov, A.D. Babakin**

Russian State University of Oil and Gas named after I.M. Gubkina, Moscow

In this article the aspects of implementing a fiber-optic method as the main method for detecting leaks in pipelines are considered.

**Keywords:** pipeline transport, leak detection system, fiber-optic method.

**Волоконно-оптический метод обнаружения утечек.** Анализ достоинств и недостатков, использующихся в настоящее время систем обнаружения утечек, а также отсутствие многопараметрической полноценной методики актуализируют задачи по развитию методов контроля утечек с применением новых технологий. В связи с этим представляет интерес система геотехнического мониторинга трубопроводов с применением волоконно-оптических систем, которые позволяют получать данные о состоянии геотехнической системы «трубопровод – окружающая среда» в непрерывном автоматическом режиме по всей длине контролируемого объекта.

Волоконно-оптический метод эффективен с трубопроводами любых диаметров и рабочих давлений. Он обнаруживает даже малейшие утечки объемом 50 мл/мин. Один комплекс оборудования волоконно-оптического метода охватывает до 100 км контролируемого участка трубопровода, и при наличии усилителей сигнала через каждые 10 км позволяет определить координаты места дефекта с точностью 1–2 м.

Данный метод обладает малой погрешностью обнаружения утечки: так, вероятность обнаружения составляет 0,98, вероятность ложной тревоги – 0,001, быстродействие обнаружения утечек – 1–10 с.

Преимущества данного метода:

- оптическое волокно работоспособно в широком диапазоне температур (от –50 до +80 °С);
- выдерживает напряжение на разрыв свыше 75 МПа;
- волоконный кабель нечувствителен к электромагнитным возмущениям;
- не подвержен коррозии;
- рассчитан на срок службы свыше тридцати лет;
- прокладка кабеля в качестве чувствительного элемента возле трубопровода намного проще и дешевле по сравнению с установкой большого количества точечных датчиков.

Недостатки данного метода:

- для восстановления связи при обрыве линии требуется замена всего поврежденного участка, сращиванию волноводы не подлежат, таким образом, ремонтные работы серьезно удорожаются;
- не обнаруживает тип воздействия;
- волоконно-оптический кабель является лакомством для полевых мышей.

**Распределение температуры.** Для определения местоположения утечек нефти в трубопроводах очень удобно и эффективно использовать информацию о распределении температуры вдоль оптического волокна, расположенного на контролируемом объекте. При возникновении утечки в нефтепроводе температура почвы вокруг него изменяется.

На рис. 1 представлена динамика изменения температуры в месте нахождения утечки. Таким образом: а) показано, что в отсутствие утечки температурный профиль неоднороден, кроме того, он может медленно изменяться с течением времени, б – при образовании течи сначала наблюдается локальное повышение температуры, в – затем зона повышенной температуры начинает расширяться. Такой происходящий в две стадии процесс изменения температурного профиля идентифицируется системой обработки сигнала как наличие утечки.

Определение места, в котором измеряется температура, происходит на основе технологии, схожей с применяемой в радарных установках (рефлектометрия). В оптоволоконно запускаются лазерные

импульсы, и характеристики рассеянного излучения записываются как функции времени. При известном значении скорости света можно вычислить температуру волокна в зависимости от расстояния (температурный профиль). Пространственное разрешение таких измерений определяется длительностью импульса.

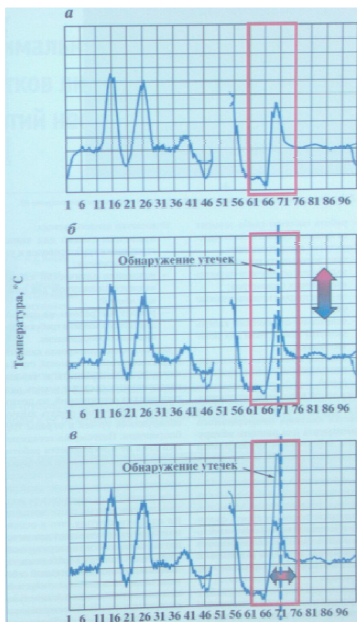


Рис. 1. График динамики изменения температуры в месте утечки

Метод позволяет определить температуру с точностью до  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , но не обнаруживает утечки, расположенные симметрично кабелю за трубопроводом.

**Датчик вибрации.** Также одним из наиболее перспективных типов систем мониторинга протяженных объектов является волоконно-оптическая система на основе когерентного рефлектометра (оптическое волокно используется как распределенный датчик вибрации).

В когерентном рефлектометре отраженные сигналы складываются когерентно: амплитуды сигналов, отраженных от разных неоднородностей и дефектов волокна, суммируются с учетом фазовых задержек. Малейшие смещения неоднородностей волокна друг относительно друга (порядка  $100\text{ нм}$ ) вызывают изменения в когерентной

рефлектограмме для данного участка волокна. При этом для прочих участков волокна вид рефлектограммы не меняется. Такие микроскопические смещения могут возникать при микровибрации волокна, вызванной внешним механическим или акустическим воздействием.

Сравнивая несколько последовательных рефлектограмм друг с другом, можно обнаружить участок, где на кабель осуществляется внешнее воздействие (рис. 2). Анализируя частоту, интенсивность, продолжительность воздействия и характер его изменения во времени, можно сделать определенные выводы о причине воздействия.

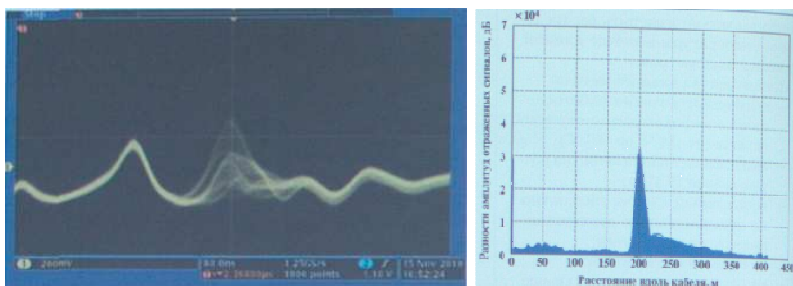


Рис. 2. Рефлектограммы на осциллографе (а), график разности рефлектограмм (б)

Метод может быть применим как инструмент мониторинга текущего состояния трубопровода, позволяющий оператору контролировать местонахождение и движение диагностических снарядов и очистных скребков.

Чувствительность рассматриваемой системы ограничена «шумом» измеряемых параметров, поэтому данный метод не позволяет регистрировать незначительные утечки.

**Деформация трубопровода.** Еще одной вариацией использования волоконно-оптического кабеля является система непрерывного мониторинга для раннего обнаружения деформации трубопровода и подвижек грунта. Этот метод основан на регистрации изменения деформации трубопровода с помощью волоконно-оптических сенсоров, установленных вдоль нее. Мониторинг подвижек грунта фиксирует негативные процессы на начальном этапе и позволяет своевременно предпринять меры по укреплению грунта и разгрузке деформации с трубопровода.

При изменении на участке трубопровода изменяются и параметры расположенного рядом оптического волокна, в которое постоянно



подаются зондирующие импульсы от измерительного прибора. Когда зондирующий импульс достигает проблемного участка, часть оптического сигнала отражается обратно. Измерения основаны на анализе этого обратного рассеянного излучения от запущенного в оптоволоконно-лазерного импульса.

Метод целесообразно применять в сейсмоопасных районах, а также в районах вечной мерзлоты.

Проанализировав каждый из рассмотренных методов, можно убедиться, что оптоволоконные системы имеют ряд технических ограничений, и наиболее эффективным решением задачи обнаружения утечек и охраны трубопроводов является объединение всех трех перечисленных выше методов. В основном будут использоваться два метода: акустический и температурный мониторинги, а при необходимости, например, в зонах повышенной сейсмоактивности и районах с неустойчивыми грунтами, дополнительно следует применять систему обнаружения деформаций трубопровода и подвижек грунта. Основным преимуществом комбинированного метода является то, что для его внедрения будут использоваться уже имеющееся оборудование и проложенный кабель.

Волоконно-оптический метод с начала 2000-х годов применяется на трубопроводах Нидерландов, Германии и Бельгии, а начиная с 2010 года – в России АО «Омега» на объектах ПАО «Транснефть». ПАО «Газпром» приступило к испытанию технологии в 2014 г.

Метод используется на участках российских трубопроводов протяженностью более пяти с половиной тысяч километров. Используемый метод – вибрационный (он же акустический).

На основе вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Волоконно-оптические методы обнаружения утечек в трубопроводах являются перспективными для обнаружения утечек и несанкционированных врезок.

2. Основными недостатками волоконно-оптических методов являются дороговизна их установки и высокая сложность внедрения на существующих трубопроводах.

3. Учитывая то, что метод уже применяется на протяженных участках российских магистральных трубопроводов, он признан экономически целесообразным.

4. Универсальность применения волоконно-оптического кабеля позволяет контролировать состояние трубопровода сразу по несколь-

ких параметрам, и в большинстве случаев будет достаточно применения первых двух типов контроля, а для сейсмоактивных условий следует применять комбинацию всех трех перечисленных нами в работе типов.

### **Библиографический список**

1. Ганеева Л.К., Ганеева Л.К., Шестаков Р.А. Анализ оптоволоконного метода обнаружения утечек в трубопроводах // Трубопроводный транспорт: теория и практика. – 2015. – № 4(50). – С. 44–46.

2. Трубопроводный транспорт нефти. Т.1. // Г.Г. Васильев, Г.Е. Коробков, М.В. Лурье [и др.]. – М.: Недра, 2002. – 407 с.

3. К вопросу о системах мониторинга целостности трубопроводов на основе волоконно-оптических датчиков / Р.А. Шестаков, Л.К. Ганеева, Д.Н. Комаров, Д.А. Яцкевич, Н.П. Чупракова // Промышленный сервис. – 2016. – № 2. – С. 31–34.

4. Шестаков Р.А. Отбор нефти из магистрального нефтепровода как частная задача параметрической диагностики. Постановка задачи // Технологии нефти и газа. – 2015. – № 2. – С. 55–59.

### **Сведения об авторах**

**Зайнутдинов Руслан Ильясович** – студент Российского государственного университета нефти и газа (Национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина, Москва, e-mail: rusling@mail.ru

**Бабакин Александр Дмитриевич** – студент Российского государственного университета нефти и газа (Национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина, Москва, e-mail: babakin-aleksandr@yandex.ru

### **About the authors**

**Zaynutdinov Ruslan Ilyasovich** – Student Russian State University of Oil and Gas (National Research University) named after I.M. Gubkina, Moscow, e-mail: rusling@mail.ru

**Babakin Alexander Dmitrievich** – Student Russian State University of Oil and Gas (National Research University) named after I.M. Gubkina, Moscow, e-mail: babakin-aleksandr@yandex.ru

## АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ BIM-ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

**А.У. Исингалеева**

Оренбургский государственный университет, Оренбург

В данной статье приводится реализация показателя уровня ошибок проекта при выборе определенных характеристик алгоритма нечеткого вывода Мамдани на базе пакета «Fuzzy Logic Toolbox».

**Ключевые слова:** эффективность BIM-технологий, теория нечетких множеств, уровни информационного моделирования.

## ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF BIM-TECHNOLOGIES IN THE INDUSTRY

**A.U. Isingaleeva**

Orenburg State University, Orenburg

In this article implementation, the index of the standard errors of the project, selecting certain characteristics of the algorithm of Mamdani fuzzy inference on the basis of a package of «Fuzzy Logic Toolbox».

**Keywords:** the effectiveness of BIM-technologies, the theory of fuzzy sets, the levels of information modeling.

В настоящее время во всем мире при проектировании различных бытовых и промышленных объектов и систем, обеспечивающих их функционирование, в том числе и систем электроснабжения, активно используется информационное моделирование (BIM).

Информационное моделирование можно разделить на такие уровни.

**Базовый.** В базовый уровень проектирования входит проектная документация в двухмерном формате без использования трехмерных данных.

**Начальный.** На начальном уровне используется двухмерное проектирование или трехмерное, дополненное некоторыми форматами, структурными данными.

**Высокий.** На высоком уровне развития и внедрения BIM-технологий – трехмерные проекты, включающие в себя «инструменты BIM» с входящими в них данными, которые, в свою очередь, предполагают согласованность чертежей с моделью, возможность

визуализированного представления модели, определение цены проекта, автоматическое выявление неполноценности модели, планирование и управление строительством [1].

**Итоговый.** Собранная воедино трехмерная среда представляет итоговый уровень. Взаимосвязанная модель строительных объемов, данные о затратах и управление жизненным циклом проекта характеризуют данный уровень [3].

Одна из проблем двумерного проектирования – это ошибки, допускаемые на этапе проектирования, – коллизии между конструкциями здания и его инженерными сетями, вызванные отсутствием нужных отверстий для инженерных систем, неправильный расчет количества материалов. Объем таких ошибок, вызванных недостаточно налаженной коллективной работой между специалистами, занимающимися проектированием различных разделов, уменьшается за счет работы в единой информационной среде с применением современных функций и автоматизированных расчетов. Кроме того, существует возможность автоматической проверки на коллизии, позволяющая устранить 100 % таких случаев [2].

На примере алгоритма Мамдани проанализируем изменение количества ошибок. Алгоритм Мамдани является одним из первых, который нашел применение в системах нечеткого вывода. Он примечателен тем, что работает по принципу «черного ящика». На вход поступают количественные значения, на выходе они же. На промежуточных этапах используются аппарат нечеткой логики и теория нечетких множеств. Итак, этапы нечеткого вывода выполняются последовательно. И все значения, полученные на предыдущем этапе, могут использоваться на следующем [4].

Системы нечеткого вывода позволяют решать задачи:

- автоматического управления;
- классификации данных;
- принятия решений и многие другие.

1. Этап создания структуры алгоритма. Редактор структуры позволяет создавать лингвистические переменные, которые будут участвовать в правилах вывода.

Входные переменные:

- уровень моделирования (базовый, начальный, высокий, итоговый);
- автоматизированные расчеты (минимальные, максимальные);
- использование проверок (отсутствие, частичное, полное).



Рис. 1. Общий вид модели в «MatLab»

Выходная переменная – количество ошибок (минимальное, среднее, большое, очень большое).

2. Формирование базы правил. База правил – это множество правил, где каждому подзаключению сопоставлен определенный весовой коэффициент.

База правил в общем виде имеет следующий вид (рис. 2):

ПРАВИЛО\_1: ЕСЛИ «Условие\_1», ТО «Заключение\_1» ( $F_1$ ) И «Заключение\_2» ( $F_2$ )

ПРАВИЛО\_2: ЕСЛИ «Условие\_2» И «Условие\_3», ТО «Заключение\_3» ( $F_3$ );

ПРАВИЛО\_п: ЕСЛИ «Условие\_k», ТО «Заключение\_(q-1)» ( $F_{q-1}$ ) И «Заключение\_q» ( $F_q$ );

где  $F_i$  – весовые коэффициенты, означающие степень уверенности в истинности получаемого подзаключения ( $i = 1..q$ ). Переменные, присутствующие в условиях, называются входными, а в заключениях – выходными:  $p$  – число правил нечетких продукций;  $m$  – количество входных переменных;  $s$  – количество выходных переменных;  $k$  – общее число подусловий в базе правил;  $q$  – общее число подзаключений в базе правил.

Составим свою базу правил и применим ее в программе MatLab, а именно в пакете FuzzyLogicToolbox:

1. ЕСЛИ Уровень моделирования ЕСТЬ Базовый И Автоматизированные расчеты ЕСТЬ Минимальные И Использование проверок ЕСТЬ Отсутствие, ТОГДА Количество ошибок ЕСТЬ Очень большое.

2. ЕСЛИ Уровень моделирования ЕСТЬ Базовый И Автоматизированные расчеты ЕСТЬ Минимальные И Использование проверок ЕСТЬ Частичная, ТОГДА Количество ошибок ЕСТЬ Большое.

3. ЕСЛИ Уровень моделирования ЕСТЬ Базовый И Автоматизированные расчеты ЕСТЬ Минимальные И Использование проверок ЕСТЬ Полная, ТОГДА Количество ошибок ЕСТЬ Среднее.

4. ЕСЛИ Уровень моделирования ЕСТЬ Высокий И Автоматизированные расчеты ЕСТЬ Минимальные И Использование проверок ЕСТЬ Полная, ТОГДА Количество ошибок ЕСТЬ Среднее.

5. ЕСЛИ Уровень моделирования ЕСТЬ Итоговый И Автоматизированные расчеты ЕСТЬ Максимальные И Использование проверок ЕСТЬ Полная, ТОГДА Количество ошибок ЕСТЬ Минимальное.

6. ЕСЛИ Уровень моделирования ЕСТЬ Высокий И Автоматизированные расчеты ЕСТЬ Максимальные И Использование проверок ЕСТЬ Полная, ТОГДА Количество ошибок ЕСТЬ Минимальное.

|   |                                       |
|---|---------------------------------------|
| ЕСЛИ Уровень моделирования ЕСТЬ Базовый И Автоматизированные расчеты ЕСТЬ Минимальные И Использование проверок ЕСТЬ Отсутствия ТОГДА Количество ошибок ЕСТЬ Очень большое |                                       |
| ЕСЛИ Уровень моделирования ЕСТЬ Базовый И Автоматизированные расчеты ЕСТЬ Минимальные И Использование проверок ЕСТЬ Частичная ТОГДА Количество ошибок ЕСТЬ Большое        |                                       |
| ЕСЛИ Уровень моделирования ЕСТЬ Базовый И Автоматизированные расчеты ЕСТЬ Минимальные И Использование проверок ЕСТЬ Полная ТОГДА Количество ошибок ЕСТЬ Среднее           |                                       |
| ЕСЛИ Уровень моделирования ЕСТЬ Высокий И Автоматизированные расчеты ЕСТЬ Минимальные И Использование проверок ЕСТЬ Полная ТОГДА Количество ошибок ЕСТЬ Среднее           |                                       |
| ЕСЛИ Уровень моделирования ЕСТЬ Итоговый И Автоматизированные расчеты ЕСТЬ Максимальные И Использование проверок ЕСТЬ Полная ТОГДА Количество ошибок ЕСТЬ Минимальное     |                                       |
| ЕСЛИ Уровень моделирования ЕСТЬ Высокий И Автоматизированные расчеты ЕСТЬ Максимальные И Использование проверок ЕСТЬ Полная ТОГДА Количество ошибок ЕСТЬ Минимальное      |                                       |
|   |                                       |
| Если  |                                       |
| Лингвистическая переменная  | Не Терм                               |
| Уровень моделирования   | <input type="checkbox"/> Высокий      |
| Автоматизированные расчеты  | <input type="checkbox"/> Максимальные |
| Использование проверок  | <input type="checkbox"/> Полная       |
| Тогда   |                                       |
| Лингвистическая переменная  | Не Терм                               |
| Количество ошибок   | <input type="checkbox"/> Минимальное  |

Рис. 2. База правил

3. Этап приведение к нечеткости. На вход поступают сформированная база правил и массив входных данных:  $A = \{a_1, \dots, a_m\}$ . В этом массиве содержатся значения всех входных переменных. Целью этого этапа является получение значений истинности для всех подусловий из базы правил. Это происходит так: для каждого из подусловий находится значение  $b_i = \mu(a_i)$ . Таким образом, получается множество значений  $b_i$  ( $i = 1..k$ ).

Массив входных данных у нас будет выглядеть следующим образом:  $A = \{\text{Уровень моделирования, автоматизированные расчеты, использование проверок}\}$  [5] (рис. 3–6).

Для каждого из подусловий, как было изложено выше, находим значение  $b_i$ :  $b_1 = \mu(10, 25, 60, 95)$ ,  $b_2 = \mu(25, 95)$ ,  $b_3 = \mu(10, 60, 95)$ .

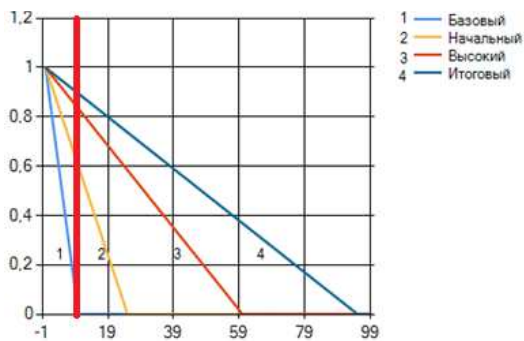


Рис. 3. График принадлежности для входной переменной «уровни моделирования»

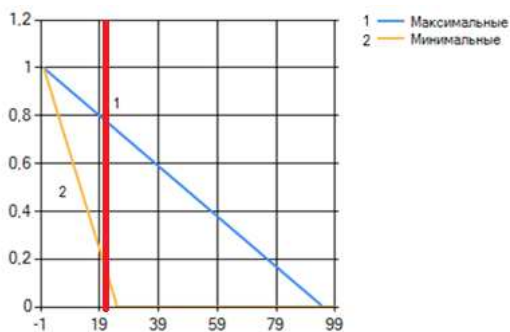


Рис. 4. График принадлежности для входной переменной «автоматизированные расчеты»

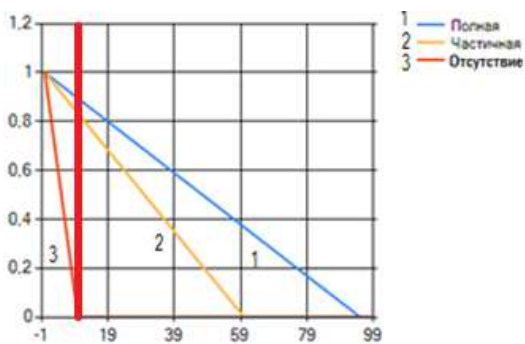


Рис. 5. График принадлежности для входной переменной «использование проверок»

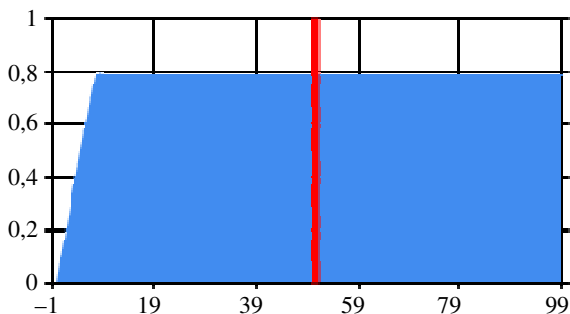


Рис. 6. Выходной параметр – количество ошибок  
(минимальное, среднее, большое, очень большое)

1. Получение нечеткого множества для каждой из выходных переменных. Для  $i$ -й выходной переменной сопоставляется объединение множеств:

$$E_i = \cup D_j,$$

где  $j$  – номера подзаключений в которых участвует  $i$ -я выходная переменная ( $i = 1..s$ ).

Объединением двух нечетких множеств является третье нечеткое множество со следующей функцией принадлежности:

$$\mu'_i(x) = \max\{\mu_1(x), \mu_2(x)\},$$

где  $\mu_1(x), \mu_2(x)$  – функции принадлежности объединяемых множеств.

**Заключение.** Таким образом, использован метод нечетких множеств Мамдани, найдена и наглядно показана зависимость количества ошибок от уровня моделирования, а также показано использование автоматизированных расчетов и проверок.

### Библиографический список

1. Талапов В.В. Основы ВМ. Введение в информационное моделирование зданий. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 392 с.
2. Антонов А., Емельянов А., Храпкин П. Использование САПР различных конфигураций // САПР и графика. – 2015. – 192 с.



3. Талапов В.В. Информационное моделирование зданий – современное понимание // CADmaster. – 2010. – С. 114–121.

4. Алтунин А.Е., Семухин М.В. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях: монография. – Тюмень: Изд-во Тюмен. гос. ун-та, 2000. – 352 с.

#### **Сведения об авторе**

**Исингалеева Асия Утеумовна** – студентка Оренбургского государственного университета, Оренбург, e-mail: asya.isingaleeva@yandex.ru

#### **About the author**

**Isingaleeva Asiya Uteumovna** – Student Orenburg State University, Orenburg, e-mail: asya.isingaleeva@yandex.ru

## ПОТЕНЦИАЛ ТЕРМОЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Е.А. Брызгалова, Д.Н. Минин, Г.А. Килин**  
Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

В статье приводятся актуальные данные о производстве электроэнергии на территории Российской Федерации из возобновляемых и невозобновляемых источников, анализ их недостатков. Рассматривается альтернативный способ получения электроэнергии путем использования термоядерного синтеза на примере международного экспериментального термоядерного реактора (ITER).

**Ключевые слова:** термоядерный синтез, электроэнергия, возобновляемый источник, невозобновляемый источник.

## THE POTENTIAL USE OF FUSION POWER ON THE TERRITORY OF THE RUSSIAN FEDERATION

**E.A. Bryzgalova, D.N. Minin, G.A. Kilin**  
Perm Nation Research Polytechnic University, Perm

In this article provides current data on the production of electricity in the Russian Federation from renewable and non-renewable sources, an analysis of their shortcomings. An alternative method of generating energy by using thermonuclear fusion is considered on the example of an international experimental thermonuclear reactor (ITER).

**Keywords:** thermonuclear synthesis, electro energy, renewablesource, non-renewablesource.

В настоящее время основное количество энергии, потребляемой миром, создается за счет сжигания ископаемых природных топлив, преобразования энергии воды и энергии ядерного распада, использование которых уже привело к тяжелым экологическим проблемам и потенциально несет огромную опасность катастрофических экологических изменений.

Основное количество электроэнергии (примерно 58 %), производимой на территории Российской Федерации, вырабатывают тепловые электростанции (ТЭС). Это обусловлено использованием дешевого и распространенного горючего топлива, малой занимаемой

площадью, низкой стоимостью выработки электроэнергии, возможностью строительства ГЭС в любом месте за сравнительно малые капиталовложения [1]. Но несмотря на их распространённость, они имеют ряд значительных недостатков: нарушение экологического равновесия, теплового баланса водоемов и естественного природного рельефа, загрязнение атмосферы, высокие расходы по их обслуживанию, необходимость точной организации процесса поставки топливных ресурсов, а также ГЭС сложно справляются с необходимостью принимать участие в покрытии переменной части суточного графика электрической нагрузки.

Гидроэлектростанции (ГЭС) – один из самых распространённых видов ЭС на территории РФ. На долю ГЭС приходится 17 % от всей получаемой электроэнергии [1]. Производство энергии на ГЭС не сопровождается выбросами отходов и загрязнением воздуха. Производство легко контролировать и в сравнении с ТЭС дешевле обслуживать, а использование возобновляемого природного ресурса обеспечивает низкую себестоимость. Минусы ГЭС заключаются в большой стоимости строительства, которое возможно только в местах с большим запасом энергии воды, в затоплении больших участков земли, в нарушении нерестового цикла рыб, в пересыхании рек.

Еще один распространенный вид энергетики в России – ядерная энергетика. На атомных электростанциях (АЭС) вырабатывается 19 % электроэнергии РФ [1]. АЭС обладает большей мощностью по сравнению с ГЭС и ТЭС, а также низким уровнем сырьевого потребления, однако несет в себе большую опасность последствий возможной аварии за счет выброса радиации. Недостатками АЭС являются: тепловое загрязнение окружающей среды, большие затраты на ликвидацию станции, нежелательна работа в манёвренных режимах, утечка радиоактивности, сложность в обработке, транспортировке и ликвидации радиоактивных отходов.

Возобновляемые источники энергии (за исключение ГЭС) в России практически не используются [1]. Низкое развитие данного направления связано с малой выгодой и неспособностью конкурировать с другими способами производства электроэнергии. Обладая такими хорошими особенностями, как возобновляемость, экологичность и доступность, они требуют больших капиталовложений и долгой окупаемости. Также возобновляемые источники имеют ряд недостатков, таких как: большие занимаемые площади, способность работать

только в определенных местах, зависимость от природных условий, низкий объем выработки электроэнергии, неспособность покрывать переменную часть суточного графика электрической нагрузки. Таким образом, эти источники электроэнергии выступают лишь в роли вспомогательных источников энергоснабжения [2, 3].

Данные способы производства электроэнергии ввиду повышения спроса и в связи с экологической ситуацией на планете не являются перспективными на длительное время, поскольку обладают большими недостатками. Ввиду этого в настоящее время ведутся разработки более эффективного и безопасного источника энергии – управляемого термоядерного синтеза (УТС). **Термоядерный реактор** – устройство для получения энергии за счёт реакций синтеза лёгких атомных ядер, происходящих в плазме при очень высоких температурах ( $\geq 10^8$  К). Важнейшие плюсы термоядерного реактора – снижение радиационной биологической опасности примерно в тысячу раз в сравнении со всеми современными атомными энергоустановками, а также возможность получения невероятного количества энергии.

Международный экспериментальный термоядерный реактор ИТЭР (ITER, International Thermonuclear Experimental Reactor) – крупномасштабный научно-технический проект, направленный на строительство первого международного экспериментального термоядерного реактора. Задача ИТЭР заключается в демонстрации возможности коммерческого использования термоядерного реактора и решении физических и технологических проблем, которые могут встретиться на этом пути.

**Реактор и топливо.** В основе работы реактора ИТЭР лежит термоядерная реакция слияния изотопов водорода дейтерия и трития с образованием гелия с энергией 3,5 мегаэлектронвольт и высокоэнергетического нейтрона (14,1 мегаэлектронвольт). Для этого дейтерий-тритиевая смесь должна быть нагрета до температуры более 100 млн град Цельсия, что в пять раз больше температуры Солнца. При этом смесь превращается в плазму из положительно заряженных ядер водорода и электронов. В такой разогретой плазме энергии дейтерия и трития достаточно, чтобы начались термоядерные реакции слияния с образованием гелия и нейтрона. На один акт реакции выделяется энергия в 17,6 мегаэлектронвольт, которая включает в себя кинетическую энергию нейтрона и ядра гелия. Нейтрон из плазмы попадает в теплоноситель, которым окружена плазма, и его энергия

движения переходит в тепловую энергию. Энергия гелия используется для поддержания стационарного температурного режима в плазме. Дейтерий содержится в обычной воде; его ученые научились добывать сравнительно легко. В природном водороде содержится около 0,01 % этого изотопа. С тритием сложнее – его почти нет на Земле. Однако ученые планируют получать его в рамках проекта ИТЭР, используя реакции взаимодействия нейтрона с изотопами лития Li-6 и Li-7, который может быть введен в состав теплоносителя blankets – оболочки, окружающей плазму. Продуктами такого взаимодействия являются гелий, тритий и нейтрон (в случае изотопа Li-7). Таким образом, топливом для реактора являются дейтерий и литий. При этом содержание дейтерия в воде океана практически не ограничено, а лития в земной коре почти в 200 раз больше, чем урана, и калорийность термоядерного топлива в миллион раз выше любого из современных неядерных источников энергии.

Основой ИТЭР является токамак – тороидальная камера с магнитным полем. Сердцем токамака (рисунок) является его вакуумная камера в форме тора («бублика»).

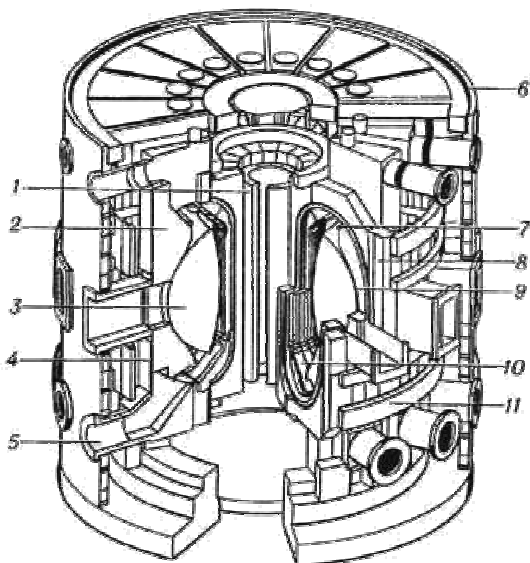


Рис. Схема «токамака» ИТЭР: 1 – центральный соленоид; 2 – blanket-защита; 3 – плазма; 4 – вакуумная стенка; 5 – трубопровод отдачи; 6 – криостат; 7 – катушки активного управления; 8 – катушки тороидального магнитного поля; 9 – первая стенка; 10 – диверторные пластины; 11 – катушки полоидального магнитного поля

Внутри, под воздействием экстремальной температуры и давления, газообразное водородное топливо становится плазмой – горячим электрически заряженным газом. Как известно, звездное вещество представлено плазмой, а термоядерные реакции в ядре Солнца протекают как раз в условиях повышенной температуры и давления. Подобные условия для формирования, удержания, сжатия и разогрева плазмы создаются посредством массивных магнитных катушек, которые расположены вокруг вакуумного сосуда. Воздействие магнитов позволит ограничить горячую плазму от стен сосуда.

Перед началом процесса воздух и примеси удаляются из вакуумной камеры. Затем заряжаются магнитные системы, которые помогут контролировать плазму, и вводится газообразное топливо. Когда через сосуд проходит мощный электрический ток, газ электрически расщепляется и становится ионизированным (т.е. электроны покидают атомы) и образует плазму. По мере того как частицы плазмы активизируются и сталкиваются, они также начинают нагреваться. Вспомогательные методы нагрева помогают привести плазму к температурам плавления (от 150 до 300 млн °С). Частицы, «возбужденные» до такой степени, могут преодолеть свое естественное электромагнитное отталкивание при столкновении, в результате таких столкновений высвобождается огромное количество энергии [4–6].

**Участие России в проекте ИТЕР.** Россия занимает одну из ключевых позиций в реализации международного проекта **ИТЭР**. Прежде всего это объясняется колоссальным научно-технологическим потенциалом России в области термоядерных исследований. Еще в 1950 г. академики А.Д. Сахаров и И.Е. Тамм предложили использовать магнитное поле для удержания плазмы.

Позднее выдающиеся российские ученые под руководством академика Л.А. Арцимовича разработали и реализовали концепцию термоядерной установки **ТОКАМАК (Тороидальная камера с магнитными катушками)**, которая впоследствии стала мировым лидером в исследованиях по управляемому термоядерному синтезу и остается таковой по сей день. Именно эта установка была положена в основу термоядерного реактора **ИТЭР**. Россия также является инициатором проекта **ИТЭР**. Идея строительства международного термоядерного реактора была выдвинута и активно поддержана президентами М. Горбачевым, Р. Рейганом и Ф. Миттераном.

Вклад России в проект ИТЭР заключается в изготовлении и поставке высокотехнологичного оборудования, основных систем реактора, что составляет 10 % от стоимости сооружения реактора по техническому проекту [7].

**Заключение.** На сегодняшний день разработки в области управляемого термоядерного синтеза находятся среди самых перспективных для электроэнергетики. Данное преимущество достигается за счет того, что термоядерный синтез предоставляет возможности для получения огромного количества электроэнергии при быстро иссякающих известных на данный момент энергетических ресурсах и ухудшении экологической ситуации на планете. Россия благодаря участию в проекте имеет полную проектную документацию реактора ИТЭР и принимает непосредственное участие в его осуществлении и дальнейшем исследовании. Это является значительным активом российской науки и экономики, который в дальнейшем должен обеспечить страну безопасной и чистой электроэнергией на всей ее территории.

### Библиографический список

1. Министерство энергетики Российской Федерации; Основные характеристики российской электроэнергетики [Электронный ресурс]. – URL: <https://minenergo.gov.ru/node/532> (дата обращения: 07.11.2018).
2. Иванов К.И. Жизнеспособность альтернативной энергетики в экономике России МУП // Интернет-журнал науковедение. – 2014. – № 1(20). – С. 15.
3. Капица П.Л. Энергия и физика: доклад на научной сессии, посв. 250-лет. Академии наук СССР, Москва, 8 октября 1975 г. // Вестник АН СССР. – 1976. – № 1. – С. 34–43.
4. Официальный Интернет-портал ИТЭР [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.iter.org/> (дата обращения: 10.11.2018).
5. Официальный российский Интернет-портал ИТЭР [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.iterrf.ru/> (дата обращения: 10.11.2018).
6. Интернет-портал Wikipedia [Электронный ресурс]. – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Международный\\_экспериментальный\\_термоядерный\\_реактор](https://ru.wikipedia.org/wiki/Международный_экспериментальный_термоядерный_реактор) (дата обращения: 08.11.2018).

7. Колмогоров Г.Л., Трофимов В.Н., Мельникова Т.Е. Производство сверхпроводниковых материалов со структурой A15 для магнитной системы международного термоядерного реактора (ITER) // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2011. – № 2. – С. 72–83.

#### **Сведения об авторах**

**Брызгалова Елена Анатольевна** – студентка Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: len4ik97@inbox.ru

**Минин Дмитрий Николаевич** – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: anskelann@gmail.com

**Килин Григорий Александрович** – старший преподаватель кафедры «Электротехника и электромеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: thisisforasm@rambler.ru

#### **About the authors**

**Bryzgalova Elena Anatolyevna** – Student Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: len4ik97@inbox.ru

**Minin Dmitry Nikolaevich** – Student Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: anskelann@gmail.com

**Kilin Grigory Alexandrovich** – Senior Lecturer at ETandEM department Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: thisisforasm@rambler.ru



## РЕЗЕРВНОЕ ПИТАНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ОСНОВЕ ГАЗОТУРБИННЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

**Д.А. Ведерников, Г.А. Килин**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

В статье рассмотрен общий вид работы газотурбинных электростанций. Приведены основные и неосновные источники питания газотурбинных электростанций. Обоснованы преимущества и недостатки газотурбинных электростанций.

**Ключевые слова:** газотурбинная установка, газотурбинная электростанция, газотурбинный двигатель, комбинированность.

## ENTERPRISES BACKUP POWER ON THE BASIS OF TURBINE POWER PLANT

**D.A. Vedernikov, G.A. Kilin**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

This article describes the General type of operation of gas turbine power plants. The main and non-main power sources of gas turbine power plants are given. The advantages and disadvantages of gas turbine power plants are substantiated.

**Keywords:** gas turbine installation, gas turbine power plant, gas turbine engine, combination.

Электроэнергетика играет ключевую роль как в жизни человека, так и в промышленности. В настоящее время проблема энергоэффективности является одной из приоритетных. Большой интерес привлекают газотурбинные установки (ГТУ) с малой и средней мощностью для выработки электроэнергии. По сравнению с другими агрегатами внутреннего сгорания газотурбинный движок обладает наибольшей удельной мощностью, что является его основным плюсом. Если раньше газовые турбины применялись только в авиации, то в настоящее время они широко используются на предприятиях нефтегазопереработки и нефтехимии для привода компрессоров и насосов, стационарных и передвижных электрических станций, а также на транспорте (речные и морские суда, локомотивы, тракторы и автомобили).

Газотурбинная электростанция [2, 3] – это инновационная установка, вырабатывающая тепло и электричество. Основу газотурбинной электростанции составляет газотурбинный двигатель. Газотурбинный двигатель, в свою очередь, представляет собой тепловой силовой агрегат, который осуществляет свою работу по принципу реорганизации тепловой энергии в механическую. Количество двигателей может меняться, все зависит от эксплуатационных требований.

Электрический КПД современных газотурбинных установок составляет 33–39 %. КПД газотурбинных установок в целом ниже, чем у газопоршневых силовых агрегатов. Но с газотурбинными установками значительно упрощается задача получения высокой мощности электростанции. При реализации всего теплового потенциала газовых турбин значимость высокого электрического КПД для потребителей становится менее актуальной. С учетом высокой температуры выхлопных газов в мощных газотурбинных установках имеется возможность комбинированного использования газовых и паровых турбин. Такой инженерный подход позволяет существенно повысить эффективность использования топлива и увеличивает электрический КПД установок до 57–59 %. Этот способ хорош, но ведет к удорожанию и усложнению проекта [6].

**Принцип действия.** В газотурбинных электростанциях открытого цикла чаще всего используется сжиженный природный газ (рисунок), но допускается также использование любых горючих материалов, которые можно диспергировать (тонко измельчить) и представить в газообразном виде.

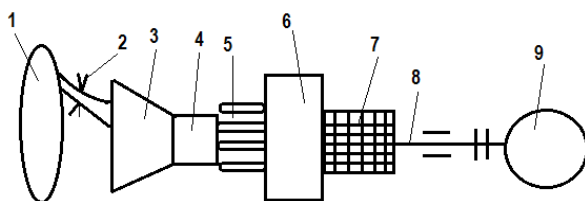


Рис. Схематическое изображение газотурбинной электростанции:  
1 – теплообменный контур, 2 – улитка, 3 – компрессор низкого давления,  
4 – компрессор высокого давления, 5 – лопатки компрессора, 6 – камера сгорания, 7 – лопасти силовой турбины, 8 – вал генератора, 9 – генератор

Необходимый для работы двигателя газ подается под давлением в теплообменный контур 1, там происходит повышение температуры и его регазификация. Для работы газотурбинного двигателя необходимо,

чтобы в его камеру сгорания поступила смесь газа и воздуха. Атмосферный воздух втягивается через улитку 2. Компрессор низкого давления 3 перекачивает полученную смесь в компрессор высокого давления 4, после чего данное сочетание попадает в камеру сгорания 6. Полученное соединение имеет свойство легкого воспламенения, что приводит к образованию энергии в виде потока раскалённых газов. Этот поток с высокой скоростью движется на лопасти силовой турбины 7, приводя в движение вал 8. Кинетическая энергия через вал приводит в действие генератор 9. Продукты сгорания выводятся через выхлопную систему. В свою очередь, полученная электроэнергия через трансформаторы направляется в электросети и, соответственно, до конечного пользователя [8].

**Преимущества и недостатки ГТЭС.** Как показывает практика, у ГТЭС имеются свои плюсы и минусы [1]. Несомненно, можно отнести к преимуществам ГТЭС тот факт, что есть возможность одновременного применения двух видов энергии – электрической и тепловой. Сама газотурбинная электростанция весьма надежна, поскольку в среднем длительность работы узлов без капитального ремонта может составлять до 100–130 тыс. ч. КПД ГТУ на электростанции может достигать порядка 51 %, а при утилизации уходящих газов общий КПД достигает уже 93 %. Немаловажным является то, что ГТЭС имеют довольно небольшие размеры, это позволяет их возводить в довольно короткие сроки, а соответственно, вводить в эксплуатацию, а затем быстро окупаться. Электростанции данных типов имеют высокую степень экологичности, на что последнее время уделяется все больше внимания [1]. Автоматический режим работы (а, следовательно, простота управления) и минимальное число обслуживающего персонала делают их наиболее оптимальными и уменьшают вероятность человеческого фактора при работе.

Помимо большого числа преимуществ газотурбинных станций, они также обладают и рядом недостатков. Во-первых, при практическом использовании ГТУ на электростанциях для получения полезной мощности на входе температура подаваемого газа должна быть более чем 550 град. Это создает определенные трудности при выборе материала для строительства. Достижение таких высоких температур усложняет конструкцию минирования систем охлаждения греющихся частей. Во-вторых, в ГТЭС вращающаяся турбина создает высокий уровень шума, что превышает, например, шум, производимый паро-

турбинной установкой. В-третьих, использование твердых видов топлива практически невозможно либо их приходится диспергировать, что уменьшает возможность их применения в разных районах. В-четвертых, ГТЭС принимает нагрузку через 15–17 мин после пуска, и около половины развиваемой турбиной мощности расходуется на привод компрессора.

**Сферы применения.** Применение ГТЭС разумно в районах, отдаленных от центральных линий электропередачи и объектов, функции которых рассчитаны на сезон, так как использование таких электростанций экономически выгоднее, чем подключаться к сетям ЛЭП.

Как правило, крупногабаритные газотурбинные электростанции располагают ближе к Северу, это обусловлено тем, что там расположены районы с дешевыми видами топлива – нефтью и газом. Плюсом этого еще является то, что можно тем самым сэкономить на обогреве помещений.

Возможности использования малых электростанций на основе ГТУ весьма обширны – это и жилищно-коммунальное хозяйство, и нефтегазовые месторождения, сельское хозяйство, общественные сооружения.

В городских районах данный тип станций применяется в качестве автономных источников, это также обусловлено тем, что малые ГТЭС имеют низкие вибрации, создают низкий уровень шума, выбросы от них незначительны [4].

**Резервное питание предприятий на основе газотурбинных электростанций.** Газотурбинные установки могут работать не только на газообразном топливе, но также и на жидком. Безусловно, это делает газотурбинные установки надежными и адаптированными к более широким возможностям их использования, особенно при автономном электроснабжении [4].

При рассмотрении жидких видов топлива можно сказать, что наиболее предпочтительными для предприятий являются продукты, полученные от перегонки нефти. В нашей стране крупными районами по добыче нефтепродуктов являются Западно-Сибирское, Краснодарское, Сахалинское, Мангышлакское месторождения. В газотурбинных установках применяется легкое и тяжелое дистиллятное, а также остаточное топливо.

Газообразные виды топлива – это природный газ и искусственный газ. Немаловажным моментом является тот факт, что при добыче нефти добывают разновидность природного газа – попутный газ.

Искусственный газ представляет побочный продукт, полученный в результате физико-химических и термохимических преобразований различных видов твердого топлива – каменных и бурых углей, сланцев.

Органические виды топлива – чаще всего это сложные углеводороды. Помимо горючих частей имеются и негорючие составляющие топлива (азот и кислород). Особое внимание уделяют сере (S) при выборе горючих веществ для ГТЭС. Поскольку оксид серы и серный ангидрид вызывают интенсивную коррозию металлических поверхностей, а также загрязняют атмосферу [5].

**Перспективы развития.** Развитие ГТЭС идет постоянно, с каждым годом появляются двигатели с увеличенным КПД и сроками эксплуатации. Как уже отмечалось ранее, газотурбинные электростанции работают как на жидком, так и на газообразном виде топлива. Поэтому в строительстве данных типов электростанций более заинтересованными являются газовые и нефтяные компании, поскольку при близком расположении ГТЭС от места добычи можно иметь собственные дополнительные энергоресурсы. Это прежде всего уменьшает затраты на приобретение электроэнергии из центральных сетей, особенно в районы, удаленные от центра, где наблюдаются большие потери в сетях ЛЭП, что опять же приводит к удорожанию энергоресурсов.

Плюсом этих электростанций является их малая стоимость при строительстве. КПД ГТУ составляет на сегодняшний день от 35 до 38 %, и более перспективными являются комбинированные газотурбинные установки с паротурбинными, так как у парогазовых установок КПД значительно выше и достигает порядка 52–58 % [2, 7].

Установки мощностью 60...120 МВт могут быть с высокой эффективностью использованы для реконструкции ТЭЦ. Газотурбинные установки мощностью 15...30 МВт и ниже могут быть использованы в качестве децентрализованных источников электроэнергии и теплоты, для реконструкции отопительных и производственных котельных [7]. Конечно, на данном этапе развития большее предпочтение отдается гидроэлектростанциям и атомной энергетике, поскольку ресурс получения электроэнергии значительно выше, но

для локального использования для предприятия лучшим решением будут ГТУ и ПТУ [8].

**Заключение.** Из всего изложенного можно сделать вывод, что газотурбинные электростанции остаются перспективным направлением развития электроэнергетики. Для промышленных предприятий они являются прежде всего эффективными, особенно в нефтяной и газовой отраслях, обеспечивая бесперебойное питание, а также быструю окупаемость. ГТЭС в выборе топлива неприхотливы, поскольку могут потреблять газообразные и жидкие виды топлива, иногда твердые. Экологичность этих станций находится на достаточно высоком уровне, что опять доказывает необходимость их применения. Помимо электричества эти электростанции обладают свойством выработки тепла, что более востребованно в удаленных районах. В комбинированном цикле ГТУ с ПТУ достигается увеличение КПД, что делает их экономически более выгодными.

### Библиографический список

1. О применении турбогенераторов различных типов на парогазовых и газотурбинных электростанциях / Ю.Е. Гуревич, Э.А. Каспаров, И.А. Лабунец [и др.] // Электричество. – 1996. – № 4. – С. 2–7.

2. Ольховский Г.Г. Применение ГТУ и ПГУ на электростанциях // Энергорынок. – 2004. – № 5.

3. Килин Г.А., Ждановский Е.О. Получение быстрорешаемой модели системы «ГТУ – синхронный генератор» с помощью идентификации // Энергетика. Инновационные направления в энергетике. CALS-технологии в энергетике: материалы VI Междунар. интернет-конф.; г. Пермь, 1–30 ноября 2012 г. / Перм. нац. исслед. политехн. ун-т. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2012. – С. 225–236.

4. Мальцев И.А., Килин Г.А. Перспективы использования газотурбинных электростанций. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2017. – С. 179–185.

5. Романов В.В., Филоненко А.А., Чобенко В.Н. Применение газотурбинных технологий – эффективный путь модернизации энергетики Украины // Наукові праці. Сер. Техногенна безпека. – Миколаїв: ЧДУ ім. П. Могили, 2005 – Т. 41. – С. 163–167.

6. Цанев С.В., Бурев В.Д., Ремезов А.Н. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций. – М: Изд-во МЭИ, 2002.

7. Фам Х.А., Рассохин В.А., Андреев К.Д. Состояние и перспективы развития энергетики Вьетнама // Научно-технические ведомости Санкт-Петербург. гос. политехн. ун-та. – СПб: Изд-во Санкт-Петербург. политехн. ун-та Петра Великого, 2013. – С. 32–35.

### **Сведения об авторах**

**Ведерников Дмитрий Андреевич** – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: vedernikov.d.a98@mail.ru

**Килин Григорий Александрович** – старший преподаватель кафедры «Электротехника и электромеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: thisisforasm@rambler.ru

### **About the authors**

**Vedernikov Dmitry Andreevich** – Student Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: vedernikov.d.a98@mail.ru

**Kilin Grigory Alexandrovich** – Senior Lecturer Department of Electrical Engineering and Electromechanics Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: thisisforasm@rambler.ru

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ВЫБОРА КАТЕГОРИИ И ЗОНЫ МОЛНИЕЗАЩИТЫ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ**

**А.А. Коннова, Н.Г. Семенова**

Оренбургский государственный университет, Оренбург

В работе изложено одно из возможных решений по выбору категории и зоны молниезащиты объекта на основе нечеткой логики.

**Ключевые слова:** молниезащита, нечеткая логика.

## **THE DEVELOPMENT OF THE SYSTEM SELECT THE CATEGORY AND ZONE OF LIGHTNING PROTECTION BASED ON FUZZY LOGIC**

**A.A. Konnova, N.G. Semenova**

Orenburg State University, Orenburg

The paper presents one of the possible solutions for the choice of category and area of lightning protection of the object based on fuzzy logic.

**Keywords:** lightning protection, thunderstorm, fuzzy logic.

Из года в год стихийные проявления сил природы, пока еще не подвластные человеку, вызывают катастрофы, несут огромный разрушительный потенциал, обезопасить воздействия которых можно путем точных инженерных решений. Перед инженером-проектировщиком встает вопрос, какую категорию и зону молниезащиты применить для защищаемого объекта.

В связи с этим целесообразно разрабатывать систему выбора категории и зоны молниезащиты с использованием методов искусственного интеллекта. В контексте данной работы предлагается осуществить выбор категории и зоны молниезащиты на основе нечеткой логики [1].

Анализ научно-технической литературы по существующим видам молниезащиты показал, что молниезащита делится на пассивную молниезащиту (молниеприемная сетка; тросовая молниезащита; молниеприемный стержень) и активную молниезащиту. В свою очередь все виды молниезащиты делятся на три категории [2].

Целью проведенного исследования является программная реализация методики выбора категории и зоны молниезащиты зданий



и сооружений методом нечеткого вывода Мамдани. Ключевой его особенностью является возможность сокращения объема необходимых вычислений за счет перехода от количественных показателей к качественным (лингвистическим переменным) [1].

В контексте нашего исследования нами предложена модель нечеткого вывода, содержащая три входные лингвистические переменные и две выходные.

Входными лингвистическими переменными являются:

1. Количество поражений в год, содержащее три термина (низкое, среднее, высокое), выбрана функция принадлежности на основе функции распределения Гаусса;

2. Продолжительность гроз, содержащая четыре термина (маленькое, среднее, высокое, сильное), выбрана функция принадлежности на основе функции распределения Гаусса;

3. Взрыво- и пожароопасность, содержащая три термина (отсутствует, пожароопасна, взрывоопасна), выбрана треугольная функция принадлежности.

Выходными лингвистическими переменными являются:

1. Категория молниезащиты, содержащая три термина (первая, вторая, третья), выбрана треугольная функция принадлежности;

2. Зона защиты, содержащая три термина (отсутствует, зона А, зона Б), выбрана треугольная функция принадлежности.

На рис. 1 представлена разработанная нами структурная схема по выбору категории и зоны молниезащиты.

Для реализации нечеткого вывода была разработана база знаний, содержащая 56 нечетких правил.

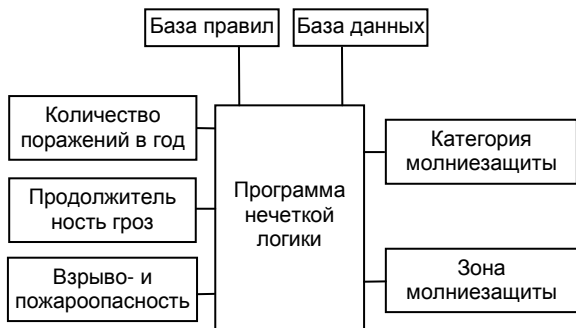


Рис. 1. Структурная схема по выбору категории и зоны молниезащиты

Выбор оптимальной категории и зоны молниезащиты осуществлялся путем объединения трех нечетких множеств со следующей функцией принадлежности:

$$\mu(K, z) = \max\{\mu_1(N), \mu_2(t), \mu_3(p)\}, \quad (1)$$

где  $\mu_1(N)$  – функция принадлежности кол-ва поражений в год,  $N$ ;  $\mu_2(t)$  – функция принадлежности продолжительности гроз,  $t$ ;  $\mu_3(p)$  – функция принадлежности взрыво- и пожароопасности,  $p$ ;  $\mu(K, z)$  – функция принадлежности категории и зоны молниезащиты,  $K, z$ .

Соответствующие заданным термам функции принадлежности для входных переменных изображены на рис. 2.

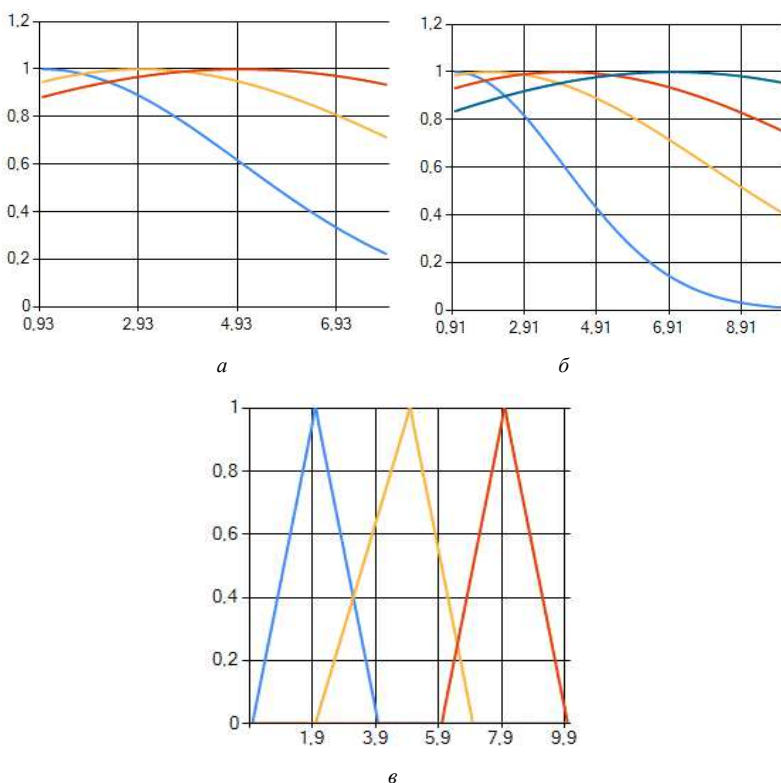


Рис. 2. Функции принадлежности для входных переменных: *a* – входная переменная «Количество поражений в год»; *б* – входная переменная «Продолжительность гроз»; *в* – входная переменная «Класс взрыво- и пожароопасности»

В соответствии с введенными состояниями были рассмотрены примеры возможных комбинаций входных переменных и определено множество лингвистических правил:  $R=\{R_1, R_2, \dots, R_n\}$ . Примеры разработанных правил:

R1 – Если «Кол-во поражений в год» «Высокое» и «Продолжительность гроз» «Сильная» и «Класс взрыво- и пожароопасность» «Взрывоопасно», то «Категория молниезащиты» «Первая» и «Зона защиты» «Зона А»;

R2 – Если «Кол-во поражений в год» «Высокое» и «Продолжительность гроз» «Высокая» и «Класс взрыво- и пожароопасность» «Пожароопасно», то «Категория молниезащиты» «Третья» и «Зона защиты» «Зона Б»;

R3 – Если «Кол-во поражений в год» «Низкое» и «Продолжительность гроз» «Высокая» и «Класс взрыво- и пожароопасность» «Отсутствует», то «Категория молниезащиты» «Третья» и «Зона защиты» «Отсутствует».

Для нахождения конкретного числового значения выходной переменной необходимо привести к четкости, т.е. дефазифицировать.

Дефазификация выполняется по методу наибольшего модального значения:

$$K = \max\{K_M\}, \quad (2)$$

где  $K_M$  – модальное значение нечеткого множества для выходной переменной  $K$  после аккумуляции.

Достоинства разработанной программной реализации на основе алгоритма Мамдани:

- выбор категории и зоны молниезащиты осуществляется по трем входным переменным;
- система осуществляет выбор категории молниезащиты в соответствии с нормативными значениями;
- система определяет оптимальную категорию и зону молниезащиты, обеспечивая безопасность от грозových перенапряжений.

### Библиографический список

1. Андреенок И.С., Семенова Н.Г. Анализ существующих систем автоматизированного управления внутренним освещением // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: материалы всерос. науч.-метод. конф. (с междунар. участ.) / Оренбург. гос. ун-т. – Оренбург, 2016. – С. 457–461.

2. Коннова А.А., Семенова Н.Г. Анализ существующих молниеприемников // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: материалы всерос. науч.-метод. конф. / Оренбург. гос. ун-т. – Оренбург., 2018. – С. 3006–3008.

3. Осипов Г.С. Методы искусственного интеллекта. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011. – 296 с.

#### **Сведения об авторах**

**Семенова Наталья Геннадьевна** – доктор педагогических наук, кандидат технических наук, профессор кафедры «Автоматизированный электропривод, электромеханика и электротехника» Оренбургского государственного университета, Оренбург e-mail: tomsk@house.osu.ru

**Коннова Анна Александровна** – магистрант Оренбургского государственного университета, Оренбург, e-mail: konnovanna@yandex.ru

#### **About the authors**

**Semenova Natalya Gennadevna** – Doctor of Pedagogical Sciences, Candidate of Engineering Sciences, Professor of the Department of automated electric drive, electromechanics and electrical engineering Orenburg State University, Orenburg, e-mail: tomsk@house.osu.ru

**Konnova Anna Aleksandrovna** – Master Student Orenburg State University, Orenburg, e-mail: konnovanna@yandex.ru

## ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СЖИГАНИЯ УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ (ЭХТС)

**С.Д. Кошкарров, Е.Н. Яганов, Е.Г. Мин,  
С.Ф. Николаев, А.А. Шинкарёв**

Новосибирский государственный технический университет,  
Новосибирск

В статье описана технология сжигания угольной пыли при помощи технологии ЭХТС, описаны результаты опытов на огневом стенде и место технологии в энергоресурсосбережении на пылеугольных тепловых станциях.

**Ключевые слова:** воспламенение, растопка, экономия, электричество, уголь, сжигание, стабилизация, эффективность.

## ELECTROCHEMICAL TECHNOLOGY OF COMBUSTION PULVERIZED COAL (ECTC)

**S.D. Koshkarov, E.N. Yaganov, E.G. Min,  
S.F. Nikolaev, A.A. Shinkaryov**

Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk

This article describes the technology of burning pulverized coal with the help of ECTC technology, described the results of experiments on the firing stand and place of technology in the energy and resource saving at pulverized coal-fired thermal power plants.

**Keywords:** combustion, kindling, economy, electricity, coal, burning, stabilization, efficiency.

В последнее время в связи с глобальным недостатком электрической и тепловой энергии и неуклонным увеличением использования твёрдых топлив в мировом энергетическом балансе, при снижении качества сжигаемого топлива (перевод котлоагрегатов на бурые угли взамен каменных), остро встаёт вопрос экономичности и экологичности работы котлоагрегатов на непроектных топливах.

Среди негативных моментов в работе тепловых станций, влияющих на экологию и неэкономный режим работы, следует отметить растопки и минимальные нагрузки на котлоагрегатах. В обоих случаях прибегают к помощи высокорреакционных топлив, таких как газ, мазут или дизельное топливо, так как угольная пыль не воспла-

меняется при низких температурах газов в топке. Это влечёт за собой огромные расходы и увеличение вредных выбросов в виде непосредственно несожжённой угольной пыли и монооксида углерода.

В АО «Сибтехэнерго» была разработана электрохимическая технология сжигания (ЭХТС) пылеугольного топлива, которая призвана минимизировать убытки, связанные с растопками пылеугольных котлоагрегатов, а также дающая возможность разгружать котлоагрегаты без использования «подсветки» пылеугольного факела.

Был получен патент на изобретение № 2610370 «Способ электрохимического факельного сжигания угольной пыли».

Суть электрохимической технологии заключается в интенсификации ионизационных процессов зоны в пограничном слое корня факела, от состояния этой зоны зависит горение топлива при факельном сжигании. Данная технология является составной частью сжигания пылеугольного топлива и предусматривает непрерывное её использование. Существует технология плазменной активации воспламенения топлива, разработанная российскими учёными (институт теплофизики СО РАН и т.д.), которая также позволяет воспламенять угольную пыль без применения высокорекреационного топлива.

Основными недостатками плазменной технологии воспламенения топлива являются:

1) низкий ресурс непрерывной работы (несколько сотен часов). Это связано с большим эрозийным износом электродов вследствие больших токов, протекающих через катод и анод. ЭХТС лишена этого недостатка, в период опытной эксплуатации было установлено, что ресурс работы электродов составляет 8000 ч. Этот факт позволяет использовать систему ЭХТС непрерывно;

2) низкий КПД из-за необходимости непрерывного и постоянного охлаждения электродов;

3) большое потребление электрической мощности – более 100 кВт. Мощность системы ЭХТС на порядок меньше – не более 10 кВт;

4) относительно высокие массогабаритные показатели, которые непосредственно влияют на удобство оснащения уже работающих котлоагрегатов, а также эксплуатацию данных агрегатов.

Были проведены испытания [1] технологии на огневом стенде Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН.

Целью работы являлось определение влияния расходно-динамических параметров пылевоздушной смеси на эффективность

зажигания угольной пыли кузнецких углей, а также определение оптимальных конструктивно-компоновочных параметров системы воспламенения. Исследовались режимы работы системы ЭХТС при прямоточном режиме движения зажигаемой пылевоздушной смеси в районе расположения электродов и в камере горения огневого стенда.

Для исследований использовалась приготовленная на промышленной среднеходной мельнице угольная пыль Кузнецкого каменного угля с исходными характеристиками:  $W^r = 12\%$ ,  $A^r = 15\%$ ,  $Q_i^r = 5140$  ккал/кг,  $V^{daf} = 44\%$ . Тонкость помола угольной пыли составила  $R_{90} = 20...25\%$  [2]. Сжигание производилось без предварительного подгрева топлива и воздуха.

В ходе проведения опытов проводились измерения трех температур внутренней обмуровки первого реактора (камеры горения) – термопары 1...3, далее два измерения температуры газов в самой камере горения – термопары 4–5, отбор газов для анализа, три измерения температуры в камере дожигания – термопары 6...8. Результаты замеров представлены на рис. 1.

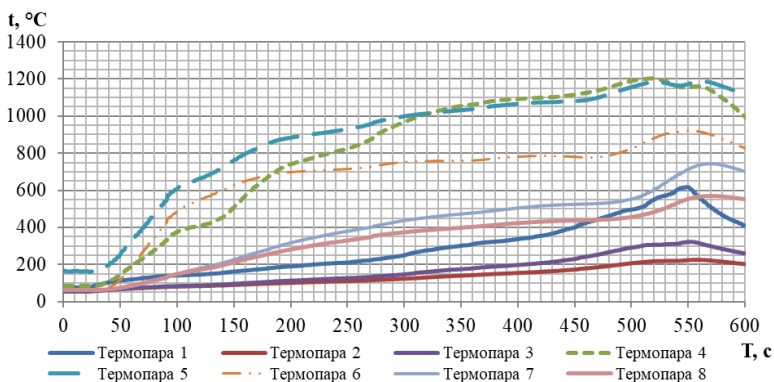


Рис. 1. Графики измерения температур в процессе опыта

После камеры дожигания производился анализ состава дымовых газов с помощью дополнительного газоанализатора TESTO-340. Основной отбор золы производился из бункера циклона перед дымососом. На рис. 2 представлены данные о газовом анализе продуктов сгорания в течение опыта. Параметры опыта: расход топлива 120 кг/ч, расход первичного воздуха 274  $\text{м}^3/\text{ч}$ , расход вторичного воздуха 500  $\text{м}^3/\text{ч}$ .

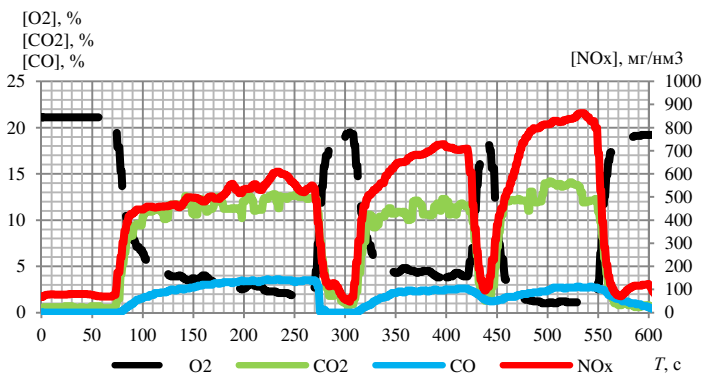


Рис. 2. Состав дымовых газов в течении опыта

Экспериментальные работы по исследованию разработанной в АО «Сибтехэнерго» технологии электрохимического сжигания топлива, проведенные на огневом стенде, позволили обосновать эффективность ее применения для сжигания угольной пыли кузнецких каменных углей при ее прямолинейном поступлении в камеры сгорания (горелки, предтопки, муфели и пр.).

Устойчивый поджиг на электродах и дальнейшее воспламенение угольной пыли были получены в условиях, близких к рекомендованным и практически применяемым [3] на горелочных устройствах пылеугольных котлов: скорость пылевоздушной смеси 10...20 м/с, избыток воздуха (коэффициент подачи первичного воздуха) 0,2...0,4, концентрация пыли 0,4...0,7 кг/кг.

Потребляемая электрическая мощность, измеренная осциллографами, составила 4...5 кВт.

В ходе исследовательских работ получены данные, способствующие широкому промышленному внедрению технологии электрохимического воспламенения в горелочных или комбинированных устройствах энергетических котлов электростанций, как минимум, при сжигании высокорекреакционных каменных и бурых углей. Это в значительной степени позволит успешно решать такие проблемы, как:

- подсветка факела при сжигании угольной пыли без использования реакционных топлив, таких как газ или мазут;
- расширение диапазона регулирования производительности котлов без подсветки газом или мазутом;
- снижение доли использования мазута при растопках.



## Библиографический список

1. Трёмбовля В.И., Фингер Е.Д., Авдеева А.А. Теплотехнические испытания котельных установок. – М.: Энергоатомиздат, 1991.
2. Пеккер Я.Л. Теплотехнические расчеты по приведенным характеристикам топлива. – М.: Энергия, 1977.
3. Установки котельные. Тепломеханическое оборудование. Общие технические требования. ГОСТ Р 50831-95 / Госстандарт России. – М., 1996.

## Сведения об авторах

**Кошкарлов Сергей Дмитриевич** – магистрант Новосибирского государственного технического университета, инженер отдела ЭНРКО котельного цеха АО «Сибтехэнерго», Новосибирск, e-mail: ksdnsk@gmail.com

**Яганов Егор Николаевич** – начальник отдела ЭНРКО котельного цеха АО «Сибтехэнерго», Новосибирск, e-mail: yaganov\_e\_n@mail.ru

**Мин Евгений Геннадьевич** – инженер отдела ЭНРКО котельного цеха АО «Сибтехэнерго», Новосибирск, e-mail: jenya.minn@gmail.com

**Николаев Сергей Фёдорович** – начальник котельного цеха АО «Сибтехэнерго», Новосибирск, e-mail: s.f.nikolaev@sibte.ru

**Шинкарёв Андрей Александрович** – старший инженер отдела ЭНРКО котельного цеха АО «Сибтехэнерго», Новосибирск, e-mail: shinkariov@rambler.ru

## About the authors

**Koshkarov Sergey Dmitrievich** – Master Student Novosibirsk State Technical University, engineer of the DEAWBE boiler department of JSC Sibtechenergo, Novosibirsk, e-mail: ksdnsk@gmail.com

**Yaganov Egor Nikolaevich** – Head of the Department of DEAWBE boiler department of JSC Sibtechenergo, Novosibirsk, e-mail: yaganov\_e\_n@mail.ru

**Min Evgeny Gennadievich** – Engineer of the DEAWBE boiler department of JSC Sibtechenergo, Novosibirsk, e-mail: jenya.minn@gmail.com

**Nikolaev Sergey Fedorovich** – Head of the boiler department of JSC Sibtechenergo, Novosibirsk, e-mail: s.f.nikolaev@sibte.ru

**Shinkaryov Andrey Alexandrovich** – Senior Engineer of the DEAWBE boiler department of JSC Sibtechenergo, Novosibirsk, e-mail: shinkariov@rambler.ru

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СИНХРОННОЙ МАШИНЫ С НЕСИММЕТРИЕЙ ФАЗНЫХ ОБМОТОК СТАТОРА ПРИ НАСЫЩЕНИИ МАГНИТОПРОВОДА**

**Г.В. Глазырин, Н.А. Митрофанов**

Новосибирский государственный технический  
университет, Новосибирск

Рассматриваются переходные процессы синхронной машины при учёте насыщения её магнитной системы. Предложен метод численного моделирования переходных процессов синхронной машины с возможностью учёта несимметрии обмотки статора и насыщения магнитной системы. Выполнен учёт влияния демпферных обмоток на переходной процесс, вызванный внезапным коротким замыканием в системе, и произведено сравнение с моделью, где отсутствуют демпферные обмотки. Проведен анализ результатов моделирования при учёте насыщения магнитной системы машины.

**Ключевые слова:** синхронная машина, переходной процесс, электро-энергетическая система, дифференциальные уравнения, численный метод, насыщение магнитопровода.

## **MODELING OF WORK OF SYNCHRONOUS MACHINE WITH UNSYMMETRY OF STATOR PHASE WINDINGS AT SATURATION OF THE MAGNETIC WIRE**

**G.V. Glazyrin, N.A. Mitrofanov**

Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk

Transient processes of a synchronous machine are considered taking into account the saturation of its magnetic system. A method is proposed for numerical simulation of the transient processes of a synchronous machine with the possibility of taking into account the asymmetry of the stator winding and the saturation of the magnetic system. The account of the effect of the soothing windings on the transient process caused by a sudden short circuit in the system is made and a comparison is made with the model where there are no damper windings. An analysis of simulation results is carried out taking into account the saturation of the machine's magnetic system.

**Keywords:** synchronous machine, transient process, electric power system, differential equations, numerical method, magnetic core saturation.

**Введение.** Известно, что аналитическое исследование электромагнитных и электромеханических переходных процессов в синхронной машине с учетом всех влияющих факторов является весьма

сложной задачей. В связи с этим для упрощения расчета приходится делать ряд допущений, которые вносят некоторые погрешности в оценку рассматриваемых параметров синхронной машины.

Однако в некоторых случаях принятые при расчете допущения не позволяют выявить и провести корректный анализ ненормальных режимов синхронной машины. Существующие программные пакеты моделирования переходных процессов в электроэнергетических системах, такие как MatLab Simulink [2], PSCAD, Mustang, используют для описания электромагнитных процессов синхронной машины уравнения Парка–Горева [1], которые записываются в неподвижной относительно ротора системе координат и предполагают полную симметрию фазных обмоток статора. Очевидно, что такой метод моделирования не может быть применен для расчета процессов в поврежденной синхронной машине с отличающимися параметрами фазных обмоток, как, например, при витковых замыканиях.

В исследовании приведен вывод системы дифференциальных уравнений, описывающих переходные процессы трехфазной синхронной машины с учетом индивидуальных активных сопротивлений и индуктивностей обмоток.

**Исходные уравнения, характеризующие работу синхронной машины.** Рассмотрим синхронную машину, имеющую три фазных обмотки, контур возбуждения, а также одну продольную и одну поперечную демпферные обмотки.

Обозначим через  $u_{\eta}$  ( $\eta = a, b, c$ ) и  $u_f$  мгновенные значения напряжений на фазных обмотках и обмотке возбуждения соответственно;  $i_{\eta}$  и  $i_f$  – мгновенные значения токов;  $\psi_{\eta}$  и  $\psi_f$  – результирующие потокосцепления обмоток;  $R_{\eta}$  и  $R_f$  – активные сопротивления фазных обмоток и обмотки возбуждения. Тогда дифференциальные уравнения равновесия ЭДС и падений напряжений в контурах синхронной машины будут иметь вид [1]:

$$\begin{cases} u_{\eta} = -\frac{d\psi_{\eta}}{dt} - R_{\eta}i_{\eta} & (\eta = a, b, c); \\ u_f = \frac{d\psi_f}{dt} + R_f i_f. \end{cases} \quad (1)$$

Кроме того, систему дифференциальных уравнений (1) следует дополнить уравнениями равновесия ЭДС и падений напряжений в демпферных контурах:

$$\begin{cases} 0 = -\frac{d\psi_{yd}}{dt} - R_{yd}i_{yd}; \\ 0 = -\frac{d\psi_{yq}}{dt} - R_{yq}i_{yq}, \end{cases} \quad (2)$$

где  $\psi_{yd}$  и  $\psi_{yq}$  – результирующие потокоцепления продольной и поперечной демпферных обмоток соответственно,  $R_{yd}$  и  $R_{yq}$  – их активные сопротивления,  $i_{yd}$  и  $i_{yq}$  – мгновенные значения токов в демпферных контурах.

Предлагаемый метод расчета переходных процессов основан на совместном решении уравнений (1) и (2), дополненных выражениями падений напряжений на сопротивлениях нагрузки. Такой подход делает возможным моделирование синхронной машины с различными параметрами фазных обмоток за счет описания электромагнитных процессов в каждой фазе отдельным дифференциальным уравнением.

**Дифференциальные уравнения для генератора.** В работе рассмотрен случай работы генератора на автономную нагрузку, подключенную по схеме «треугольник» (рис. 1).

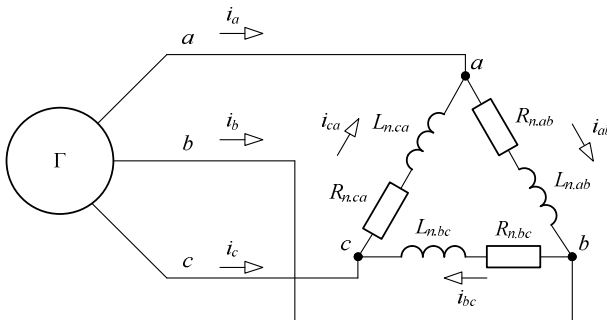


Рис. 1. Схема подключения нагрузки

Решение системы уравнений (1) включает в себя определение производной  $d\psi_k/dt$  от сложной функции, зависящей от токов в контурах и угла поворота ротора. Для этого к системе (2) применим следующую формулу производной сложной функции:

$$\frac{d\Psi_k}{dt} = \frac{\partial\Psi_k}{\partial\gamma} \frac{d\gamma}{dt} + \sum_m \frac{\partial\Psi_m}{\partial i_m} \frac{di_m}{dt}, \quad (k, m = ab, bc, ca, f, yd, yq)$$

и подставим полученные выражения в (1). Так как процесс определения производных для разных контуров однотипен, рассмотрим лишь одно уравнение для контура «ab» статора:

$$\begin{aligned} \frac{d\Psi_{ab}}{dt} &= \frac{\partial\Psi_{ab}}{\partial\gamma} \omega + \frac{di_{ab}}{dt} L_{ab.e} + \frac{di_{bc}}{dt} M_{.ab.e} + \frac{di_{ca}}{dt} M_{ca.e} + (M_{af} - M_{bf}) \frac{di_f}{dt} + \\ &+ (M_{ayd} - M_{byd}) \frac{di_{yd}}{dt} + (M_{ayq} - M_{byq}) \frac{di_{yq}}{dt} = \\ &= -L_{n.ab} \frac{di_{ab}}{dt} - u_{\Sigma ab}. \end{aligned} \quad (3)$$

Уравнения для остальных контуров могут быть получены тем же способом.

Частную производную потокосцепления по углу, входящую в (3), определим как:

$$\begin{aligned} \frac{\partial\Psi_{ab}}{\partial\gamma} &= \frac{dL_{ab.e}}{d\gamma} i_{ab} + \frac{dM_{.ab.e}}{d\gamma} i_{bc} + \frac{dM_{ca.e}}{d\gamma} i_{ca} + \frac{d(M_{af} - M_{bf})}{d\gamma} i_f + \\ &+ \frac{d(M_{ayd} - M_{byd})}{d\gamma} i_{yd} + \frac{d(M_{ayq} - M_{byq})}{d\gamma} i_{yq}. \end{aligned} \quad (4)$$

Полученные в (4) производные индуктивностей по углу можно определить, зная исходные выражения индуктивностей, полученные в [3]. В результате подстановки (4) в (3) получим уравнение, связывающее функции времени – токи в обмотках и угол поворота ротора – и производные этих функций.

При рассмотрении всех контуров синхронной машины вместо одного уравнения (3) получим следующую систему уравнений в матричном виде для нагрузки, подключенной по схеме «треугольник»:

$$\begin{bmatrix} L_{ab\Sigma} & M_{.ab.e} & M_{ca.e} & M_{abf} & M_{abyd} & M_{abyq} \\ M_{.ab.e} & L_{bc\Sigma} & M_{bc.e} & M_{bcf} & M_{bcyd} & M_{bcyq} \\ M_{ca.e} & M_{bc.e} & L_{ca\Sigma} & M_{caf} & M_{cayd} & M_{cayq} \\ M_{abf} & M_{bcf} & M_{caf} & L_f & M_{fyd} & 0 \\ M_{abyd} & M_{bcyd} & M_{cayd} & M_{fyd} & L_{yd} & 0 \\ M_{abyq} & M_{bcyq} & M_{cayq} & 0 & 0 & L_{yq} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} di_{ab}/dt \\ di_{bc}/dt \\ di_{ca}/dt \\ di_f/dt \\ di_{yd}/dt \\ di_{yq}/dt \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -(\partial\Psi_{ab}/\partial\gamma)\omega - u_{\Sigma ab} \\ -(\partial\Psi_{bc}/\partial\gamma)\omega - u_{\Sigma bc} \\ -(\partial\Psi_{ca}/\partial\gamma)\omega - u_{\Sigma ca} \\ -(\partial\Psi_f/\partial\gamma)\omega - R_f i_f + u_f \\ -(\partial\Psi_{yd}/\partial\gamma)\omega - R_{yd} i_{yd} \\ -(\partial\Psi_{yq}/\partial\gamma)\omega - R_{yq} i_{yq} \end{bmatrix}, \quad (5)$$

где  $M_{kf}$ ,  $M_{kyd}$ ,  $M_{kyq}$  ( $k = ab, bc, ca$ ) – значения взаимной индуктивности обмотки возбуждения, продольной и поперечной демпферных обмоток.

Полученная система уравнений (5) позволяет определять производные токов в обмотках по известным значениям функций (токов, угла поворота ротора и частоты).

**Анализ влияния демпферных обмоток на переходный процесс.** В качестве примера выполнены расчеты переходных процессов генератора ТВВ-200-2АУЗ с полной симметрией фазных обмоток статора. Работа машины рассматривается при трехфазном коротком замыкании на выводах генератора и его работе в нагрузочном режиме для двух расчетных моделей: с учётом продольной и поперечной демпферных обмоток; без демпферных обмоток.

Результаты расчетов при трехфазном коротком замыкании на выводах генератора и при его работе в нагрузочном режиме с учётом продольной и поперечной демпферных обмоток приведены на рис. 2.

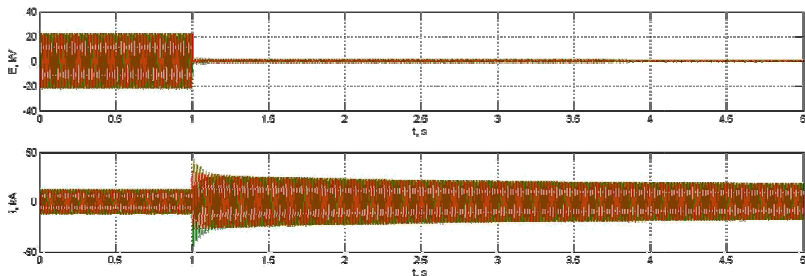


Рис. 2. Результаты расчетов для модели с учётом продольной и поперечной демпферных обмоток

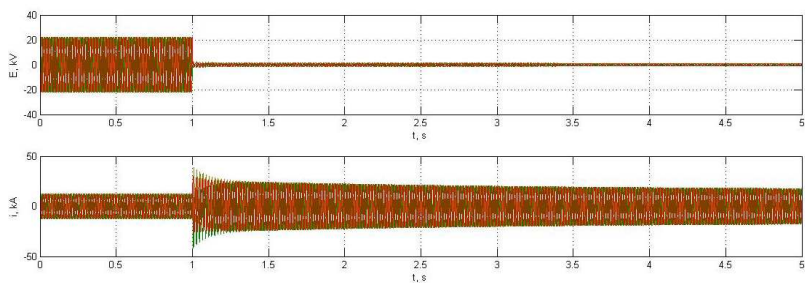


Рис. 3. Результаты расчетов для модели без демпферных обмоток

Результаты расчетов при трехфазном коротком замыкании на выводах генератора и при его работе в нагруженном режиме в модели без демпферных обмоток приведены на рис. 3.

Из сравнения полученных результатов при трехфазном коротком замыкании на выводах генератора и при его работе в нагруженном режиме можно увидеть, что в модели с учётом продольной и поперечной демпферных обмоток амплитудное значение тока фазного контура статора  $i_a = 42,6$  кА. При моделировании генератора без демпферных обмоток значение тока составляет  $i_a = 38,9$  кА. Время затухания апериодической составляющей тока к.з. фазы «А» до уровня 26 кА при учёте продольной и поперечной демпферных обмоток составляет  $t_3 = 0,25$  с; без демпферных обмоток  $t_3 = 0,47$  с.

**Анализ влияния насыщения на переходный процесс.** Работа машины рассматривается в нескольких режимах: в нормальном установившемся режиме при вариации нагрузки, подача напряжения на обмотку возбуждения при отключенной нагрузке. Во втором режиме сравниваются значения ЭДС на фазных выводах обмотки статора с учётом насыщения магнитной системы и без. Генератор работает на автономную активно-индуктивную нагрузку, подключенную по схеме «звезда» с нулевым проводом. Подробнее о выводе дифференциальных уравнений равновесия ЭДС и падении напряжений в обмотках со схемой соединения нагрузки «звезда» с нулевым проводом изложено в [3]. Значение тока возбуждения в расчетах приведено к обмотке статора генератора.

Таблица 1

Анализ влияния насыщения в режиме холостого хода

|               |            |      |       |       |       |      |
|---------------|------------|------|-------|-------|-------|------|
| С насыщением  | $e_a$ , кВ | 12,9 | 13,6  | 16,1  | 18,2  | 19,2 |
| Без насыщения |            | 14,5 | 15,6  | 20,2  | 26,5  | 31,1 |
| $i_f$ , кА    |            | 9,77 | 10,51 | 13,67 | 17,87 | 21   |

Сравнение полученных результатов режима холостого хода (х.х.) генератора (табл. 1) показывает, что моделирование при отсутствии насыщения магнитной системы машины не позволяет получить достоверные результаты. В режиме х.х. значения ЭДС на фазных выводах обмотки статора значительно отличаются от реальной характеристики холостого хода машины.

В нормальном установившемся режиме рассматриваются несколько значений нагрузки генератора:  $0,25S_{\text{пот}}$ ;  $0,5S_{\text{пот}}$ ;  $0,75S_{\text{пот}}$  и  $S_{\text{пот}}$ .

Таблица 2

Анализ влияния насыщения при вариации нагрузки

|                     |            |                      |                     |                      |                  |
|---------------------|------------|----------------------|---------------------|----------------------|------------------|
| <i>S</i> насыщением | $e_a$ , кВ | 11,6                 | 11,55               | 11,41                | 11,36            |
|                     | $i_a$ , кА | 2,81                 | 5,65                | 8,31                 | 11,34            |
| Без насыщения       | $e_a$ , кВ | 12,85                | 12,87               | 12,81                | 12,84            |
|                     | $i_a$ , кА | 3,07                 | 6,15                | 8,98                 | 12,23            |
| $i_{f0}$ , кА       |            | 10,97                | 14,46               | 18,07                | 22,54            |
| $\Delta i_f$ , кА   |            | 1,43                 | 1,59                | 2,08                 | 2,25             |
| <i>S</i> , о.е.     |            | $0,25S_{\text{пот}}$ | $0,5S_{\text{пот}}$ | $0,75S_{\text{пот}}$ | $S_{\text{пот}}$ |

Сравнение полученных результатов нормального установившегося режима генератора показывает, что моделирование при отсутствии насыщения магнитной системы машины не позволяет получить достоверные результаты. В нормальном режиме работы значения ЭДС на фазных выводах обмотки статора существенно отличаются от номинальных значений фазного напряжения рассматриваемого генератора. Также с ростом значения нагрузки увеличивается провал напряжения.

**Закключение.** Полученные в ходе исследования результаты анализа влияния демпферных обмоток и насыщения магнитной системы на условия протекания переходных процессов в расчетной модели генератора свидетельствуют о полноте и достоверности предлагаемого численного метода моделирования.

Реализованная математическая модель дает возможность рассматривать влияние несимметрии фазных контуров статора и насыщения магнитной системы при моделировании синхронной машины, что позволяет корректнее оценивать результаты различных режимов работы генератора и своевременно выявлять аварийные режимы.

В перспективе предлагаемый метод позволит использовать результаты расчетов переходных процессов синхронной машины для анализа работы и создания новых алгоритмов релейной защиты генераторов электростанций.



### Библиографический список

1. Ульянов С.А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах. – М.: Энергия, 1970, – 518 с.
2. Моделирование электротехнических устройств в MatLab. SimPowerSystems и Simulink. – М.: ДМК Пресс, 2013. – 288 с.
3. Глазырин Г.В. Моделирование переходных процессов синхронной машины с несимметрией фазных обмоток статора // Вестник МЭИ. – 2017. – № 5. – С. 34–39.
4. Горев А.А. Переходные процессы синхронной машины. – Л.: Наука, 1985. – 502 с.
5. Жданов П.С. Вопросы устойчивости электрических систем. – М.: Энергия, 1979, – 456 с.

### Сведения об авторах

**Глазырин Глеб Владимирович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрические станции» Новосибирского государственного технического университета, Новосибирск, e-mail: glazyring@gmail.com

**Митрофанов Николай Александрович** – аспирант кафедры «Электрические станции» Новосибирского государственного технического университета, Новосибирск, e-mail: n.a.mitrofanov27@gmail.com

### About the authors

**Glazyrin Gleb Vladimirovich** – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Electrical Stations at Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, e-mail: glazyring@gmail.com

**Mitrofanov Nikolay Aleksandrovich** – Graduate Student of the department “Power stations” Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, e-mail: n.a.mitrofanov27@gmail.com

## НЕТРАДИЦИОННЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ И ИХ РЕАЛИЗАЦИЯ В ПЕРМСКОМ КРАЕ

**А.Н. Носов<sup>1</sup>, Е.В. Чабанова<sup>1</sup>, Е.А. Чабанов<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Волжский государственный университет водного транспорта (Пермский филиал), Пермь

<sup>2</sup>Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь

Рассмотрены нетрадиционные источники электроэнергии и их применение. Описаны уже реализованные нетрадиционные источники электроэнергии. Предложена биоэнергетика как наиболее доступный для Пермского края из нетрадиционных способов получения электроэнергии.

**Ключевые слова:** ветрогенератор, солнечная электроэнергия, биогаз, биостанция.

## NON-TRADITIONAL ENERGY SOURCES AND THEIR IMPLEMENTATION IN PERM TERRITORY

**A.N. Nosov<sup>1</sup>, E.V. Chabanova<sup>1</sup>, E.A. Chabanov<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Volga State University of Water Transport (Perm branch)

<sup>2</sup>Perm National Research Polytechnic University, Perm

This article considers non-traditional sources of electricity and their use. Non-traditional sources of electricity have been analyzed. Bioenergy is offered as the most accessible non-traditional way of receiving the electric power for Perm territory.

**Keywords:** wind turbine, solar power, biogas, biological station.

Нетрадиционные источники энергии – это источники на основе возобновляемых в окружающей среде или постоянно существующих потоков энергии. Нетрадиционные источники заменяют иссякаемые ресурсы – нефть, уголь, газ.

К нетрадиционным источникам энергии относятся:

1) ветрогенератор (ветроэлектрическая установка или ветроэлектростанция) – устройство для преобразования кинетической энергии ветра в электрическую;

2) гидроэнергия – энергия, сосредоточенная в потоках водных масс в русловых водотоках и приливных движениях. Чаще всего используется энергия падающей воды;

3) солнечная электростанция (далее СЭС) – основана на сборе сконцентрированной солнечной энергии при помощи зеркал и отражении солнечных лучей на приемники, которые собирают солнечную энергию и преобразуют её в тепло;

4) биостанции – при переработке биологических отходов выделяется биогаз, который используется как природный [1].

Нетрадиционной энергетике уделяется много внимания во всём мире, так как энергия ветра, солнца – бесплатна и повсеместна, что важно для труднодоступных населённых пунктов.

Однако у нетрадиционной энергетике много проблем. Хотя энергия ветра и солнца повсеместна, тем не менее в некоторых местах она недостаточна для выработки электроэнергии. Ветряные электростанции располагаются в районах, где дуют сильные ветра. Солнечные, где максимальное количество солнечных дней, гидроэлектростанции – на крупных реках. К примеру, нефть есть не везде, но ее добыча гораздо проще и уже налажена. Ещё одна проблема нетрадиционной электроэнергетики – нестабильность. Выработка зависит от переменных явлений, которые не учитывают нужды электропотребителей. Солнце не светит ночью, ветер не дует с постоянной скоростью, необходимой для ветрогенератора.

К примеру, в Японии разрабатывается проект по размещению солнечных батарей в открытом космосе. Из энергии излучаемой пластиной площадью 4000 кв. км, можно получить электричество для 250 млн домов.

В Нью-Йорке поставлены подводные турбины, использующие энергию отливов и приливов, которой хватает для обеспечения около 1500 домов [1].

Проблема почти всех перечисленных технологий в том, что они только находятся в стадии развития и могут компенсировать только часть нужд человечества. Выработать и накопить столько энергии, сколько потребуется без ископаемого топлива не так просто.

В центральной Калифорнии, в национальном комплексе «Зажигание» (National Ignition Facility), уже на протяжении 40 лет проводится экспериментальное слияние ядер. Слияние ядер – конечная форма солнечной энергии. При слиянии ядер образуется энергия, аналогичная форме солнечной энергии. Как известно, на Солнце под влиянием гравитации атомы водорода сталкиваются с огромной силой, способной объединить их, выделяя при этом огромное количество энергии в виде

тепла. Как утверждают учёные, если бы можно было использовать всю энергию, выделяемую Солнцем за час, то планета была бы обеспечена энергией более чем на миллион лет. Есть и другой вариант – построить уменьшенную модель Солнца на Земле, что и пытаются сделать в Калифорнийском национальном комплексе [1].

На данный момент ветровая энергетика одна из самых быстроразвивающихся отраслей на Земле. В Германии уже сейчас 20 % всей электроэнергетики генерируется при помощи ветра. К 2050 г. Германия планирует питать 50 % всех энергопотребителей при помощи ветряных турбин. Некоторые ветряные турбины достигают в длину 150 м и расположены в прибрежных границах морей, поскольку там наиболее интенсивные ветряные потоки. Лопастями ветряных турбин управляет ветер, и генератор преобразует кинетическую энергию ветра в электрическую энергию [1].

Из всех природных видов энергии самая мощная – солнечная. На юге Испании, с помощью сотен зеркал улавливают солнечную энергию, фокусируя лучи на цистерне с водой, расположенной на высоте 120 м. 600 зеркал способны нагреть воду в цистерне до 500 °С. Этого достаточно для превращения воды в пар, который запускается в турбины и вращает их лопасти, затем механическая энергия турбин с помощью генератора преобразуется в электрическую. На данный момент от подобного добывания энергии питается около 40 тыс. домов [1].

Как уже отмечалось выше, поток солнечной энергии сильно зависит от погоды. Поэтому человечеству нужно научиться временно сохранять солнечную энергию.

В Испании нашли способ сделать это. На солнечно-тепловой электростанции Ondasol не только собирают солнечную энергию, но и накапливают. Накопление тепла происходит в 28 тыс. тонных цистернах с расплавленной солью. Соль поглощает солнечную энергию, которая может использоваться через несколько часов-дней. Каждую ночь отключают зеркала и начинают использовать энергию, накопленную в цистернах.

К сожалению, использовать энергию солнца для выработки электроэнергии для всего г. Перми невозможно, так как согласно исследованиям Российского государственного гидрометеорологического университета, Пермь занимает седьмое место среди самых пасмурных городов России; здесь в среднем 168 пасмурных дней в году.

Преобразование энергии ветра в электрическую в России развито лучше, чем солнечная энергетика, но ей ещё далеко до уровня

Германии. Суммарная мощность всех российских ветроэлектростанций составляет 13,3 МВт. Проблема еще и в том, что в России большие расстояния между населёнными пунктами, и это делает невозможным организовать централизованные ветряные электростанции. Вместе с тем это стимул совершенствовать ветряные электроустановки малой мощности (от 10 кВт) [2].

В Перми на данный момент установлен ветрогенератор на базе комплекса ПГНИУ, который вырабатывает часть электроэнергии для комплекса. Варианты установки ветрогенераторов в Перми для обеспечения электроэнергией всего города или его части уже предлагались. Однако средняя скорость ветра в Перми составляет 2,8 м/с, у поверхности земли 2,4 м/с. Для эффективного обеспечения работой ветрогенератора его необходимо размещать на 100-метровой мачте или на крыше высотного здания.

В 2013 г. предлагалось установить ветряной генератор на здании по ул. Окулова, 18. Была предложена модель ветрогенератора – EnergyWind 5 кВт. Данный генератор при скорости ветра в 11 м/с вырабатывал бы 5кВт электроэнергии, при 6 м/с – 1кВт, при 3 м/с – 0,1 кВт. Но самое главное устройство в ветряной электроустановке – инвертор. Инвертор преобразовывает ток из аккумуляторных батарей в переменный для питания нагрузки (освещение и прочие нужды потребителей). В данном ветряке предлагалось использовать инвертор мощностью 6 кВт. Данный генератор позволял бы вырабатывать 86 кВт в день, этого было бы достаточно для освещения и других нужд дома. Примерные затраты на одну такую установку составили бы 300 тыс. рублей, и это только для одного дома. На данный момент ветрогенератор не установлен [3].

В 2018 г. состоялось совещание губернатора Пермского края и гендиректора ООО УК «Ветроэнергетика». Но никаких конкретных решений не было принято. На данный момент ООО УК «Ветроэнергетика» занимается строительством ветряных электростанций в Ростовской области мощностью до 600 МВт, проект запланировано реализовать к концу 2021 г. Что касается Пермского края, то здесь много пустующих земель, где можно было бы расположить ветряные ветрогенераторы. Проблема заключается в их отдалённости, что приводит к высокому уровню затрат на протяжении линии электропередач, постройку «ветряков». Это, в свою очередь, приведёт к тому, что энергия, генерируемая ветряными электростанциями, будет дороже.

Для того чтобы люди платили за неё, нужно будет внедрять программы поддержки и обязывать потребителей покупать эту энергию. Также из-за нестабильной выработки энергии необходимо будет рассматривать резервирование мощности в локальных точках, чтобы потребители не оставались без электроэнергии [3].

Сельское хозяйство в Пермском крае является одним из ведущих в Российской Федерации. Отходы данного хозяйства перерабатываются постоянно, при переработке выделяется биогаз. Биогаз – газ, получаемый в ходе водородного или метанового брожения биомассы. В брожении участвуют три вида бактерий: гидролизные, кислотообразующие и метанобразующие. По расчётам, навоз, получаемый от 2000 коров, может обеспечить электроэнергией одну деревню. Постройка биогазовой станции в Перми решит сразу несколько проблем: экологически чистая выработка электроэнергии, решение проблемы с переработкой биоотходов, продуктом переработки станет экологически чистое удобрение [6].

Биостанция – станция, в которой находятся агрегаты, позволяющие перерабатывать сельскохозяйственные и промышленные отходы производства в биологический газ и удобрения. Постройка биостанции не потребует больших финансовых затрат.

Этапы переработки биоотходов:

1. Навоз, поступающий от фермы, помещается в центробежные насосы с измельчающим и перемешивающим устройством.
2. После измельчения сырьё подаётся в герметичные устройства для подогрева при установленной температуре брожения.
3. В биореакторе в бескислородной среде при периодическом перемешивании и при участии метанобразующих бактерий происходит процесс сбраживания с выделением горючего биогаза.
4. Перебродившая биомасса удаляется из реактора в том же количестве, что и поступала, но уже в виде органического удобрения.
5. Биогаз подобно природному газу поступает на электростанцию [7].

В Калужской и Белгородской областях подобные станции уже построены. В Белгородской области мощность станции составляет 2,4 МВт, а в Калужской – 2 МВт. Практика показывает, что биостанция окупает себя в течение двух лет, а примерный срок службы такой станции 25 лет. Для Пермского края, и в частности г. Перми, такая установка является наиболее эффективной, поскольку стоимость электроэнер-

гии, выработанной при помощи биостанции, останется прежней, а не повысится, как при добыче электроэнергии при помощи ветра.

В заключение необходимо отметить, что используемые в мире солнечные и ветряные источники электроэнергии не столь эффективны для Пермского края. Однако в Пермском крае существуют перспективы развития нетрадиционных источников электроэнергии. Некогда нетрадиционный источник – гидроэлектростанция – для Пермского края стал уже традиционным и функционирует уже 60 лет. Это пока единственный нетрадиционный источник, который эффективно удалось реализовать в Пермском крае. Реализация проекта строительства биостанции в Пермском крае может стать столь же успешной, как и гидроэлектростанция, а остальные известные на данный момент нетрадиционные источники реализовывать либо не выгодно (ветряные и солнечные генераторы), либо невозможно (геотермальные).

### **Библиографический список**

1. Энергия будущего Альтернативные источники энергии будущего [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.youtube.com/watch?v=hA1z1Ov0mZE> (дата обращения: 06.12.2018).

2. Возможность применения ветряных электрогенераторов в г. Перми [Электронный ресурс]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnost-primeneniya-vetryanyh-elektrogeneratorov-v-g-permi> (дата обращения: 08.12.2018).

3. Деньги на ветер [Электронный ресурс]: газета «Коммерсантъ». – URL: <http://today.listis.ru/nbden-gi-na-veter.php> (дата обращения: 02.08.2018).

4. Биогазовая электростанция на отходах животноводческого комплекса [Электронный ресурс] // Энергосовет: журнал. – URL: [http://www.energosoвет.ru/bul\\_stat.php?idd=175](http://www.energosoвет.ru/bul_stat.php?idd=175) (дата обращения: 02.12.2018).

5. Альтернативные источники энергии – их возможности в Пермском крае [Электронный ресурс] // Энергосовет: журнал. – URL: <http://www.energosoвет.ru/stat820.html> (дата обращения: 02.12.2018).

6. URL: <http://yazemledelec.ru/zhivotnovodstvo/108-biogazovaya-ustanovka-ustrojstvo-i-printsip-raboty.html> (дата обращения: 04.12.2018).

7. Где у нас биогаз [Электронный ресурс] // Энергосовет: журнал. – URL: <http://expert.ru/ural/2014/13/gde-u-nas-biogaz/> (дата обращения: 02.12.2018).

### Сведения об авторах

**Носов Алексей Николаевич** – студент Пермского филиала Волжского государственного университета водного транспорта, Пермь, e-mail: lexa\_nosov999@mail.ru

**Чабанова Евгения Владимировна** – кандидат педагогических наук, доцент, заведующая кафедрой «Гуманитарные дисциплины» Пермского филиала Волжского государственного университета водного транспорта, Пермь, e-mail: jentosina@yandex.ru

**Чабанов Евгений Александрович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электротехника и электромеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, доцент кафедры «Технические дисциплины» Пермского филиала Волжского государственного университета водного транспорта, Пермь, e-mail: ceapb@mail.ru

### About the authors

**Nosov Aleksei Nikolaevich** – Student Perm branch of Volga State University of Water Transport, Perm, e-mail: lexa\_nosov999@mail.ru

**Chabanova Evgeniya Vladimirovna** – Ph.D. in Pedagogical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Humanities Perm branch of Volga State University of Water Transport, Perm, e-mail: jentosina@yandex.ru

**Chabanov Evgenii Aleksandrovich** – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Electrical Engineering and Electromechanics, Perm National Research Polytechnic University, Perm, Associate Professor Department of Technical Disciplines Perm branch of Volga State University of Water Transport, Perm, e-mail: ceapb@mail.ru



## ОЦЕНКА СРОКА СЛУЖБЫ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ КАБЕЛЬНЫХ ПВХ-ПЛАСТИКАТОВ

**А.С. Поздеева, Е.В. Субботин**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

Описаны методики оценки срока службы полимерных материалов, основанные на использовании термического анализа. Рассматриваются способы определения кинетических параметров методами термогравиметрического анализа (ТГА). Приведены результаты экспериментальных исследований по определению энергии активации для кабельных ПВХ-пластикатов. Выполнено сравнение с результатами определения энергии активации методом теплового старения.

**Ключевые слова:** полимер, термогравиметрический анализ, тепловое старение, энергия активации, срок службы.

## EVALUATION OF THE SERVICE LIFE OF POLYMERIC MATERIALS CABLE PVC COMPOUNDS

**A.S. Pozdeeva, E.V. Subbotin**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

The paper describes methods for estimating the service life of polymer materials based on the use of thermal analysis. Methods are considered definitions of kinetic parameters using thermogravimetric analysis. The results of experimental studies on the determination of activation energy for PVC cable plastic compounds are presented. Comparison with the results of determining the activation energy by the method of heat aging.

**Keywords:** polymer, thermogravimetric analysis, heat aging, activation energy, service life.

На сегодняшний день ПВХ-пластикаты, представляющие собой смесь поливинилхлоридной смолы с пластификаторами, стабилизаторами, наполнителями и другими компонентами, по-прежнему находят широкое применение в отечественной кабельной промышленности. Однако необходимо отметить, что в связи с ужесточением требований, предъявляемых к современным кабельным изделиям, возникает необходимость разработки новых рецептур кабельных ПВХ-пластикатов, что придает серьезное практическое значение вопросу достоверной оценки срока службы данных материалов. В свою

очередь процедура оценки срока службы сводится к определению величины энергии активации процесса старения на основании экспериментальных данных, полученных при повышенных температурах и с последующим вычислением срока службы.

На сегодняшний день в мировой практике общепринятым стандартным методом определения кинетических параметров, а именно энергии активации, является тепловое старение. Процедура представляет из себя серию экспериментов, по результатам которых могут быть построены зависимости измеряемого физического параметра от времени воздействия повышенной температуры.

Эксперименты проводятся при 3 и более температурах и завершаются по достижении выбранного критерия отказа. Для ПВХ-пластиков общепринятым параметром является относительное удлинение при разрыве, критерием отказа – достижение 50 % от исходной величины [1].

Основным недостатком данного метода является длительность. Для современных материалов полная серия экспериментов может занимать до полугода. Таким образом, при условии отсутствия жестких требований может быть оправданно применение более практичных методов, основывающихся на краткосрочных экспериментах.

В ряде случаев альтернативой термическому старению становится стандартная методика, основанная на использовании (ТГА).

В рамках данного подхода (ТГА) материал, нагреваясь с различной скоростью, проходит через область разложения.

Из полученных кривых нагрева, представленных на рис. 1, определяются температуры для постоянного уровня разложения.

Затем по графику зависимости логарифма скорости нагрева от обратной температуры при постоянном уровне разложения определяется кинетическая энергия активации (рис. 2).

Эта энергия активации затем может быть использована для вычисления расчетного срока службы при заданной температуре или максимальной рабочей температуре для заданного расчетного срока службы. Для расчета энергии активации используется метод Флинна и Уола, положенный в основу стандартной методики ASTM E1641-99 [2].

$$E = \frac{-R}{b} \left[ \frac{d \log \beta}{d \left( \frac{1}{T} \right)} \right],$$

где,  $E$  – энергия активации, Дж/моль;  $R = 8,134$  – газовая постоянная, Дж/(моль·К);  $m = \frac{d \log \beta}{d(1/T)}$  – наклон линии;  $b$  – постоянная ( $b = 0,457/K$  для первой итерации);  $\beta$  – скорость нагрева, К/мин;  $T$  – температура постоянной конверсии, К.

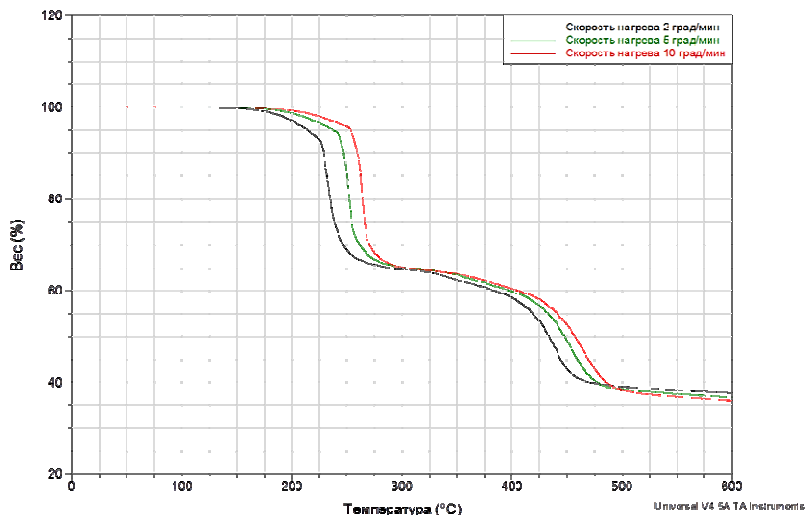


Рис. 1. Температурные зависимости потери массы для кабельного ПВХ пластиката

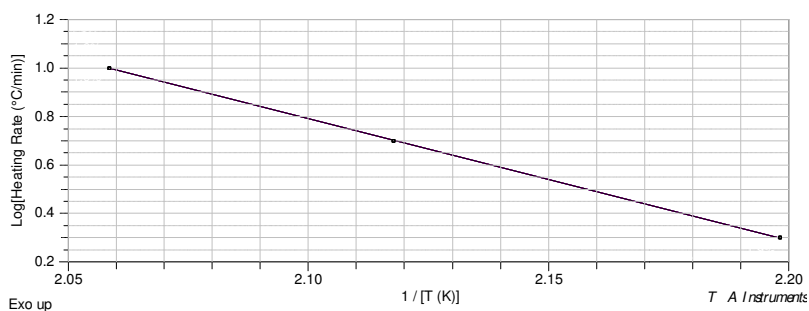


Рис. 2. Зависимость скорости нагрева от величины обратной абсолютной температуры для кабельного ПВХ пластиката

Данная методика требует проведения, как минимум, трех экспериментов с различными скоростями нагрева для каждого материала. Общее время оценки материала при этом составляет меньше одного

дня. Существенным недостатком данной стандартной методики является возможность использования только для одностадийных процессов, что ограничивает ее применение для кабельных ПВХ-пластиков.

Указанных ограничений лишена методика, основанная на модулированной термогравиметрии (МТГ). Принципиальным отличием данной методики от стандартной является наложение синусоидальных модуляций по температуре на основной профиль нагрева (рис. 3).

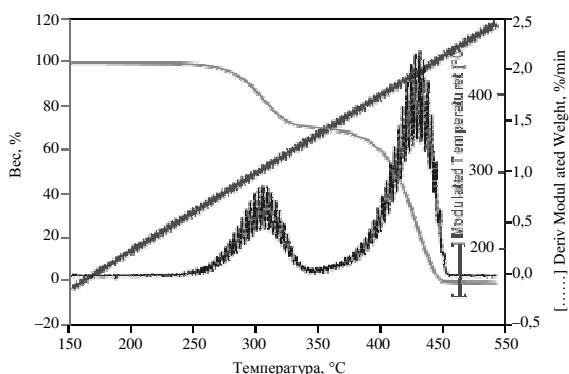


Рис. 3. Температурные зависимости потери массы и энергии активации

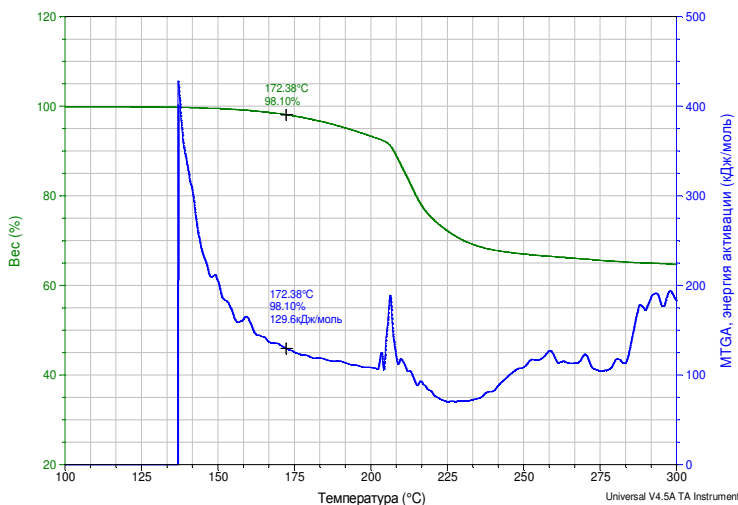


Рис. 4. Температурные зависимости потери массы и энергии активации для кабельного ПВХ-пластика

Это позволяет определить за один эксперимент энергию активации, как функцию температуры. Результаты МТГ для кабельного ПВХ-пластиката показаны на рис. 4. Как видно из рис. 4, энергия активации действительно является функцией температуры, что является подтверждением многостадийности процесса разложения ПВХ-пластиката. Однако, несмотря на то, что использование МТГ при постоянной скорости нагрева позволяет получить температурную зависимость энергии активации, данный подход не позволяет разделить процесс деструкции полимера на стадии, что может оказаться критичным при прогнозировании срока службы материала, когда требуется использовать энергию активации конкретной реакции, протекающей в определенном температурном диапазоне.

В подобных случаях МТГ может быть использована в сочетании с квазиизотермическими условиями. В данном случае модуляции накладываются на горизонтальную прямую, представляющую собой основной температурный профиль эксперимента.

На рис. 5 представлены результаты эксперимента с использованием МТГ, в котором кабельный ПВХ-пластикат выдерживался при температуре 150 °С, и, как видно из эксперимента, энергия активации при данной температуре практически не изменяется.

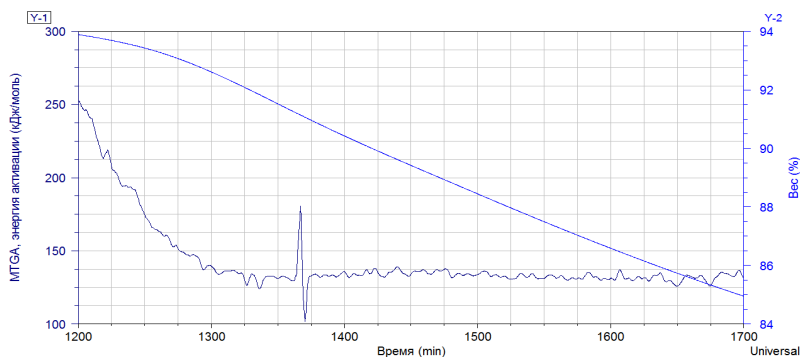


Рис. 5. Зависимости потери массы и энергии активации (квазиизотерма) от времени выдержки при постоянной температуре в режиме МТГ для кабельного ПВХ-пластиката

Для сравнения результатов определения энергии активации, полученных с помощью вышеописанных методик, были проведены эксперименты на длительное термическое старение исследуемого

ПВХ пластика по международному стандарту ИЕС 60216-1. Основным преимуществом данной методики является высокая достоверность. Старение ПВХ пластика проводилось при температурах 110, 120, 130 °С. Критерием отказа для исследуемого материала являлось снижение относительного удлинения на 50 %. На рис. 6 приведена кривая термической устойчивости, построенная по результатам эксперимента.

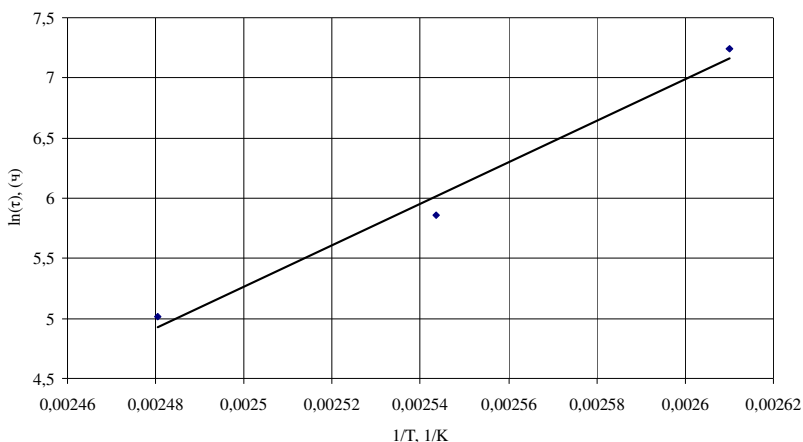


Рис. 6. Кривая термической устойчивости ПВХ-пластика

Значение энергии активации, определенное из наклона полученной кривой, составила 140,1 кДж/моль. В таблице приведены результаты расчета энергии активации процесса старения исследуемого ПВХ-пластика, полученные разными методами.

#### Сравнение методик исследования

| Метод  | Преимущества                         | Значение энергии активации, кДж/моль | Ограничения  |
|--|--------------------------------------|--------------------------------------|--|
| Длительный                                     | Надежность                           | 89                                   | Длительность эксперимента                          |
| Модулированный при постоянной скорости нагрева | Скорость;<br>$E_{\text{акт}} = f(T)$ | 129,6                                | Нет возможности разделить на стадии; достоверность |
| Модулированная квазиизотерма                   | Скорость; разделение на стадии       | 132                                  | Достоверность                                      |
| Тепловое старение                              | Надежность                           | 140,2                                | Длительность эксперимента                          |

Анализируя результаты, представленные в таблице, можно отметить, что значения энергии активации, полученные с помощью методов модулированной термогравиметрии и длительного теплового старения достаточно хорошо согласуются, что говорит о преимуществах МТГ по сравнению со стандартной методикой [2]. Дополнительными преимуществами МТГ являются возможность получения энергии активации при постоянной температуре и как функции температуры для одностадийных и многостадийных процессов.

### **Библиографический список**

1. Барашков О.К. Некоторые критические замечания относительно методов предсказания сроков службы кабельных ПВХ пластикатов // Кабель-news. – 2008. – № 9.
2. Blaine R.L., Hahn B.K. Obtaining kinetic parameters by modulated thermogravimetry // Journal of Thermal Analysis. – 1998. – Vol. 54. – P. 695–704.

### **Сведения об авторах**

**Поздеева Анжелика Сергеевна** – студентка Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: pozdeeva.lika@yandex.ru

**Субботин Евгений Владимирович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Конструирование и технологии в электротехнике» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: ktei@pstu.ru).

### **About the authors**

**Pozdeeva Anzhelika Sergeevna** – Student Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: pozdeeva.lika@yandex.ru

**Subbotin Evgeniy Vladimirovich** – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor of the Design and Technology in Electrical Engineering Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: ktei@pstu.ru

## ПОДЗЕМНАЯ ГАЗИФИКАЦИЯ УГЛЕЙ: ПРОШЛОЕ ИЛИ БУДУЩЕЕ?

**И.С. Садкин, В.А. Ворогов**

Новосибирский государственный технический  
университет, Новосибирск

Статья посвящена обзору технологии подземной газификации углей, которая была в значительной степени освоена и отработана в СССР, но получила возведенную в абсолют приставку «бесперспективная» в первые годы после его распада в период кризиса 90-х. Однако сегодня вновь складываются условия, позволяющие говорить об актуальности исследований в данном направлении.

**Ключевые слова:** подземная газификация, уголь, геотехнология.

## UNDERGROUND COAL GASIFICATION: THE PAST OR THE FUTURE?

**I.S. Sadkin, V.A. Vorogov**

Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk

The paper is devoted to overview of the technology of underground coal gasification, which was largely mastered in the USSR, but abandoned in the first years after its collapse during the crisis of the 90s. But now there are conditions that allow us to talk about the relevance of research in this direction.

**Keywords:** underground coal gasification, coal, geotechnology.

Уголь – по-прежнему «непотопляемое» топливо, отказаться от которого человечество не в состоянии. При этом часть специалистов мирового энергетического сообщества называют уголь еще и топливом будущего. Приближается плавный закат нефтяной цивилизации на Земле ввиду недостаточности запасов нефти. А если учесть, сколько полезных и ценных веществ получается из нефтепродуктов, то ее сжигание лишь для получения тепла и энергии нецелесообразно. Еще Д.И. Менделеев писал: «Сжигать нефть все равно, что топить печь ассигнациями!». «Газовая пауза» продлится несколько дольше, чем нефтяная, но и она не бесконечна. По мнению ученых, запасов газа хватит на 60–70 лет, а угля, по разным оценкам, – до 600 лет. Поэтому в долгосрочной перспективе основными источниками энергии за пределами нефтегазовой цивилизации, возможно, станут уголь и атомная энергетика.



Однако растущие потребности экономики в топливе нецелесообразно покрывать за счет наращивания добычи угля существующими традиционными технологиями открытой и подземной разработки месторождений. Это обусловлено рядом причин. Во-первых, перечисленные способы не позволяют осваивать залежи угля, находящиеся на больших глубинах, имеют высокий уровень опасности производства для работников; во-вторых, наносят колоссальный урон экологии угледобывающего и углесжигающего региона.

Следует отметить, что процесс рекультивации после деятельности угледобывающих предприятий весьма затратен и дает положительные результаты не ранее чем через полвека, а заполнение полостей от миллиардов тонн добытого и увезенного угля и вовсе не представляется возможным!

Поэтому так важно начать поиск способов добычи полезных ископаемых, основанных на новых принципах, позволяющих исключить перемещение пустых пород, отказаться от человеческого присутствия под землей, в разы повысить производительность труда и сохранность окружающего мира.

В связи с этим становится перспективным рассмотрение нетрадиционных и инновационных способов освоения запасов угля. Генеральным направлением создания эффективных, экологически чистых способов эксплуатации месторождений полезных ископаемых является разработка геотехнологических методов, суть которых сводится к переводу полезного ископаемого в подвижное состояние. Таким технологическим процессом является подземная газификация углей (ПГУ), которая дает возможность получать горючий газ непосредственно под землей.

Принципиальная схема технологии подземной газификации угля (рис. 1) состоит в бурении с поверхности земли до угольного пласта серии дутьевых и газоотводящих скважин, которые сбиваются в единый реакционный канал и образуют подземный газогенератор. Затем происходит розжиг канала, и возникает очаг горения угольного пласта, обеспечивающий условия для превращения угля непосредственно в недрах в горючий газ. Управление процессом газификации и составом получаемого газа осуществляется с поверхности земли путем изменения параметров подаваемого дутья (объем, состав, давление). Получаемый в пласте газ по отводящим скважинам извлекается наружу. Таким образом, на поверхности расположены лишь трубопроводы

для подачи в скважины дутья и транспортировки получаемого газа. Ландшафт и экологическая обстановка региона в результате промышленной деятельности практически не изменяются.

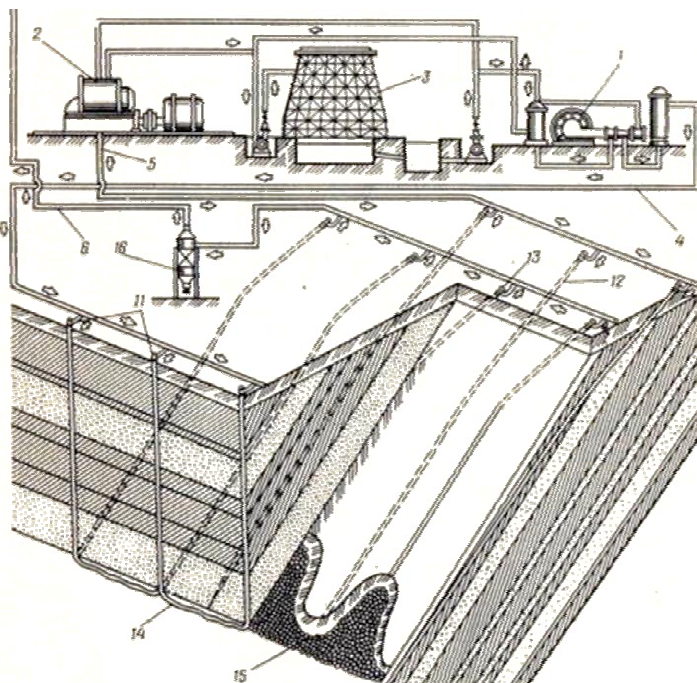


Рис. 1. Технологическая схема Южно-Абинской станции «Подземгаз», г. Киселевск:  
 1 – компрессор; 2 – турбовоздуходувка; 3 – цикл условно-чистых вод; 4 – воздух на  
 сбойку; 5 – воздух на газификацию; 6 – газопровод; 7 – скруббер; 8 – градирица;  
 9 – свеча; 10 – газ к потребителю; 11 – вертикальные скважины; 12 – полевые  
 скважины; 13 – наклонные скважины; 14 – сбочный канал;  
 15 – выгазованное пространство; 16 – циклон

Использование технологии ПГУ на этапе добычи угля позволяет исключить образование отходов пустой породы, которые составляют 5–6 т на тонну угля, добытую открытым способом, и отторжение земель под отвалы (12–20 га/млн т), предотвратить загрязнение атмосферы угольной пылью (0,3–1,5 кг/т), улучшить качество сточных вод и сократить выброс взвешенных веществ с 0,45 до 0,04 кг/т.

Стадия транспортировки газа ПГУ исключает образование пыли, его сжигание в разы уменьшает выбросы вредных веществ

в атмосферу, избавляет от образования золы и побочных процессов, вызванных ее дальнейшим удалением и хранением [1].

Понятно, что при добыче угля открытым способом гораздо проще загнать технику и бульдозерами разгрести землю, вывести пустую породу самосвалами, добыв заветный уголь, получив при этом минимальные затраты и максимальную прибыль, чем иметь высокотехнологичное производство. Однако известно, что дешевое хорошим не бывает. В Кузбассе, где добывается большая часть угля в России, по данным статистического ежегодника по СФО от ГКУ КО «Областной комитет природных ресурсов», можно увидеть последствия бурной деятельности разрезов и шахт. Так, за 2016 г., на каждого (!) жителя Кемеровской области приходится более 800 кг выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, более 344 м<sup>3</sup> сбросов загрязненной воды и, наконец, более 1600 т твердых отходов. Суммарно – свыше 2,8 млрд т породы в отвалах ежегодно. Это вдвое больше, чем по всем регионам СФО вместе взятым! Может быть, пора отказаться от курса на «удешевление всего и вся» и изыскать требуемые средства для возобновления работ в области альтернативной разработки угольных месторождений, в частности ПГУ?

Имеющийся уровень технологии ПГУ в России достигнут в результате десятков лет исследований и отработки на опытно-промышленных станциях СССР. Самые сложные элементы технологии, составляющие ее основу и защищенные патентами, были освоены эксплуатационниками в самых разных климатических и горногеологических условиях залегания пластов.

При газификации буроугольных пластов на воздушном дутье получают энергетический газ с теплотворной способностью до 3,5 МДж/м<sup>3</sup> (830 ккал/м<sup>3</sup>), тогда как для каменных углей данный показатель составляет 4,8 МДж/м<sup>3</sup> (1140 ккал/м<sup>3</sup>). Именно низкую теплоту сгорания газа приводят в качестве недостатков технологии ПГУ. Действительно, ведь природный газ имеет теплотворную способность 8400 ккал/м<sup>3</sup> и на 1000 °С превосходит газ ПГУ по температуре горения [2]. Однако при использовании газа ПГУ в энергетике его теплотворная способность не является доминирующей в определении КПД энергоустановки, так как в котлах горит газ, смешанный с воздухом. Причем пропорционально росту теплотворности газа возрастает и объем воздуха, необходимый для его сжигания. Это приводит к тому, что теплотворности газовоздушных смесей отличаются друг

от друга не так значительно, как исходные теплотворные характеристики газов. Теплотворность такой смеси газа ПГУ составляет 2,1 МДж (500 ккал/м<sup>3</sup>), природного газа – 3,14 МДж (750 ккал/м<sup>3</sup>).

Кроме того, газ ПГУ более удобен для сжигания, так как имеет скорость распространения пламени 0,7–0,9 м/с – большую, чем у природного газа. Способствует этому наличие водорода в газе ПГУ, что позволяет последнему проникать через трубку диаметром 1 мм, в то время как пламя от смеси метана с воздухом не проходит и через 3,5 мм [2]. В 1961 г. Ангренская станция «Подземгаз», работающая на бурых углях, начала подачу газа на ГРЭС. После наладки котлоагрегат показал устойчивую работу при тех же параметрах, что и при работе на угле с КПД котла 85 %.

Исследован вопрос применения парокислородного и паровоздушного дутья. Проведенные в СССР испытания на глубинах до 300 м показали: при газификации каменных углей на дутье с 65–75 % кислорода с добавками пара получается газ с теплотой сгорания 8,4–9,2 МДж/м<sup>3</sup> (2000–2200 ккал/м<sup>3</sup>) при химическом КПД процесса 75–80 %. На глубинах от 800 до 1500 м с использованием парокислородного дутья под давлением 2–3 МПа теплота сгорания газа составляет около 12,5 МДж/м<sup>3</sup> (3000 ккал/м<sup>3</sup>) при химическом КПД более – 70 % [2].

Зачастую здесь звучат главные сомнения оппонентов по поводу управляемости и стабильности технологии подземной газификации. Выдвигается тезис о больших потерях газа через массив пород и невозможности обеспечить приемлемую стабильность состава газа; о якобы имеющихся огромных пустотах в выгазованном пространстве, что ставит под сомнение все вышеперечисленные достоинства. Однако в ходе опытов на Южно-Абинской станции «Подземгаз» удалось установить стандарт на минимальную теплоту сгорания газа 900 ккал/м<sup>3</sup> и провести сеть газопроводов к 14 крупным предприятиям г. Киселевска. Изучение заключений экспертов после частного исследования отработавших газогенераторов Южно-Абинской станции на наличие пустот путем глубинного электрического зондирования показало, что полости не превышали 2 м в диаметре. Вместе это свидетельствует о достаточной управляемости процессом.

Уменьшение возможных потерь газа в атмосферу через трещины в толще пород, потерь угля в предохранительных барьерных целиках видится в переходе разработок на большие глубины (более 600–1000 м).

При этом расчет влияния глубины работ на себестоимость сырого газа ПГУ, проведенный экспертами фирмы «Бехтель» (США), показал, что при наклонном и крутом залегании пласта себестоимость газа не зависит от глубины работ [3].

Сравнение затрат на производство газа ПГУ, добычу нефти и угля в пересчете на условное топливо на период 1986–1996 гг. показывает, что затраты для станций «Подземгаз» в 1,1–2,5 раза ниже, чем при шахтной добыче угля и в 1,1–1,5 раза выше, чем при открытой добыче, в 2,5–4 раза ниже, чем при добыче нефти [1]. Строго говоря, сравнение себестоимости газа ПГУ и угля, добытого открытым способом, недостаточно корректно, так как не учтены затраты разрезов на рекультивацию нарушенных земель. Данные работы не производились и не производятся в настоящее время. Если же себестоимость газа ПГУ и угля сравнивать для потребителя, то преимущества ПГУ по сравнению с шахтной и даже открытой добычей будут еще лучше, так как транспортировка газа по газопроводу дешевле, чем транспорт-разгрузка-складирование-приготовление-золоудаление-золохранение, тем более если речь идет о близлежащих территориях (100–200 км), где не требуется дополнительное компримирование газа ПГУ. Еще одним способом повышения экономической эффективности предприятия «Подземгаз» может стать переработка побочных химических продуктов, а не их утилизация. Образующийся в процессе очистки газа конденсат отличается высоким содержанием аммиака, суммарных фенолов, а также смолы, которые могут быть выделены в виде товарной продукции.

К сожалению, в результате перестройки и последующего распада СССР все технико-экономические показатели работы станций ухудшились, выработка газа сократилась, поэтому новым руководством было принято решение прекратить все работы в России.

**Заключение.** Показано, что метод ПГУ не лишен экономической и технологической эффективности. Приобретенный нашей страной опыт уникален и не имеет аналогов в мире ни по масштабам, ни по уровню разработок! ПГУ может быть переведена из ряда технологий с высокими рисками в ряд обычных промышленных предприятий с высоким уровнем надежности и предсказуемости. Еще больше в перспективности технологии автора убедила личная встреча с бывшими работниками Южно-Абинской станции.

Хочется надеяться, что изобретению великого химика Д.И. Менделеева найдется достойное применение в России и нам не придется в будущем покупать заброшенную нами технологию ПГУ за рубежом, как это, к сожалению, не раз бывало в нашей истории.

### **Библиографический список**

1. Крейнин Е.В. Техничко-экономические перспективы подземной газификации угля // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – № 8. – С. 347–352.

2. Подземная газификация углей в СССР / Р.И. Антонова, А.Е. Бежанишвили, М.С. Блиндерман, Е.П. Грабская [и др.]. – М.: ЦНИИУголь, 1990. – 96 с.

3. Скафа П.В. Подземная газификация углей. – М.: Госгортехиздат, 1960. – 320 с.

### **Сведения об авторах**

**Садкин Иван Сергеевич** – бакалавр Новосибирского государственного технического университета, Новосибирск, e-mail: sadkinvanya@mail.ru

**Ворогов Владислав Александрович** – экс-начальник ЦМК Южно-Абинской станции; генеральный директор ЗАО «Тугайуголь», Киселевск

### **About the authors**

**Sadkin Ivan Sergeevich** – Student Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, e-mail: sadkinvanya@mail.ru

**Vorogov Vladislav Alexandrovich** – the former head of the MSC in South-Abinsk Station; General Director of JSC «Tugayugol», Kiselevsk

## **ЭФФЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИИ ЗАШУМЛЁННЫХ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ СИНХРОННЫХ МАШИН**

**И.А. Каменских, Д.В. Фалалеев, А.И. Судаков**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

Основная трудоёмкость при идентификации переходных процессов синхронных машин связана с идентификацией переходной составляющей, которая присутствует от начала и до окончания процессов. Существенное снижение трудоёмкости исследования идентификации переходной составляющей решено за счёт снижения объёма выборки случайного признака с учётом ядра эффективных точечных выборок в области нижней границы диапазона её исследования, а также благодаря минимизации объёма эффективных точечных выборок по ядру с оценкой уровня достоверности по распределению Пуассона с целью конструирования комбинаторных выражений для идентификации переходной составляющей.

**Ключевые слова:** синхронная машина, переходные процессы, идентификация, математическое ожидание, дисперсия, случайный признак, выборка, вариационный ряд, постоянная времени, вероятность, среднеквадратичная погрешность приближения.

## **EFFECTIVE ANALYSIS TO RESEARCH AND IDENTIFICATION OF TRANSIENT COMPONENTS IN THE NOISY TRANSITION PROCESSES OF SYNCHRONOUS MACHINES**

**I.A. Kamenskikh, D.V. Falaleev, A.I. Sudakov**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

The main complexity in identifying the transients of synchronous machines is associated with the identification of the transition component, which is present from the beginning to the end of the processes. The considerable reduction in the laboriousness of the identification of the transient component has been solved by reducing the sample size of the random feature, taking into account the core of the effective point samples in the region of the lower boundary of its study range, and also by minimizing the volume of effective point sampling by the core with the Poisson distribution reliability estimate for the design of combinatorial expressions to identify the transition component.

**Keywords:** synchronous machine, transients, identification, mathematical expectation, dispersion, random sign, sample, variation series, time constant, probability, mean square error of approximation.

Разработанные на кафедре «Электротехника и электромеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета теоретические основы вероятностно-статистических методов (ВСМ) исследования и идентификации переходных процессов (ПП) синхронных машин (СМ) в объёме ключевых опытов, регламентируемых программой приёмочных испытаний по отечественным и международным стандартам, подробно представлены в [1–7].

Разработанные ВСМ обеспечивают высокую точность и достоверность идентификации зашумлённых ПП СМ. Однако с увеличением мощности СМ растёт длительность переходных процессов, соответственно возрастают объёмы первичной информации и трудоёмкость исследований с идентификацией переходной составляющей, которая присутствует во всех процессах с самого начала и до их окончания. Апробация нового анализа исследования и идентификации зашумлённого ПП СМ в данной статье рассмотрена на примере синхронного турбодвигателя серии СТД-800-2 по результатам его стендовых испытаний при уровне напряжения статора 4512 В в опыте внезапного симметричного короткого замыкания (ВКЗ) (рис. 1).

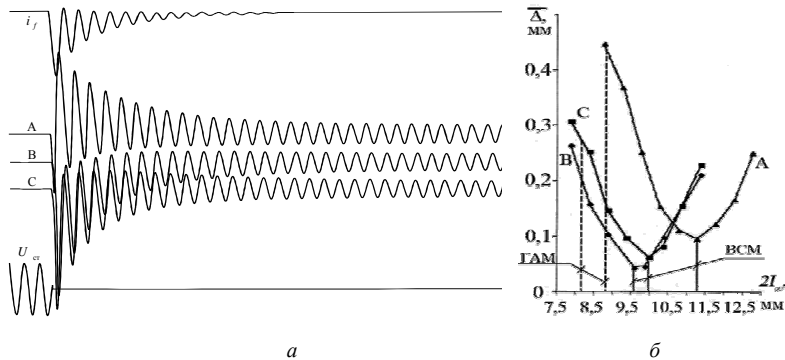
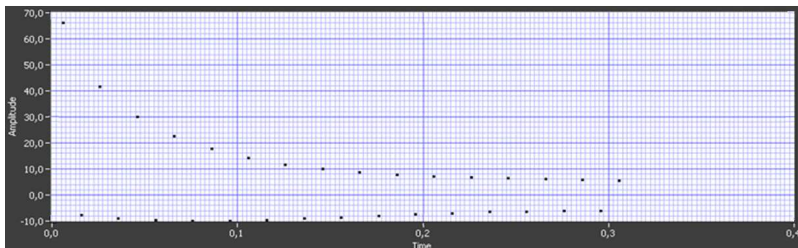


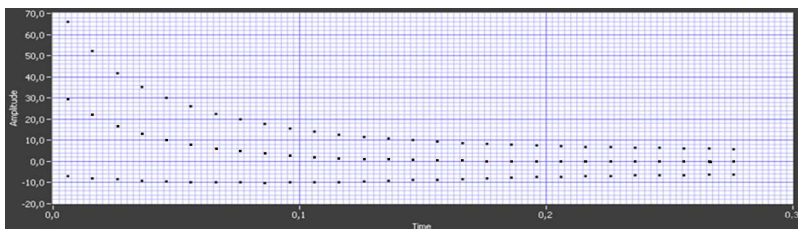
Рис. 1. Полный аналоговый ПП процесс (а), оптимизация установившегося значения тока статора турбодвигателя (б)

Анализ процесса осуществляется в два этапа, подробно иллюстрируется для одной из фаз в дискретном виде по рис. 2.





*a*



*б*

Рис. 2. Полный ПП: *a* – в виде вершин с шагом 0,02с с учётом начального сдвига первой вершины; *б* – в виде дискретных элементов между огибающими с частотой 100 Гц с учетом асимметричной составляющей

Формулы (1) полностью исключают многочисленные графоаналитические процедуры в стандартах при обработке на первом этапе ПП СМ, включая аналитическое разделение полного тока якоря на симметричный и асимметричный токи, представленное в табл. 1.

$$\left. \begin{aligned} i_{0j}(\Delta t) &= i_{1j}(\Delta t) + |I_{Bj}(\Delta t)|, \quad j = 2, \overline{K-3}, \\ i_{1j}(\Delta t) &= |0,375 \cdot I_{B(j-1)}(\Delta t) + 0,75 \cdot I_{B(j+1)}(\Delta t) - 0,125 \cdot I_{B(j+3)}(\Delta t)|, \\ i_{11}(\Delta T) &= 1,875 \cdot I_{B2}(\Delta T) - 1,25 \cdot I_{B4}(\Delta T) + 0,375 \cdot I_{B6}(\Delta T). \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где  $i_{0j}(\Delta t)$  – элемент между огибающими; 0,375; 0,75; 0,125 – коэффициенты, выведенные на базе интерполяционной схемы Эйткена для расчёта интерполяционных узлов  $i_{1j}$  между вершинами со второго элемента до конца процесса; 1,875; 1,25; 0,375 – коэффициенты для конструирования элемента между огибающими на первом шаге ПП.

Таблица 1

Исходные данные и преобразования, Ф.А, 4512 В,  $i_{уст} = 11,3$  мм

| № П/П | $\Delta t_j, с$ | $\pm I_{Bj}, мм$ | $i_{Hj}, мм$  | $i_{Oj}, мм$  | $i_{Oj} - 2I_{\infty} = i'_{Oj} + i''_{Oj}$ |                | $i_{апер j}, мм$ | Модель переходного процесса |        | Примечание               |
|-------|-----------------|------------------|---------------|---------------|---|----------------|------------------|-----------------------------|--------|--------------------------|
|       |                 |                  |               |               | $i'_{Oj}, мм$                               | $i''_{Oj}, мм$ |                  | всм                         | гам    |                          |
| 1     | 0,004           | -32,5            | 51,587        | 84,087        | 72,787                                      |                | <b>9,543</b>     | 84,0865                     | 78,516 | $t''_{H}, t_{ан}$        |
|       |                 |                  |               |               | 50,079                                      | 22,708         |                  |                             |        |                          |
| 2     | 0,014           | 44,9             | 24,262        | 69,162        | 57,862                                      |                | 10,318           | <b>68,212</b>               | 66,711 |                          |
|       |                 |                  |               |               | 44,512                                      | 13,35          |                  |                             |        |                          |
| 3     | 0,024           | -18,4            | 39,237        | 57,637        | 46,337                                      |                | 10,418           | 57,637                      | 57,765 | $t''_B$                  |
|       |                 |                  |               |               | 39,564                                      | 6,773          |                  |                             |        |                          |
| 4     | 0,034           | 34,6             | 15,862        | 50,462        | 39,162                                      |                | <b>9,368</b>     | <b>50,165</b>               | 50,848 |                          |
|       |                 |                  |               |               | 35,162                                      | 3,699          |                  |                             |        |                          |
| 5     | ...             | ...              | ...           | ...           | ...   | ...            | ...              | ...                         | ...    | ...                      |
| 6     | <b>0,104</b>    | <b>-8,3</b>      | <b>18,425</b> | <b>26,725</b> | <b>15,425</b>                               | 0,013          | 5,062            | 26,765                      | 27,537 | $t'_{H}, t'_{удф}$       |
| 7     | ...             | ...              | ...           | ...           | ...   | ...            | ...              | ...                         | ...    | ...                      |
| 8     | 0,154           | 13               | 7,100         | 20,100        | 8,800                                       | 0,250          | <b>2,95</b>      | 19,852                      | 20,513 | $t_{ав}$                 |
| 9     | ...             | ...              | ...           | ...           | ...   | ...            | ...              | ...                         | ...    | ...                      |
| 10    | 0,204           | -6,5             | 9,568         | 16,068        | <b>4,768</b>                                |                | 1,534            | 16,043                      | 16,253 | $t'_{B \text{ э } \phi}$ |
| 11    | ...             | ...              | ...           | ...           | ...   | ...            | ...              | ...                         | ...    | ...                      |
| 12    | <b>0,254</b>    | 7,9              | 6,000         | 13,900        | 2,600                                       |                | 0,950            | 13,931                      | 13,563 | $t'_{B}^*$               |

При этом алгебраическая полусумма в узлах дискретизации даёт асимметричный ток ПП (7-я колонка табл. 1), а алгебраическая полуразность – представляет в каждом узле симметричный ток ПП (6-я колонка табл. 1). Симметричный ток ПП содержит переходную, сверхпереходную составляющие и установившееся значение тока якоря СМ, поэтому разделение его на переходную и сверхпереходную составляющие в полулогарифмических осях по отечественным стандартам вносит погрешность субъективного характера ещё в большей степени в сравнении с первым этапом. Это ведёт к существенному разбросу результатов идентификации всех составляющих по зашумлённым опытным данным. Анализ ПП на втором этапе удобнее рассматривать с табл. 1, которая содержит исходные данные (1,2-я колонки), промежуточные расчёты (3,5,6-я колонки), заданные границы исследуемого диапазона с переходной составляющей (10-я колонка) и другую полезную информацию. **На втором этапе**, на участке исследования для идентификации переходной составляющей с использованием **базового случайного признака** по (2) создана с избыточностью совокупность

случайного признака объёмом  $n_b$ , формируемым комбинаторным способом по (3) с охватом всех элементов  $K = (t'_b - t'_n) / \Delta t + 1$ , с шагом  $\Delta t = 0,01$ с исследуемого диапазона.

$$\tau'_{kj} = (t'_j - t'_k) / \ln |i'_{ok} / i'_{oj}| = (t'_b - t'_n) / \ln |i'_{on} / i'_{ob}|, \quad (2)$$

где  $k = \bar{1}, \bar{K}$  – переменная для задания нижней границы;  $j = k+1$ ,  $k$  – переменная для задания верхней границы;  $K$  – количество элементов в диапазоне исследования ПП.

$$n_b = \sum_{j=k+1}^K \tau'_{kj} + \sum_{j=k+1}^K \tau'_{kj} + \sum_{j=k+1}^K \tau'_{kj} + \dots \quad (3)$$

Для эффективного исследования и идентификации переходной составляющей разработана многофункциональная исследовательская программа, подробно представленная в [3], благодаря которой исследованиями ПП выявлено ядро эффективных точечных выборок (ЭТВ) в области нижней границы, исследуемого диапазона (табл. 2).

Таблица 2

### Эффективные точечные выборки

| № п/п | $t_j, c$ | $i'_{\sigma j}, мм$ | Выборка случайного признака $\tau'_{kj}, c$ с объёмом $n_a = 87$ |                 |                 |                 |                 |                 |
|-------|----------|---------------------|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1     | 0,104    | 15,425              |  |                 |                 |                 |                 |                 |
| 2     | ...      | ...                 | ...  | ...             | ...             | ...             | ...             | ...             |
| 3     | 0,204    | 4,768               | <b>0.085186</b>  | 0.085320        | 0.085918        | 0.086868        | 0.084810        | 0.081610        |
| 4     | 0,214    | 4,194               | 0.084460   | <b>0.084506</b> | 0.084937        | 0.085625        | 0.083737        | 0.080955        |
| 5     | 0,224    | 3,800               | 0.085654   | 0.085808        | <b>0.086341</b> | 0.087133        | 0.085603        | 0.083358        |
| 6     | 0,234    | 3,438               | 0.086595   | 0.086818        | 0.087408        | <b>0.088249</b> | 0.086973        | 0.085106        |
| 7     | 0,244    | 3,069               | 0.086702   | 0.086918        | 0.087468        | 0.088238        | <b>0.087087</b> | 0.085431        |
| 8     | 0,254    | 2,600               | 0.084247   | 0.084265        | 0.084542        | 0.084962        | 0.083712        | <b>0.082018</b> |

Примечание: в колонках 1 и 2 представлена исходная информация.

ЭТВ рассчитывают по (4), которые отклоняются от МО в нормализованных вариационных рядах по выборкам в фазах переходной составляющей в исследуемом диапазоне с минимальной относительной погрешностью, выделенные жирно в таблице 2 для фазы А.

$$(\tau'_{kj})_{\text{эф}} = \frac{t'_{j,\text{эф}} - t'_{k,\text{эф}}}{\ln |i'_{ok,\text{эф}} / i'_{oj,\text{эф}}|} = \frac{t'_{b,\text{эф}} - t'_{n,\text{эф}}}{\ln |i'_{on,\text{эф}} / i'_{ob,\text{эф}}|}, \quad (4)$$

где  $i'_{o,b} = 0,33i'_{o,n}$ .

Особо важным обстоятельством является оптимизация установленного значения тока якоря СМ в опытах ВКЗ (рис. 1, б) и минимизация объёма ЭТВ по ядру с использованием распределения Пуассона для редких случайных событий (в роли которых выступает обнаруженный объём ЭТВ по их ядру в области нижней границы исследуемого диапазона ПП). На этих результатах исследования конструируются комбинаторные унифицированные выражения для высокоточной и достоверной идентификации переходной составляющей по четырём ЭТВ:

$$n_{\text{эф}} = 4; \tilde{\tau}'_{\text{эф}} = 1/4 \sum_{\substack{k_{\text{эф}}=1 \\ J_{\text{эф}}}}^4 \tau'_{k_{\text{эф}} J_{\text{эф}}}; \quad 2\tilde{t}'_{\text{о.эф}} = 1/4 \sum_{k_{\text{эф}}=1}^4 i'_{\text{о.}, k_{\text{эф}}} \cdot e^{t_{k_{\text{эф}}} / \tau'_{k_{\text{эф}} J_{\text{эф}}}};$$

$$\tau'_{k_{\text{эф}} J_{\text{эф}}} = (t'_{j_{\text{эф}}} - t'_{k_{\text{эф}}}) / \ln |i'_{\text{о.н.эф}} / i'_{\text{о.в.эф}}|, \quad (5)$$

где  $i'_{\text{о.в.эф}} = 0,33 i'_{\text{о.н.эф}}$ ;  $k_{\text{эф}} = \bar{1}, \bar{4}$ ;  $i'_{\text{о.н.эф}} = i_{\text{о.н.}} - (i_{\infty})_{\text{отт}}$ .

Нормальное распределение случайного признака для переходной составляющей в объёме выявленного по ядру в рамках 5% разброса случайного признака в вариационном ряду подтверждено гистограммами по методу Пирсона (рис. 3, табл. 3).

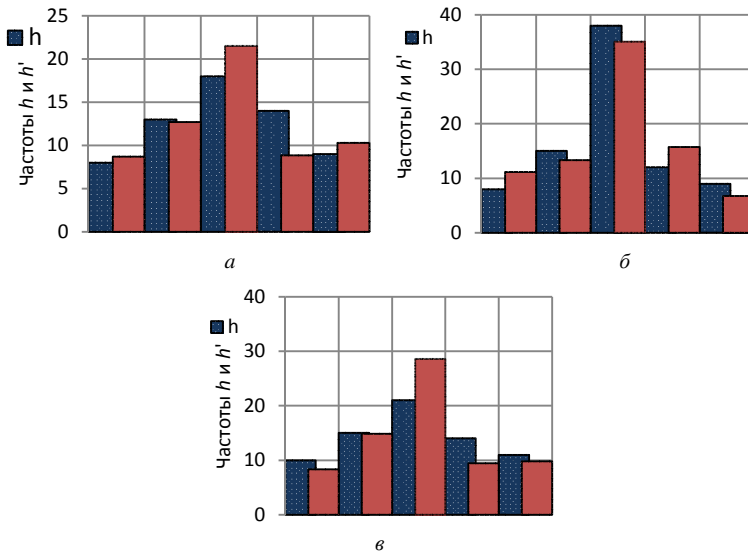


Рис. 3. Гистограммы распределения эмпирических  $h_j$  (тёмные столбики) и гипотетических  $h'_j$  (светлые столбики) частот случайного признака

Размах случайного признака и коэффициент вариации определялись по формулам:

$$R = (\tau'_{kj})_{\max} - (\tau'_{kj})_{\min}, \quad v = (\sigma_B / \bar{\tau}'_B) \cdot 100 \% \quad (6)$$

Таблица 3

Результаты исследования по ядру случайного признака

| Фаза А. Объем случайного признака вариационного ряда ядра при $n_a=87$ и $K=18$ |              |          |       |                          |                         |               |        |
|---|--------------|----------|-------|--------------------------|-------------------------|---------------|--------|
| МО, с   | $\sigma$ , с | R, с     | v, %  | $\bar{\Delta}'_{18}$ , А | $\bar{\Delta}_{26}$ , А | $\chi^2$ о.е. | P      |
| 0,084799  | 0,00532      | 0,032136 | 6,281 | –                        | –                       | –             | –      |
| Объем случайного признака вариационного ряда по ядру $(n_{я})_{5\%} = 62$       |              |          |       |                          |                         |               |        |
| 0,085355  | 0,00189      | 0,032136 | 2,225 | 0,280                    | 1,327                   | 0,38153       | 0,9797 |
| Фаза В. Объем случайного признака вариационного ряда ядра при $n_a=87$ и $K=18$ |              |          |       |                          |                         |               |        |
| 0,100823  | 0,00253      | 0,017514 | 2,518 | –                        | –                       | –             | –      |
| Объем случайного признака вариационного ряда по ядру $(n_{я})_{5\%} = 82$       |              |          |       |                          |                         |               |        |
| 0,100936  | 0,00176      | 0,009101 | 1,75  | 0,647                    | 2,643                   | 2,9789        | 0,9797 |
| Фаза С. Объем случайного признака вариационного ряда ядра при $n_a=75$ и $K=16$ |              |          |       |                          |                         |               |        |
| 0,088754  | 0,00243      | 0,016415 | 2,741 | –                        | –                       | –             | –      |
| Объем случайного признака вариационного ряда по ядру $(n_{я})_{5\%} = 71$       |              |          |       |                          |                         |               |        |
| 0,088845  | 0,00189      | 0,007424 | 2,129 | 0,770                    | 1,484                   | 4,7014        | 0,9797 |

**Заключение:**

1. Трудоемкость исследования и идентификация переходной составляющей с использованием ядра ЭТВ снижается в разы.

2. Минимизации объема ЭТВ ядра с распределением Пуассона для редких случайных событий осуществлена с вероятностью, близкой к единице.

3. Точность приближения модели в узлах ПП к его опытным данным в сравнении со стандартом точнее на порядок.

**Библиографический список**

1. Судаков А.И., Каменских И.А. Идентификация переходной составляющей в зашумленных переходных процессах синхронных машин // Электротехника. – 2018. – № 11. – С. 36–41.

2. Судаков А.И., Чабанов Е.А., Каменских И. А. Развитие вероятностно-статистических методов идентификации зашумленных переходных процессов синхронных машин // Электротехника. – 2017. – № 11. – С. 18–24.

3. Судаков А.И., Чабанов Е.А. Вероятностно-статистические методы исследования идентификации переходных процессов мощных синхронных машин. – Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2017. – 295 с.

4. Судаков А.И., Чабанов Е.А., Шулаков Н.В. К вопросам исследования и идентификации переходных процессов мощных синхронных машин вероятностно-статистическими методами // *Электричество*. – 2013. – № 3. – С. 34–39.

5. Судаков А.И., Чабанов Е.А., Шулаков Н.В. Модернизация вероятностно-статистических методов исследования переходных процессов мощных синхронных машин // *Электротехника*. – 2010. – № 6. – С. 20–26.

6. Судаков А.И., Чабанов Е.А., Шулаков Н.В. Вероятностно-статистические методы исследования переходных процессов мощных синхронных машин // *Электротехника*. – 2010. – № 8. – С. 22–29.

7. Судаков А.И., Чабанов Е.А. Надёжность электрических машин: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2009. – 332 с.

8. Судаков А.И. Экспресс-анализ результатов автоматизированных испытаний синхронных электрических машин: автореф. дис.... канд. техн. наук. – Свердловск, 1991. – 20 с.

#### **Сведения об авторах**

**Судаков Анатолий Иванович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электротехника и электромеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: sudakov38@mail.ru

**Каменских Илья Александрович** – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: kamenskih.ilya@gmail.com

**Фалалеев Дмитрий Викторович** – бакалавр Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: falaleev6@inbox.ru

#### **About the authors**

**Sudakov Anatoly Ivanovich** – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electrical Engineering and Electrical Engineering Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: sudakov38@mail.ru

**Kamenskih Ilya Alexandrovich** – Master Student Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: kamenskih.ilya@gmail.com

**Falaleev Dmitry Viktorovich** – Student Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: falaleev6@inbox.ru

## СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НЕАКТИВНОЙ ЧАСТИ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА СИНХРОННОЙ МАШИНЫ

**Р.О. Токарев<sup>1</sup>, В.В. Шапошников<sup>1</sup>, Е.А. Чабанов<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

<sup>2</sup>Волжский государственный университет водного  
транспорта (Пермский филиал), Пермь

В настоящее время во всем мире значение электрической энергии играет важную роль в жизни каждого человека. Электрические машины занимают в этой области особое место. На сегодняшний день существует программа надежности этих машин и увеличения срока службы без особых вмешательств в конструкцию. Чем больше срок службы каждой машины, тем меньше предприятие тратит на ремонт и переоснащение. Не все предприятия могут производить постоянный ремонт и модернизацию задействованного оборудования, из-за ограничения денежных средств они вынуждены снижать бюджет на ремонт оборудования. В данной статье рассматривается один из способов решения данной проблемы, а именно периодическая оценка технического состояния машины. Плюсом такого решения является то, что задолго до поломки оборудования есть возможность выявить дефект в машине и исправить его. В этом случае на производстве не будет внезапного выхода из строя двигателя и аварийной ситуации, опасной для жизни обслуживающего персонала.

**Ключевые слова:** синхронная машина, преобразование Фурье, коэффициенты разложения, спектральный анализ, амплитудный спектр, фазовый спектр, оценка технического состояния, внезапное симметричное короткое замыкание, диагностика неисправностей.

## SPECTRAL ANALYSIS OF THE INACTIVE PART OF THE TRANSIENT PROCESS OF A SYNCHRONOUS MACHINE

**R.O. Tokarev<sup>1</sup>, V.V. Shaposhnikov<sup>1</sup>, E.A. Chabanov<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Perm National Research Polytechnic University, Perm

<sup>2</sup>Volga State University of Water Transport (Perm branch), Perm

Nowadays, the importance of electrical energy is important in the life of every human being. Electric machines occupy one of the most important roles in this area. Today, there is an important task about the reliability of these machines and the longer life without special interventions in the design. The longer the service life of each machine, the less the company spends on repairs and re-equipment. Not all enterprises today can make constant repairs and modernization of their equipment,

because of the restriction of funds they are forced to reduce the budget for the repair of equipment. In this article we will look at one of the ways to solve this problem, namely periodical evaluation of the technical condition of the machine. The advantage of this solution is that long before the equipment breakage there is a possibility to detect the defect in the machine and fix it. In this case, the production will not be a sudden failure of the engine, which will not cause an emergency situation dangerous for the life of the attendants.

**Keywords:** synchronous machine, Fourier transformation, expansion coefficients, spectral analysis, amplitude spectrum, phase spectrum, assessment of technical condition, sudden symmetrical short circuit, fault diagnosis.

С каждым днем разрабатываются новые методы оценки состояния электрической машины [8]. Одним из таких методов является спектральный анализ токов статора рабочей машины [6]. Этот метод позволяет быстро, с высокой точностью и достоверностью результатов определять электрические и механические неисправности электрической машины [3]. Ранее было рассмотрено [1] применение метода спектрального анализа переходных процессов на его активную часть [7], мгновенные значения тока статора от времени в опыте внезапного симметричного короткого замыкания показаны на рис.1. Объектом исследований являлся синхронный турбогенератор серии ТТК-50-2УЗ-П. Применение метода осуществлялось с помощью быстрого дискретного преобразования Фурье, коэффициенты разложения ряда Фурье определялись в виде обобщённых формул (1–2).

Суть метода заключается в том, что любое возмущение в работе машины напрямую будет влиять на ток статора рабочей машины, а значит, и на спектр получаемого сигнала. Соответственно, наличие в спектре машины не совпадающих частот определенной величины, будет свидетельствовать о наличии повреждения.

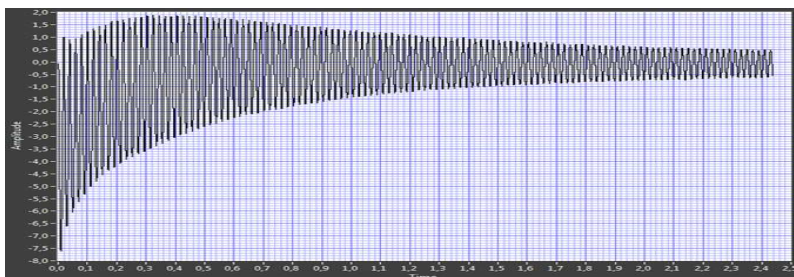


Рис. 1. Мгновенные значения тока статора от времени при номинальном напряжении испытания



Мониторинг тока статора является весьма удобным методом мониторинга для машины без ее остановки [4, 6]. Признаки нарушения ее внешней или внутренней симметрии будут видны в спектре тока.

Методика строится на сравнении спектрограмм тока статора нового двигателя с объектом исследования.

Исследования позволяют на конкретном примере рассмотреть техническое состояние рабочей машины в данный момент времени и выявить ее дефекты, если такие присутствуют.

$$a_n = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^{n-1} f(i) \cos \frac{ki}{N}; b_n = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^{n-1} f(i) \sin \frac{k\pi i}{N}, \quad (1)$$

где  $N$ ,  $k$  – количество мгновенных значений исследуемого мгновенного тока в опыте ВКЗ,  $i$  – текущее мгновенное значение тока в опыте ВКЗ.

$$A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}; \varphi_n = \arctan \frac{b_n}{a_n}, \quad (2)$$

где  $\omega_1 = 2\pi f t n$  – основная частота (частота первой гармоники,  $n = 1, 2, 3, \dots$ ).

Амплитуды гармоник  $A_n$  характеризуют амплитудный спектр, а начальные фазы  $\varphi_n$  – фазовый спектр. В качестве основной программы для обработки результатов будет использована программа LabView [5]. В текущей работе рассмотрим области 1 и 2 (рис. 2) из переходного процесса и проверим выдвинутую нами ранее гипотезу [1]. Также сравним полученные результаты с идеальным переходным процессом.

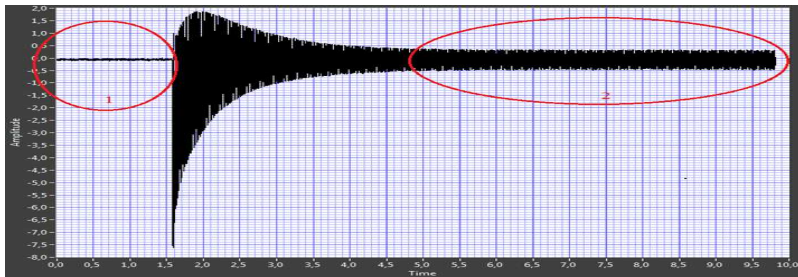


Рис. 2. Мгновенные значения тока статора от времени при номинальном напряжении испытания

Основная программа представлена на рис. 3, а на рис. 4 приведена программа для нахождения идеального ПП.

Исследование проводим на токе фазы «А» при напряжении от номинального. На рис. 3 график черного цвета – это область 2 (см. рис. 2), она характеризуется уже установившимся процессом ПП. Как видно, есть явный всплеск на частоте 125 000. График синего цвета это область 1 (см. рис. 2), он имеет всплеск только на основной гармонике, т.е. на частоте 50 Гц. Таким образом, область 1 характеризуется шумами, возникающими в каналах связи (например, в информационных кабелях), измерительной аппаратуре (например, в цифровом запоминающем осциллографе) из-за различных случайных факторов (например, влияние окружающей среды) и по другим причинам, следовательно, к машине не имеет никакого отношения, а значит, исследовать данную область в дальнейшем не имеет смысла. Такая же явная закономерность проявляется и на фазовых спектрах сигнала и на других двух фазах. Теперь необходимо сравнить полученные результаты. Формула для идеального переходного процесса приведена ниже.

$$i = \left( \left( \frac{E_m}{x_{d'}} - \frac{E_m}{x_{d'}} \right) e^{-\frac{t}{T_{d'}}} + \left( \frac{E_m}{x_{d'}} - \frac{E_m}{x_{d'}} \right) e^{-\frac{t}{T_{d'}}} + \frac{E_m}{x_d} \right) \cdot \cos(\omega t + \gamma_0) - \left[ \frac{E_m}{2} \left( \frac{1}{x_{d'}} - \frac{1}{x_{d'}} \right) \cos \gamma_0 + \left( \frac{1}{x_{d''}} - \frac{1}{x_{d''}} \right) \cos(2\omega t + \gamma_0) \right] e^{-\frac{t}{T_a}}. \quad (3)$$

Параметры для вычисления идеального переходного процесса турбогенератора [2]:

- напряжение,  $E_m = 1$ , о.е.;
- продольное переходное индуктивное сопротивление,  $x_{d'} = 0,3$  Ом;
- продольное сверхпереходное индуктивное сопротивление,  $x_{d''} = 0,21$  Ом;
- переходная постоянная времени,  $T_{d'} = 1$  с;
- сверхпереходная постоянная времени,  $T_{d''} = 0,8$  с;
- постоянная времени апериодического тока,  $T_a = 0,22$  с;
- продольное синхронное индуктивное сопротивление,  $x_d = 2$  Ом;
- поперечное синхронное индуктивное сопротивление,  $x_q = 2$  Ом;

- поперечное сверхпереходное индуктивное сопротивление,  $x_q'' = 0,21$  Ом;
- начальная фаза тока короткого замыкания  $\gamma_0 = 90^\circ$ .

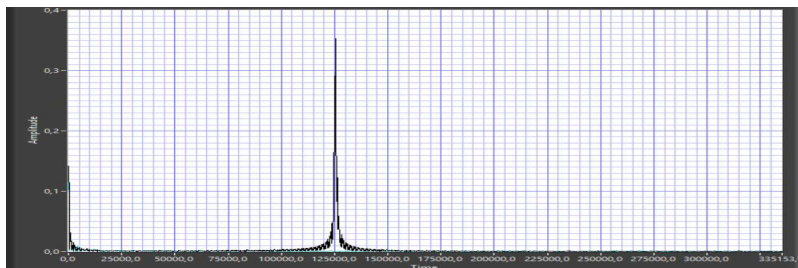


Рис. 3. Амплитудные спектры двух областей

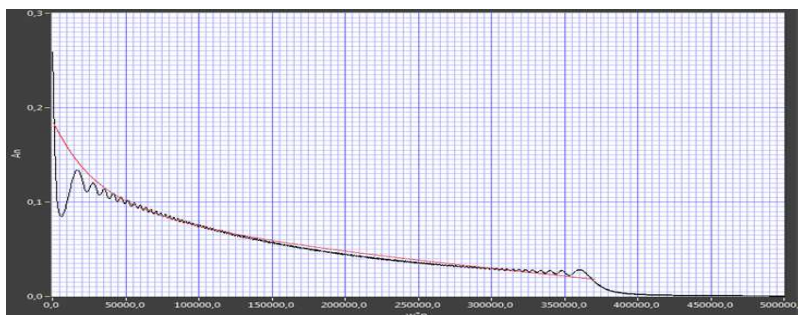


Рис. 4. Амплитудный спектр идеального переходного процесса

Амплитудный спектр в машине без дефектов (рис. 4) имеет общую тенденцию в виде плавной нелинейной ниспадающей характеристики. На рис. 4 не наблюдается дополнительных гармоник, как на рис. 5.

Анализ фазового спектра сигнала в отдельности показал, что дополнительных гармоник, указывающих на дефект в машине, не наблюдается.

**Заключение.** Выдвинутая нами ранее гипотеза подтверждается и исследованиями в данной работе, а именно: в машине существует явный дефект, и данный дефект связан с механической или электрической частью (общей для всех фаз) ротора двигателя. Подобные изменения происходят по причине насыщения электрической машины с ростом напряжения испытания.

В перспективе необходимо производить дальнейшие исследования, чтобы закрепить гипотезу, например, использовать другой опыт или другую программу.

### **Библиографический список**

1. Токарев Р.О., Чабанов Е.А. Спектральный анализ неисправностей синхронной машины // Автоматизированные системы управления и информационные технологии: материалы всерос. науч. конф., – Пермь, 2018. – С. 97–102.

2. Вольдек А.И. Электрические машины: учебник для вузов. – 2-е изд. перераб. и доп. – Л.: Энергия, 1974. – 840 с.

3. Жизневский В.А., Тюленев М.Е. Методика спектрографического анализа состояния асинхронного двигателя // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2013. – С. 94–99.

4. Бурцев А.Г., Дягилева Т.В., Пан А.Г.. Спектральный анализ тока статора трехфазного асинхронного двигателя при аварийных режимах работы // Инженерный вестник Дона. – 2015. – № 2–1. – 8 с.

5. Васильев А.С., Лашманов О.Ю. Основы программирования в среде LabView. – СПб.: Изд-во ИТМО, 2015. – 82 с.

6. Петухов В.С., Соколов В.А. Диагностика состояния электродвигателей. Метод спектрального анализа потребляемого тока // Новости электротехники. – 2005. – № 1(31). – С. 50–52.

7. Чабанов Е.А., Судаков А.И., Шулаков Н.В. Новые подходы к получению исходной информации и методам идентификации переходных процессов мощных синхронных машин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2013. – № 8. – С. 114–127.

8. Носов В.В. Диагностика машин и оборудования: учеб. пособие. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб.: Лань, 2012. – 384 с.

### **Сведения об авторах**

**Токарев Роман Олегович** – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: ju11071996@yandex.ru

**Шапошников Владислав Валерьевич** – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: vladislav96gg@gmail.com

**Чабанов Евгений Александрович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электротехника и электромеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, доцент кафедры «Технические дисциплины» Пермского филиала Волжского государственного университета водного транспорта», Пермь, e-mail: ceapb@mail.ru

### **About the authors**

**Tokarev Roman Olegovich** – Student Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: ju11071996@yandex.ru.

**Shaposhnikov Vladislav Valeryevich** – Student Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: vladislav96gg@gmail.com

**Chabanov Evgenii Aleksandrovich** – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor Department of Electrical Engineering and Electromechanics Perm National Research Polytechnic University, Perm, Associate Professor Department of Technical Disciplines Perm branch of Volga State University of Water Transport, Perm, e-mail: ceapb@mail.ru

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ СИНХРОННОЙ МАШИНЫ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИСПЫТАНИЙ**

**В.А. Трефилов, В.А. Лоскутников**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

Представлены результаты исследования характеристик синхронных машин, параметры которых рассчитаны методом оптимизации при проектировании.

**Ключевые слова:** синхронная машина, оптимизация конструкции, воздушный зазор, исследование, переходные и стационарные процессы.

## **INVESTIGATION OF THE SYNCHRONOUS MOTOR OPTIMAL PARAMETERS EFFECT WHILE TAKING TESTS**

**V.A. Trefilov, V.A. Loskutnikov**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

The article conducted a research of the synchronous motors' characteristics, which parameters are calculated by the design optimization method.

**Keywords:** synchronous motor, design optimization, air gap, research, transient and stationary processes.

Качество изготовления синхронных машин напрямую зависит от оптимальности конструкции. При применении оптимизационных методов расчёта в процессе проектирования синхронных машин получают достаточно высокие характеристики качества, поскольку оптимизационные расчёты позволяют улучшить массогабаритные и энергетические показатели синхронных машин, уменьшить трудоёмкость изготовления и эксплуатационные расходы. Таким образом, актуальной является задача оптимизации конструктивных параметров синхронных машин, удовлетворяющих требуемым рабочим характеристикам и технико-экономическим показателям [1].

Расчёт синхронного генератора общепромышленного применения производится по классической методике на основе уравнений электромагнитного поля [2]. Расчётная модель синхронной машины включает электромагнитные и механические, а также тепловые расчёты.

В процессе расчёта производится определение размеров статора (зубцовая зона и пазы под обмотки) на основе рассчитанных номинальных параметров, с предварительно заданными требуемыми исходными данными машины, являющимися впоследствии её паспортными данными. Далее выполняются расчёт полюсов ротора и выбор воздушного зазора. Уже после расчёта магнитной цепи уточняются параметры статорной обмотки для установившегося режима работы, затем вычисляются параметры обмотки возбуждения под нагрузкой и постоянные времени обмоток. После чего рассчитывается массы активных материалов, определяются КПД и потери. Производится тепловой расчёт, затем определяются токи короткого замыкания. В результате строятся рабочие характеристики машины.

В качестве исходных данных для расчёта и имитационного моделирования были использованы параметры и характеристики существующей синхронной машины. Данная синхронная машина представляет собой синхронный генератор, изготовленный по конструкторской документации завода-изготовителя серии СТД [3]. Основные параметры приведены в табл. 1.

Таблица 1

Паспортные данные двигателей серии СТД

| Тип изделия      | Мощность, кВт | Напряжение, В | Частота вращения, об/мин | КПД, % | Масса, кг |
|------------------|---------------|---------------|--------------------------|--------|-----------|
| СТД-2500-2 УХЛ4  | 2500          | 6000          | 3000                     | 97,2   | 10000     |
| СТД-4000-2 УХЛ4  | 4000          | 6000          | 3000                     | 97,5   | 11580     |
| СТД-5000-2 УХЛ4  | 5000          | 6000          | 3000                     | 97,6   | 13700     |
| СТД-6300-2 УХЛ4  | 6300          | 6000          | 3000                     | 97,6   | 21390     |
| СТД-8000-2 УХЛ4  | 8000          | 6000          | 3000                     | 97,9   | 23950     |
| СТД-10000-2 УХЛ4 | 10000         | 6000          | 3000                     | 97,8   | 26520     |
| СТД-12500-2 УХЛ4 | 12500         | 6000          | 3000                     | 97,9   | 29500     |

На основе имеющихся исходных данных был произведён расчёт параметров и характеристик синхронных машин. Рабочие характеристики в статическом режиме получены в результате расчёта в мате-

математическом пакете MathCAD. Затем был выполнен расчёт по методу оптимизации, и получены модели синхронных машин с оптимальными параметрами. Для проведения испытаний, сравнения и анализа характеристик полученных моделей с характеристиками существующих синхронных машин в качестве испытательного стенда применяется двухмашинный агрегат нагрузочного устройства СМ, свойством которого является возможность возврата электрической энергии обратно в сеть.

На основе математического описания переходных процессов при его работе, представленного в статье [4], получены результаты исследования переходных режимов работы. Переходные процессы при работе испытательного стенда определяются математической моделью в ортогональной системе координат  $d-q$ .

Имитационное моделирование стенда для испытаний синхронных машин, характеристики которых рассчитаны с помощью метода оптимизации параметров, выполнено в программном математическом пакете MatLab Simulink [5] на основании математической модели. В качестве нагрузочного устройства применяется синхронная машина, по мощности равная исследуемой машине, но с «неоптимальными» характеристиками, общепромышленного применения, а именно синхронная машина серии СТД.

Принцип работы заключается в том, что одна синхронная машина работает в режиме двигателя, а другая – в режиме генератора. Именно машина, работающая в режиме генератора, выполняет функцию рекуперации энергии. Стоит отметить, что нагрузочное устройство имеет высокий КПД во всём диапазоне изменения нагрузки [4]. Сводные расчётные данные представлены в табл. 2.

Также произведён расчёт активного сопротивления статора и ротора (при 15 °С), токов возбуждения [6] (в режиме короткого замыкания, при холостом ходу и при номинальной нагрузке), расчёт полных потерь и коэффициента полезного действия для каждой модели.

На основе вышеуказанных параметров и в результате имитационного моделирования получены реактивности синхронных машин. Результаты представлены в табл. 3.



Таблица 2

## Полученные расчётные данные двигателей

| Тип изделия | Мощность номинальная |           | Номинальное линейное напряжение $U_n$ , кВ | Номинальный линейный ток $I_n$ , А | Номинальный коэффициент мощности (cosφ) | Номинальная скорость вращения $n$ , об/мин | Односторонний воздушный зазор, мм |
|-------------|----------------------|-----------|--|------------------------------------|---|--|-----------------------------------|
|             | $S$ , кВА            | $P$ , кВт |  |                                    |   |  |                                   |
| СТД-2500-2  | 2870                 | 2500      | 6  | 276,2                              | 0,9                                     | 3000                                       | 22                                |
|             |                      |           | 10   | 165,7                              |   |  |                                   |
| СТД-4000-2  | 4560                 | 4000      | 6  | 438,8                              | 0,9                                     | 3000                                       | 22                                |
|             |                      |           | 10   | 263,2                              |   |  |                                   |
| СТД-5000-2  | 5740                 | 5000      | 6  | 552,3                              | 0,9                                     | 3000                                       | 22                                |
|             |                      |           | 10   | 331,4                              |   |  |                                   |
| СТД-6300-2  | 7230                 | 6300      | 6  | 695,7                              | 0,9                                     | 3000                                       | 24                                |
|             |                      |           | 10   | 417,4                              |   |  |                                   |
| СТД-8000-2  | 9130                 | 8000      | 6  | 878,5                              | 0,9                                     | 3000                                       | 24                                |
|             |                      |           | 10   | 527,1                              |   |  |                                   |
| СТД-10000-2 | 11400                | 10000     | 6  | 1097                               | 0,9                                     | 3000                                       | 24                                |
|             |                      |           | 10   | 658,2                              |   |  |                                   |
| СТД-12500-2 | 14200                | 12500     | 6  | 1366,4                             | 0,9                                     | 3000                                       | 24                                |
|             |                      |           | 10   | 819,8                              |   |  |                                   |

Таблица 3

## Реактивности двигателей

| Тип изделия | Напряжение, кВ | Реактивность, %                |                          |                  |  |                                | Активное сопротивление при 15°C, Ом |
|-------------|----------------|--------------------------------|--------------------------|------------------|--|--------------------------------|-------------------------------------|
|             |                | Продольная                     |                          |                  | Полная рассеяния обмотки статора $x_l$ | Рассеяния обмотки ротора $x_f$ |                                     |
|             |                | Сверхпереходная, $\hat{x}_d''$ | Переходная, $\hat{x}_d'$ | Синхронная $x_d$ |  |                                |                                     |
| СТД-2500-2  | 6              | 14,1425                        | 22,4234                  | 154,1026         | 11,6425                                | 11,6636                        | 0,2072                              |
| СТД-4000-2  | 6              | 14,7214                        | 25,8756                  | 191,7122         | 12,2214                                | 14,7784                        | 0,2425                              |
| СТД-5000-2  | 6              | 13,5599                        | 25,1617                  | 195,8577         | 11,0599                                | 15,2567                        | 0,2778                              |
| СТД-6300-2  | 6              | 15,1933                        | 26,3915                  | 214,4192         | 12,6933                                | 14,703                         | 0,3818                              |
| СТД-8000-2  | 6              | 14,2715                        | 25,7803                  | 218,7104         | 11,7715                                | 15,0259                        | 0,4194                              |
| СТД-10000-2 | 6              | 12,5452                        | 23,3894                  | 207,009          | 10,0452                                | 14,3139                        | 0,4947                              |
| СТД-12500-2 | 6              | 12,0588                        | 23,734                   | 218,1801         | 9,5588                                 | 15,2088                        | 0,5512                              |

Для выбранных параметров получены постоянные времени (при разомкнутой обмотке статора, при коротком замыкании обмотки статора – трёх-, двух- и однофазном) синхронных машин.

Также выполнен расчёт при напряжении 10 кВ, проведён анализ и сравнение полученных данных.

**Закключение.** При увеличении номинальной мощности синхронной машины возрастают величина воздушного зазора, номинальный линейный ток и увеличивается активное сопротивление.

Разрабатываемый метод расчёта оптимальных параметров синхронных машин позволит уменьшить расход технико-экономических и энергетических ресурсов при сохранении заданных технологических показателей.

Применение испытательного стенда на базе двухмашинного агрегата нагрузочного устройства синхронных машин оправдано его свойством рекуперации энергии, а также возможностью получения временных зависимостей параметров синхронных машин.

### **Библиографический список**

1. Судаков А.И., Чабанов Е.А., Лоскутников В.А. Разработка метода оптимизации параметров синхронной машины при её проектировании // Автоматизация в электроэнергетике и электротехнике. – 2016. – № 1. – С. 168–171.

2. Электрические машины (специальный курс) / Г.А. Сипайлов [и др.]. – М.: Высшая школа, 1987. – 277 с.

3. Исследования влияния асимметричного тока якоря синхронной машины на величину ударного тока по результатам опыта внезапного симметричного короткого замыкания / А.И. Судаков [и др.] // Автоматизация в электроэнергетике и электротехнике. – 2015. – № 1. – С. 224–228.

4. Трефилов В.А. Математическое описание переходных процессов двухмашинного агрегата нагрузочного устройства синхронных машин с рекуперацией энергии в сеть // Системы управления и информационные технологии. – 2015. – Т. 62, № 4–1. – С. 159–162.

5. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MatLab, SimPowerSystems и Simulink. – СПб.: Питер, 2008. – 288 с.

б. Вероятностно-статистические методы идентификации синусоидально возрастающих переходных процессов синхронных машин / Е.А. Чабанов [и др.] // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 12–10. – С. 2135–2141.

### **Сведения об авторах**

**Трефилов Владимир Алексеевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электротехника и электромеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: trefilovva@yandex.ru

**Лоскутников Василий Алексеевич** – аспирант кафедры «Электротехника и электромеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: loskutnikov.vasily@gmail.com

### **About the authors**

**Trefilov Vladimir Alekseevich** – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor of the Electrotechnical and Electromechanical department Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: trefilovva@yandex.ru

**Loskutnikov Vasily Alekseevich** – Graduate Student of the Electrotechnical and Electromechanical department Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: loskutnikov.vasily@gmail.com

## **К ВОПРОСУ О ПРОВЕДЕНИИ ВНУТРИТРУБНОЙ ДЕФЕКТΟΣКОПИИ ПОДВОДНЫХ ПЕРЕХОДОВ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ**

**В.В. Уланов, Т.С. Долгова**

Российский государственный университет нефти и газа (Национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина, Москва

Описан порядок проведения внутритрубной дефектоскопии подводных переходов магистральных газопроводов.

**Ключевые слова:** магистральный газопровод, подводный переход, дефектоскопия.

## **TO THE QUESTION OF THE CONDUCTING OF PIPELINE INSPECTION OF UNDERWATER CROSSINGS OF TRUNK GAS PIPELINES**

**V.V. Ulanov, T.S. Dolgova**

Russian State University of Oil and Gas (National Research University) named after I.M. Gubkina, Moscow

In the article describes the procedure for in-line inspection of underwater crossings of trunk gas pipelines.

**Keywords:** trunk gas pipeline, underwater crossings, in-line inspection.

Подводным переходом называется гидротехническая система сооружений одного или нескольких трубопроводов, пересекающая водные преграды, при строительстве которой применяются специальные методы производства подводно-технических работ. К подводным следует относить трубопроводы, уложенные по дну или ниже отметок дна водоема.

### **Порядок организации работ:**

1. Техническое диагностирование ПП МГ является элементом (составной частью) системы технического диагностирования МГ ПАО «Газпром».

2. При проведении работ по техническому диагностированию ПП МГ ПАО «Газпром» обеспечивается взаимодействие следующих участников системы технического диагностирования [1]:

- руководящего органа системы технического диагностирования МГ ПАО «Газпром»;
- эксплуатирующей организации;
- специализированной организации, выполняющей комплекс работ по техническому диагностированию;
- организации, ответственной за корпоративную систему сбора, передачи, обработки и хранения данных о технологических объектах добычи, транспорта и подземного хранения газа ЕСГ (ССД «Инфотех»);
- головных экспертных организаций.

*Порядок проведения работ.*

В состав работ по ВТД входят:

- подготовительные работы;
- работы по техническому диагностированию;
- заключительные работы по восстановлению участка ПП после проведения работ по ВТД.

*Подготовительные работы.*

На ПП МГ, планируемый к ВТД, ЭО составляются и предоставляются исполнителю различные документы, содержащие данные о ППМГ и о порядке проведения ВТД. В частности, в ППР (проект производства работ) должны включаться:

- краткая характеристика объекта, опросный лист участков производства работ;
- организация и порядок проведения работ;
- план и календарный график проведения работ;
- список привлекаемых сторонних организаций;
- перечень необходимых специальных механизмов и спецоборудования;
- разрешительные документы на право пользования земельными участками;
- охрана окружающей среды, сбор и вывоз отходов производства с передачей для размещения (утилизации) на территориях ЭО;
- безопасность проведения работ.

Также в документах указывается максимальная протяженность инспектируемого участка ПП МГ с нанесением на исполнительные чертежи мест экскавации и врезок временных камер запуска и приема ВИС [2].

Подготовительные работы непосредственно на объекте при выполнении ВТД включают следующие основные этапы:

- отключение и освобождение диагностируемого участка ПП МГ от газа (закрытие кранов по берегам и стравливание газа через свечу с последующей проверкой остаточного давления);

- вскрытие участка ПП МГ от грунта до нижней образующей трубы;

- измерение загазованности воздуха рабочей зоны;

- вырезку технологических отверстий и установку ВГУ;

- приварку к ПП МГ со стороны линейных крановых узлов сферических заглушек;

- продувку участка ПП МГ;

- установку на концевых участках обследуемого ПП МГ лотков для пуска-приема ВИС;

- привязку точек начала и окончания инспектируемого участка средствами системы спутникового позиционирования к опорным геодезическим пунктам и наземным элементам ПП МГ (крановые узлы и др.);

- углубление котлована на 1,0 м ниже нижней образующей на обоих берегах;

- укладку на дно котлована деревянных щитов (со стороны лотка приема под щиты укладывается полиэтиленовая пленка);

- оснащение котлована маршевыми лестницами;

- установку на противоположных берегах тяговой и возвратной лебедок.

Производство земляных работ осуществляют с учетом требований ГОСТ Р 12.3.048. При наличии всех документов, выполнении всех мероприятий и требований исполнитель приступает к работам по техническому диагностированию.

Основные этапы работ при дефектоскопии подводных переходов магистральных газопроводов [3]:

- этап 1 – очистка полости диагностируемого участка до установленной степени чистоты ВТУ;

- этап 2 – запасовка и последовательный пропуск снаряда-профилемера, снаряда-дефектоскопа;

- этап 3 – экспресс-анализ полученных данных с указанием координат точек пуска и приема снаряда [4];

- этап 4 – запасовка и пропуск стресс-коррозионного снаряда;

– этап 5 – анализ полученных результатов технического диагностирования совместно с ответственным представителем заказчика и принятие решения о завершении работ.

*Порядок очистки полости трубопровода.*

На пусковой лоток устанавливается самоходное устройство (робот) со снаряженной видеоаппаратурой. С его помощью осуществляют протягивание стального каната-проводника через диагностируемый участок ПП.

При помощи троса-проводника вытягивают трос возвратной лебедки, после чего возвратная лебедка вытягивает основной трос тяговой лебедки. Видеоаппаратуру, установленную на роботе, регулируют для съемки внутренней полости трубы, после чего выполняют его запуск на противоположный берег. При перемещении устройства по всей длине подводного перехода осуществляют видеозапись.

После выхода робота на противоположный берег просматриваются результаты видеозаписи на определение проходимости ВИС (отсутствие посторонних предметов, вмятин, косых стыков). По результатам видеозаписи приступают к проведению очистки полости и диагностического обследования ПП МГ.

Конец каната-проводника открепляют от самоходного устройства и закрепляют на барабане тяговой лебедки. Противоположный конец, расположенный на берегу, откуда началась протяжка, прикрепляют к основному тяговому канату и осуществляют его вытягивание через диагностируемый участок ПП.

После протяжки основного каната свободный его конец, находящийся на берегу, с которого начиналась протяжка, закрепляют за тяговое устройство снаряда-скребка, а с обратной стороны снаряда закрепляют канат, с помощью которого будет осуществлено вытягивание основного тягового каната после прохождения снарядом-скребком диагностируемого участка ПП.

Перед началом пропуска скребков для очистки полости трубы ПП МГ убеждаются в надежности креплений всех тяговых элементов системы. Последовательно запасовывают снаряд-скребок, магнитный очистной поршень и протягивают их с помощью тяговой лебедки. Все отходы, получаемые в результате очистки полости, собирают в специальную емкость, установленную под лотком приема. Трубу ПП МГ очищают до тех пор, пока очистным скребком не будет выноситься не более 0,01 м жидкости и 1,0 кг твердых включений.

Пропуск диагностических снарядов с использованием тягового каната.

Диагностику ПП методом протаскивания ВИС с помощью тягового каната проводят с помощью каната, применявшегося при очистке полости трубы ПП МГ.

Пропуск внутритрубных устройств с использованием временных узлов пуска и приема.

К началу работ по пропуску ВТУ на диагностируемом участке ПП МГ временные узлы пуска и приема врезаны и соединяются временной обвязкой линейных кранов, устанавливаются свечи на прилегающих участках. На прилегающих участках МГ перед узлом пуска и после узла приема устанавливаются стандартные приварные заглушки [5]. Газ из временных камер, обвязки и участка МГ между камерами удаляется до концентрации, не допускающей образования взрывоопасных смесей.

Технологией пропуска ВТУ определяется подготовка участка ПП МГ, т.е. заполнение его газом, подготовка временной камеры пуска и временной камеры приема для пуска и приема ВТУ, собственно запасовка ВТУ в камеру, пуск их из камеры, движение по участку ПП МГ, прием их в камеру, выемка из камеры и приведение камер в исходное состояние готовности к пропуску очередного снаряда.

Всю технологическую последовательность работ по диагностике отражают в соответствующей документации [6]. Восстановление участка подводного перехода после проведения работ по внутритрубной диагностике. Завершающие работы по восстановлению участка ПП МГ включают:

- вварку катушки;
- контроль сварных соединений;
- изоляционные работы;
- земляные работы по подбивке грунта под трубу и ее засыпке, кроме мест, где были предусмотрены технологические отверстия;
- вытеснение газозвдушной смеси;
- заварку технологических отверстий;
- контроль сварных соединений заварки технологических отверстий;
- изоляцию и засыпку технологических отверстий;
- заполнение газопровода газом.

Из сказанного выше можно сделать следующие выводы:



1. Подводный переход магистрального газопровода – особый конструктивный элемент линейной части магистрального трубопровода, который представляет повышенную опасность для окружающей среды. Как следствие, данная часть газотранспортной системы нуждается в усиленном контроле. Этим обоснованы особые требования к внутритрубной диагностике подводных переходов магистральных газопроводов, изложенные в данной статье.

2. Для реализации проектов по внутритрубной диагностике требуется разработка новых диагностических комплексов и высокотехнологичного оборудования, что даёт возможность специалистам внедрять новые технологии и находить применение собственным знаниям.

3. Благодаря созданному внутритрубному оборудованию, разработанным алгоритмам и методикам, комплексу ремонтных работ по удалению опасных дефектов по результатам ВТД, выполняемому газотранспортными обществами ПАО «Газпром», и восстановлению несущей способности газопроводов при их периодическом обследовании удастся поддерживать безопасную эксплуатацию газотранспортной системы ПАО «Газпром» на необходимом уровне.

### **Библиографический список**

1. Р Газпром 2-2.3-458-2010. Рекомендации открытого акционерного общества «ГАЗПРОМ» «Внутритрубная диагностика неравнопроходных участков подводных переходов газопроводов».

2. Коваленко А.Н., Уланов В.В., Шестаков Р.А. Методы неразрушающего контроля и диагностики газонефтепроводов: учеб. пособие. Ч. 1. – М.: Изд-во РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, 2018.

3. Коваленко А.Н., Уланов В.В., Шестаков Р.А. Методы неразрушающего контроля и диагностики газонефтепроводов: учеб. пособие. Ч. 2. – М.: Изд-во РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, 2018.

4. Шестаков Р.А. К вопросу о методах обнаружения утечек и несанкционированных врезок на магистральных нефтепроводах // Труды Рос. гос. ун-та нефти и газа им. И.М. Губкина. – 2015. – № 1. – С. 85–94.

5. Коваленко А.Н., Уланов В.В., Шестаков Р.А. Методы неразрушающего контроля и диагностики газонефтепроводов. Задачник: учеб. пособие. Ч. 1. – М.: Изд-во РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, 2018.

б. Коваленко А.Н., Уланов В.В., Шестаков Р.А. Методы неразрушающего контроля и диагностики газонефтепроводов. Задачник: учеб. пособие. Ч. 2. – М.: Изд-во РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, 2018.

#### **Сведения об авторах**

**Уланов Валерий Владимирович** – ассистент кафедры «Проектирование и эксплуатация газонефтепроводов» Российского государственного университета нефти и газа (Национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина, Москва, e-mail: Ulanov.v@gubkin.ru

**Долгова Татьяна Сергеевна** – бакалавр Российского государственного университета нефти и газа (Национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина, Москва, e-mail: dtanya08@bk.ru

#### **About the authors**

**Ulanov Valeriy Vladimirovich** – Assistant of the Department Design and operation of gas and oil pipelines Russian State University of Oil and Gas (National Research University) named after I.M. Gubkina, Moscow, e-mail: Ulanov.v@gubkin.ru

**Dolgoва Tatyana Sergeevna** – Student Russian State University of Oil and Gas (National Research University) named after I.M. Gubkina, Moscow, e-mail: dtanya08@bk.ru

## РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ЛИНЕЙНОГО ВЕНТИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

**В.В. Шапошников<sup>1</sup>, Р.О. Токарев<sup>1</sup>,  
А.Д. Коротаев<sup>1</sup>, Е.А. Чабанов<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

<sup>2</sup>Волжский государственный университет водного  
транспорта (Пермский филиал), Пермь

Рассмотрены устройство и принцип действия цилиндрического линейного вентильного двигателя. Проведен расчет тягового усилия и получена и зависимость тягового усилия от действующего тока обмотки индуктора. Также получена зависимость полезной мощности от значения действующего тока обмотки индуктора в диапазоне сверхнизких частот.

**Ключевые слова:** цилиндрический линейный вентильный двигатель, тяговое усилие, сверхнизкая частота, постоянные магниты.

## CALCULATIONS OF CHARACTERISTICS OF CYLINDRICAL LINEAR BRUSHLESS ENGINE

**V.V. Shaposhnikov<sup>1</sup>, R.O. Tokarev<sup>1</sup>,  
A.D. Korotaev<sup>1</sup>, E.A. Chabanov<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Perm National Research Polytechnic University

<sup>2</sup>Volga State University of Water Transport (Perm branch)

This article describes the design and function of a cylindrical linear brushless engine. Traction power calculations were made and pulling tool dependence from the effective current of the inductor winding. Also the dependence of received useful power from the current value of the inductor current in winding ultralow frequency band.

**Keywords:** cylindrical linear brushless engine, pulling tool, ultralow frequency, permanent magnets.

Цилиндрический линейный вентильный электродвигатель (ЦЛВД) используется для электроприводов возвратно-поступательного движения различных общепромышленных механизмов, а также в нефтедобывающей промышленности для бесштанговой добычи нефти из скважин в качестве альтернативы широко распространенных в настоящее

время станков-качалок. Для этого ЦЛВД включают в состав погружного бесштангового электронасосного агрегата (ПБЭНА) с целью добычи нефти из малодебитных скважин.

**Преимущества цилиндрического линейного вентильного двигателя.** В связи с необходимостью повышения эффективности добычи нефти используемые в настоящее время для мало- и среднедебитных, а также глубоких скважин погружные плунжерные насосы с колонной насосных штанг не удовлетворяют в полной мере запросам потребителей. В связи с этим возникла необходимость разработки эффективного линейного вентильного электропривода для создания погружных плунжерных бесштанговых электронасосных агрегатов.

Исключение промежуточных звеньев привода (колонны штанг и станка-качалки) и приближение двигателя к насосу обеспечивает ряд существенных преимуществ:

- снижение металлоемкости конструкции, уменьшение затрат на строительные и монтажные работы вследствие исключения станков, фундаментов, штанговых колонн;
- уменьшение затрат на подземные ремонты;
- уменьшение эмульгирования нефти в насосно-компрессорных трубах;
- отсутствие жестких ограничений по глубине спуска плунжерного насоса в скважину, которая может достигать 3 км и больше.

**Устройство и принцип действия цилиндрического линейного вентильного двигателя.** Цилиндрический линейный вентильный двигатель состоит из неподвижного круглого индуктора и штока с постоянными магнитами. Продольный разрез ЦЛВД (индуктора и вторичного элемента) показан на рис. 1. На индукторе имеются зубцы и пазы, в которых находятся цилиндрические катушки индуктора.

Катушки соединяются последовательно на протяжении длины индуктора и образуют трехфазную обмотку, которая питается от преобразователя частоты (ПЧ). Обмотка цилиндрического индуктора создает бегущее магнитное поле.

Вторичный элемент имеет диаметр  $D_2 = 55$ . Зазор  $\delta$  между индуктором и вторичным элементом составляет 1,5 мм по всей длине. Ротор (вторичный элемент) имеет симметричное положение, т.е. горизонта-

льная ось проходит по середине штока, а зазор между индуктором и вторичным элементом составляет 1,5 мм по всей длине. Концы штока вторичного элемента выступают за пределы цилиндрического индуктора с обеих сторон и закрепляются в подшипниках скольжения.

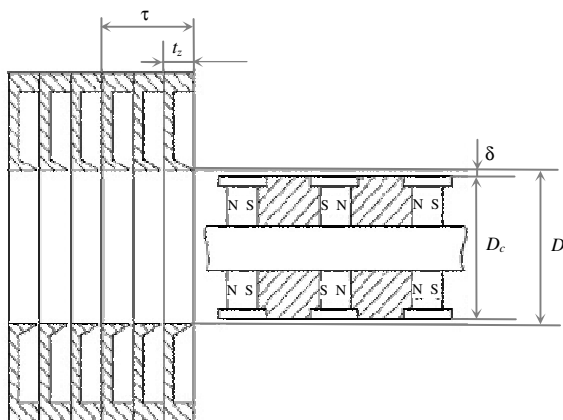


Рис. 1. Продольный разрез индуктора и вторичного элемента

Основным принципом действия штангового насоса является воздействие штангового поршня, связанного посредством штока с электродвигателем типа ЦЛВД. ЦЛВД вместе с плунжерным насосом опускается в скважину, а на обмотку двигателя с помощью длинного кабеля подается трехфазное напряжение от преобразователя частоты (ПЧ), который находится на поверхности вблизи устья скважины.

**Расчёт тягового усилия и мощности цилиндрического линейного вентильного двигателя.** Реальный погружной ЦЛВД состоит из отдельных модулей, длина активной части которых составляет 980 мм. В зависимости от необходимого тягового усилия определяется число модулей и длина реального ЦЛВД. Диаметр ЦЛВД ( $D_1$ ) должен быть меньше диаметра обсадной трубы скважины, поэтому для получения необходимого тягового усилия остается увеличивать длину самого двигателя, которая может достигать 8–10 м.

Для нахождения данных характеристик было использовано программное обеспечение Mathcad, с помощью которого были произведены все необходимые расчеты и построены графики зависимостей характеристик. Исходные данные указаны в таблице.

## Исходные данные

| Условные обозначения | Единицы измерения | Значения              | Примечание                                  |
|----------------------|-------------------|-----------------------|---|
| $D_p$                | м                 | 0,055                 | Диаметр ротора                              |
| $I$                  | А                 | 30                    | Действующее значение тока обмотки индуктора |
| $H_0$                | А/м               | 680000                | Напряженность магнитного поля               |
| $B_z$                | Тл                | 1,1                   | Магнитная индукция в зазоре                 |
| $\tau$               | м                 | 0,03                  | Полюсное деление                            |
| $\delta$             | м                 | 0,0015                | Ширина немагнитного зазора                  |
| $h$                  | м                 | 0,015                 | Ширина полюса                               |
| $W_k$                |                   | 20                    | Число витков в пазу                         |
| $t_z$                | м                 | 0,01                  | Зубцовое деление индуктора                  |
| $p$                  |                   | 16                    | Число пар полюсов                           |
| $D_M$                | м                 | 0,047                 | Внешний диаметр реального магнита ЦЛВД      |
| $d_m$                | м                 | 0,022                 | Внутренний диаметр реального магнита ЦЛВД   |
| $h_M$                | м                 | 0,008                 | Ширина реального магнита ЦЛВД               |
| $f$                  | Гц                | 1                     | Частота сети                                |
| $\mu_0$              | о.е.              | $12,56 \cdot 10^{-7}$ | Магнитная проницаемость                     |

Основными характеристиками цилиндрического вентильного двигателя для плунжерного насоса являются тяговое усилие  $F$  и мощность  $P_2$  ЦЛВД.

Тяговое усилие модуля ЦЛВД находится согласно закону Ампера по формуле

$$F = \alpha \cdot \pi \cdot I_l \cdot B \cdot D \cdot l_{\text{мод}}, \quad (1)$$

где  $I_l$  – линейная токовая нагрузка обмотки индуктора;  $\alpha = \pi/\tau$  – коэффициент полюсного деления;  $h$  – ширина полюса;  $B$  – магнитная индукция в зазоре;  $D = D_2 + \delta$  – диаметр вторичного элемента между серединами воздушного зазора;  $l_{\text{мод}}$  – длина активной части модуля индуктора.

Линейная токовая нагрузка обмотки индуктора

$$I_l = \frac{W_k \cdot I}{t_z}, \quad (2)$$

где  $W_k$  – число витков в пазу катушки индуктора;  $I$  – действующее

значение тока обмотки индуктора;  $t_z$  – зубцовое деление индуктора.

Магнитное сопротивление в зазоре

$$R_{\delta} = \frac{4\delta}{\mu_0 \cdot h \cdot l'} \quad (3)$$

где  $l = \pi(D_2 + \delta)$  – длина воздушного зазора ЦЛВД;  $D_2$  – диаметр вторичного элемента.

Магнитное сопротивление магнита на участке  $h_m$

$$R_m = \frac{H_0 \cdot h_m^2}{B_z \cdot S_m}; \quad (4)$$

$$S_m = l_{cp} \cdot a_m; \quad (5)$$

МДС магнита определяется согласно [1]:

$$F_m = H_0 \cdot h_m. \quad (6)$$

Индукция в зазоре ЦЛВД

$$B_{cp} = \frac{2R_{\delta}}{S_{пол}}, \quad (7)$$

где  $S_{пол} = \tau \cdot l$  – площадь одного полюса.

Скорость холостого хода

$$v_0 = 2\tau \cdot f. \quad (8)$$

Полезная мощность

$$P_2 = F_{эм} \cdot v. \quad (9)$$

Проведя аналогичные расчеты и изменяя действующий ток обмотки индуктора  $I$  в диапазоне от 5 до 35 А с шагом 5 А, мы вычислили значения тягового усилия  $F_2$  в данном диапазоне и установили зависимость тягового усилия от действующего тока обмотки индуктора (рис. 2).

Исследуя мощность цилиндрического линейного вентильного двигателя, мы получили характеристики двигателя в диапазоне сверхнизких частот от 1 до 7 Гц, с шагом 1 Гц.

В соответствии с полученными данными были построены графические зависимости изменения значения мощности  $P_2$  от значения действующего тока обмотки индуктора  $I$  в диапазоне сверхнизких частот от 1 до 7 Гц (рис. 3).

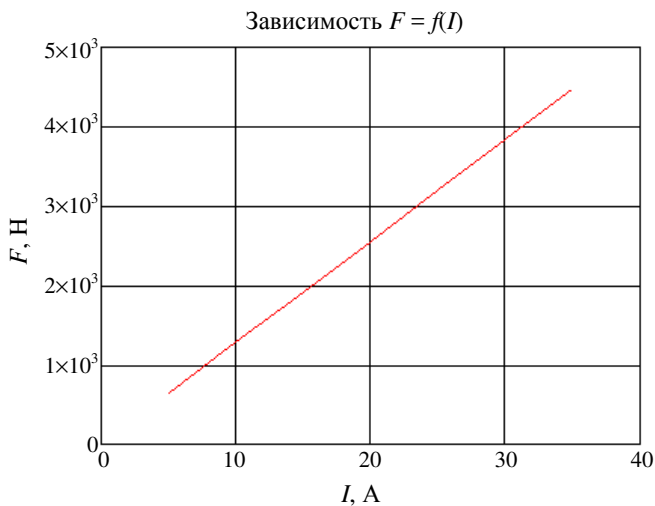


Рис. 2. Графическая зависимость тягового усилия от действующего тока обмотки индуктора

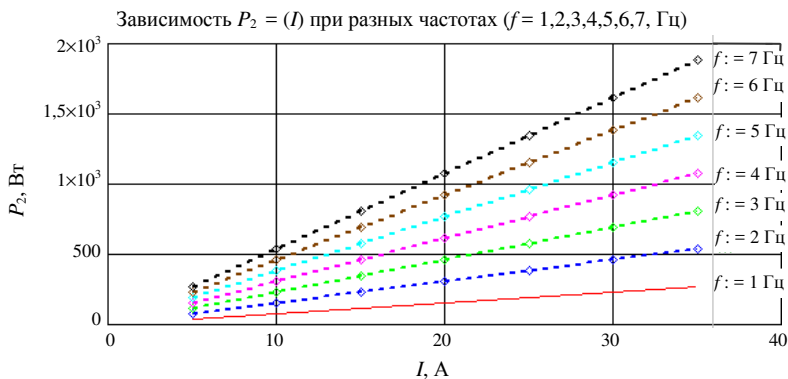


Рис. 3. Графические зависимости изменения значения мощности от значения действующего тока обмотки индуктора в диапазоне сверхнизких частот от 1 до 7 Гц

При этом изменение частоты не влияет на значение тягового усилия ЦЛВД, и графическая зависимость тягового усилия  $F_2$  от действующего тока обмотки индуктора  $I$  при разных частотах изменяться не будет и будет иметь вид как на рис. 2.



**Заключение.** Рассмотрен альтернативный способ добычи нефти для мало- и среднедебитных, а также глубоких скважин, отличающийся от широко распространенных в настоящее время станков-качалок.

С помощью проведенных исследований и расчетов показано, что цилиндрический линейный вентильный двигатель имеет достаточное тяговое усилие и мощность, для того чтобы работать в составе *погружного бесштангового электронасосного агрегата* (ПБЭНА) для улучшения добычи нефти из малодебитных скважин.

Полученные результаты показали перспективность, актуальность использования цилиндрического линейного вентильного двигателя в совокупности с плунжерным насосом с целью избежать ряд недостатков, присущих станкам-качалкам с колонной насосных штанг.

### **Библиографический список**

1. Вольдек А.И. Индукционные магнитогидродинамические машины с жидкометаллическим рабочим телом. – Л.: Энергия, 1970. – 272 с.
2. Вольдек А.И. Электрические машины. – Л.: Энергия, 1974. – 840 с.

### **Сведения об авторах**

**Шапошников Владислав Валерьевич** – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: vladislav96gg@gmail.com

**Токарев Роман Олегович** – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: ju11071996@yandex.ru

**Коротаев Александр Дмитриевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электротехника и электромеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь.

**Чабанов Евгений Александрович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электротехника и электромеханики» Пермского

национального исследовательского политехнического университета, Пермь, доцент кафедры «Технические дисциплины» Пермского филиала Волжского государственного университета водного транспорта», Пермь, e-mail: ceapb@mail.ru

### **About the authors**

**Shaposhnikov Vladislav Valeryevich** – Master Student Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: vladislav96gg@gmail.com

**Tokarev Roman Olegovich** – Master Student Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: ju11071996@yandex.ru

**Korotaev Aleksandr Dmitrievich** – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor Department of Electrical Engineering and Electromechanics Perm National Research Polytechnic University, Perm.

**Chabanov Evgenii Aleksandrovich** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Electrical Engineering and Electromechanics, Perm National Research Polytechnic University, Perm, Associate Professor Department of Technical Disciplines Perm branch of Volga State University of Water Transport, Perm, e-mail: ceapb@mail.ru

**Секция 4**

**ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ.  
ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

## **СИСТЕМА МОНИТОРИНГА И ДИАГНОСТИКИ КОММУНИКАЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ БЕСПРОВОДНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ**

**Л.А. Клейман, В.И. Фрейман**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

Для непрерывности рабочих процессов организаций и государственных учреждений необходим качественный доступ к локальным и внешним электронным ресурсам. Для обеспечения такого доступа необходима удобная и функциональная система мониторинга сети, предоставляющая администраторам все возможности для быстрого реагирования на инциденты. В статье описываются логика системы, функционал и средства реализации.

**Ключевые слова:** система диагностики, система мониторинга, точка доступа; Wi-Fi, сеть, организация, клиент, пользователь.

## **MONITORING AND DIAGNOSTICS SYSTEM OF COMMUNICATION ELEMENTS OF WIRELESS CONTROL SYSTEMS**

**L.A. Kleiman, V.I. Freyman**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

Qualitative access to local and external electronic resources is required for the continuity of the working processes in organizations and public institutions. To provide such access, a convenient and functional network monitoring system is needed. It provides administrators with all the facilities for rapid response to incidents. The article describes the logic of the system, the stages of construction and the means of implementation.

**Keywords:** diagnosis system, monitoring system, access point, Wi-Fi, network, organization, client, user.

**Введение.** В настоящее время доступ в сеть является одной из основных потребностей человека. Так, работа любого предприятия, как государственного, так и частного, не может обойтись без доступа в сеть. Для обеспечения непрерывности бизнес-процессов сетевое соединение должно работать без сбоев. В таком случае необходимы системы мониторинга, позволяющие быстро находить и устранять возникающие неполадки сети. В эру беспроводных технологий основным методом доступа в сеть является Wi-Fi.

Работа в этом направлении уже ведется [1]. Целью данной статьи является описание конкретных технологий, используемых для создания модулей подсистем [1].

Задача данной статьи – показать актуальные технологические решения, примеры программной реализации, которые могут быть использованы для создания системы диагностики и мониторинга Wi-Fi сети [2].

Данная система состоит из трёх подсистем: мониторинга, диагностики и безопасности. В свою очередь, каждая подсистема использует набор модулей, необходимый для её функционирования.

Также стоит отметить, что создание модуля расчёта Wi-Fi покрытия многоэтажного здания (модуль тепловых карт) может являться отдельной самостоятельной задачей, требующей тонкой работы. Описание ее реализации будет дано в следующих работах.

**Описание модулей.** Взаимодействие системы с пользователем показано на рис. 1.

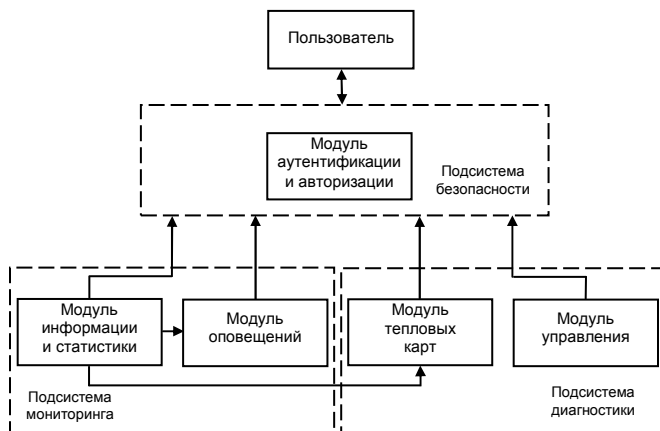


Рис. 1. Блок-схема взаимодействия пользователя и подсистем

1. *Модуль аутентификации и авторизации.* Когда пользователь начинает пользоваться системой, в первую очередь его встречает модуль аутентификации и авторизации. В рамках решаемой задачи есть два пути, которые выбираются исходя из набора требований к самой системе. Первый, наиболее быстрый и простой в реализации – это готовое API. На рынке существует множество решений, таких как Deployd, Firehose, Socket.io, Atmosphere, Hoodie и др. Но в данной

ситуации нужно было такое, которое поддерживало бы простую интеграцию с фреймворком Angular 2/4. После рассмотрения существующих решений выбор был сделан в пользу решения Google Firebase для веб-приложений. Для его использования необходимо создать приложение в личном кабинете Google Firebase. После этого выдается уникальный ключ, который вписывается в веб-приложение. Далее нужно только сверстать форму входа и написать простой сервис авторизации (рис. 2).

```
export const firebaseconfig = {
  apiKey: "AIza[REDACTED]",
  authDomain: "[REDACTED].firebaseapp.com",
  databaseURL: "https://[REDACTED].firebaseio.com",
  projectId: "[REDACTED]",
  storageBucket: "[REDACTED].appspot.com",
  messagingSenderId: "684[REDACTED]"
};

login(email: string, password: string) {
  this.firebaseAuth
    .auth
    .signInWithEmailAndPassword(email, password)
    .then( onfulfilled: value => {
      console.log(this.user);
      window.location.href='';
    })
    .catch( onrejected: err => {
      this.error = err.message;
    });
}

logout() {
  this.firebaseAuth
    .auth
    .signOut().then( onfulfilled: value=>{
      window.location.href='login';
    });
}
```

Рис. 2. Сервис авторизации

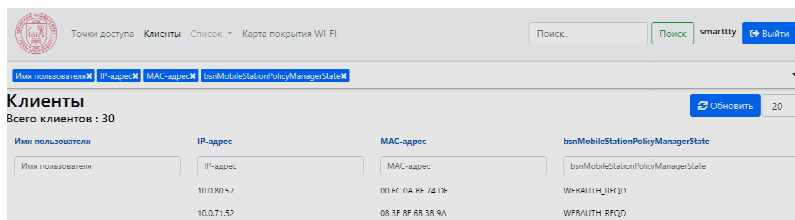
Firebase поддерживает несколько способов авторизации: адрес электронной почты и пароль, телефон, google аккаунт, анонимный вход и др. Процесс авторизации происходит по защищенному соединению, следовательно, данные не могут быть перехвачены злоумышленниками. Данная технология использует JWT-токены [3], что оказывается достаточно полезно и безопасно.

Второй путь немного сложнее. Он заключается в использовании локальной базы данных и бэкэнд фреймворка, например Django (Python) или Laravel (PHP). Преимуществом данного решения является место

хранения данных. Все данные хранятся на локальной БД и не уходят во вне. С другой стороны, появляется необходимость администрировать БД, а также вручную создавать механизмы и способы авторизации.

2. *Модуль информации и статистики.* Как было описано ранее, необходимо создать быстрый переход между тройкой Клиент – Точка доступа – Событие. Также информация должна быть актуальной. Для получения информации с Wi-Fi-контроллера используется протокол SNMP, Backend-скрипты на языке программирования PHP и AJAX-запросы с клиентской стороны, написанной на языке JavaScript при помощи фреймворка Angular 2. Кроме того, используется самый распространенный и полный MIB-контроллеров – MIB AIRESPACE-WIRELESS-MIB [4]. В нем содержатся ссылки, по которым можно получить всю необходимую информацию по подключенным точкам доступа и клиентам.

Последовательность действий при работе с системой следующая: администратор сети (пользователь системы) заходит в приложение. Перед ним открывается интерфейс, в котором он может выбрать то, за чем он сейчас хочет наблюдать: Клиенты, Точки доступа, Логи контроллера (логи всех точек доступа и клиентов). Все данные представлены в виде таблиц (рис. 3) с возможностью настройки отображаемых столбцов, числа записей на странице. Существует возможность поиска по столбцам, пагинатор и возможность перехода к подробной информации. На подробной странице каждой записи есть раздел с логами, относящимися к данной записи. Это помогает быстро находить проблему, если она появляется.



| Имя пользователя | IP-адрес   | MAC-адрес         | bsnMobileStationPolicyManagerState |
|------------------|------------|-------------------|------------------------------------|
| Имя пользователя | 10.0.30.4  | 00:0C:29:14:17*   | WLAN1111111111                     |
|                  | 10.0.71.52 | 08:3F:8F:68:38:9A | WIFI/1111111111                    |

Рис. 3. Оформление вывода данных

3. *Модуль оповещений о событиях.* События могут быть самыми различными: от подключения клиента до определения DDOS-атаки на точку доступа. На разные события нужно реагировать по-разному, и самое главное с разной скоростью. В разрабатываемой системе снова можно пойти двумя путями. Уже знакомый нам Google Firebase

позволяет использовать систему оповещений. Вам выдаются ключ и адрес, с помощью которых нужно отправлять сообщения в сервис. И данный сервис способен отправлять данные сообщения всем подписанным на него пользователям системы. Так как большинство событий, на которые нужно немедленное реагирование, приходят от контроллера по технологии SNMP TRAP, которые контроллер способен рассылать на указанные ему адреса, то системе необходим сервис, который будет реагировать на поступление сообщений, постоянно «слушая» сокет. Такой сервис может быть реализован на языке PHP. Его функционал простой – слушать и отправлять по «вшитому» в конфигурационный файл адресу с помощью выданного ключа.

Второй путь подразумевает ручное создание сервиса рассылки клиентам информации. Должна быть возможность рассылки СМС и E-mail-уведомлений.

**Заключение.** Описанные подсистемы и их модули очень важны для поддержания безопасности сети организации или предприятия, поэтому их реализация должна быть максимально простой, удобной и понятной. В таких случаях лучше воспользоваться готовыми бесплатными решениями, способными выполнить возложенную на них миссию. Также стоит отметить, что подобная система могла бы быть внедрена для повышения качества обучения в вузах [5, 6]: как для диагностирования и мониторинга сети учреждения, так и обучения студентов [7]. Данная система может реализована в рамках программы магистратуры по направлению 11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» [8], а также будет полезна для смежных направлений подготовки, в рамках которых изучаются основы сетевых технологий.

### Библиографический список

1. Клейман Л.А., Фрейман В.И. Система управления точками Wi-Fi-доступа // Энергетика. Инновационные направления в энергетике. CALS-технологии в энергетике. – 2017. – № 1. – С. 39–45.
2. Кон Е.Л., Фрейман В.И. Подходы к тестовому диагностированию цифровых устройств // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2012. – № 6. – С. 231–241.
3. JSON Web Token (JWT): IETF, США, 2015 / М. Jones J. Bradley, N. Sakimura. ISSN 2070-1721/29 с.



4. Cisco virtual wireless controller data sheet /Cisco. 2017. – URL: [https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/virtual-wireless-controller/data\\_sheet\\_c78-714543.html](https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/virtual-wireless-controller/data_sheet_c78-714543.html) (дата обращения: 15.12.2017).

5. Комплексная методика оценки качества деятельности подразделений Санкт-Петербургского государственного политехнического университета / А.В. Речинский, Л.В. Черненькая, В.Е. Магер, Е.В. Матвеева, А.В. Черненький // Современные технологии управления. – 2012. – № 12(24). – С. 64–71.

6. Обеспечение качества высшего образования / А.М. Александров, В.Е. Магер, Л.В. Черненькая, А.В. Черненький // Открытое образование. – 2016. – Т. 20, № 4. – С. 10–16.

7. Фрейман В.И. Разработка учебно-методического комплекса дисциплины в соответствии с ФГОС нового поколения // Вестник Пермского государственного технического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2009. – № 3. – С. 47–50.

8. Фрейман В.И., Кон Е.Л., Южаков А.А. Подход к разработке образовательных программ подготовки магистров // Образовательные ресурсы и технологии. – 2014. – № 2(5). – С. 29–34.

### **Сведения об авторах**

**Клейман Лев Александрович** – аспирант Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: smarttty@yandex.ru

**Фрейман Владимир Исаакович** – кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: vfrey@mail.ru

### **About the authors**

**Kleiman Lev Aleksandrovich** – Graduate Student Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: smarttty@yandex.ru

**Freyman Vladimir Isaakovic** – Ph.D. in Technical Sciences, Professor Department of the Automatics and Telemechanics Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: vfrey@mail.ru

## **О РАЗРАБОТКЕ МОДЕЛИ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОГО ПОДКЛЮЧЕНИЯ В ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ ПРЕДПРИЯТИЯ**

**А.С. Сорокин, А.С. Шабуров**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

Представлена разработка математической модели процесса обучения нейронной сети. Составлены характеристики сети, которые позволяют определить подключение, предложены рекомендации по обеспечению безопасного соединения, и описаны действия по обучению нейронной сети. В результате была разработана модель из двух последовательных искусственных нейронных сетей для определения безопасного подключения между автоматизированной станцией и веб-ресурсом внутри корпоративной системы.

**Ключевые слова:** нейронные сети, безопасное подключение, IP-адрес, время подключения, математическая модель.

## **ABOUT THE DEVELOPMENT OF THE MODEL OF THE NEURAL NETWORK FOR TO DETERMINE THE SECURE CONNECTION IN THE ENTERPRISE INFORMATION SYSTEM**

**A.S. Sorokin, A.S. Shaburov**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

In this article, a mathematical model of the learning process of a neural network was developed. The characteristics of network, which allow to determine the connection, are drawn up, recommendations for ensuring a secure connection are proposed, and actions for training the neural network are described. As a result, a model of two consecutive artificial neural network was developed to determine the secure connection between the automated station and the web resource within the corporate system.

**Keywords:** neural networks, secure connection, IP-address, math model.

Крупные утечки данных, отслеживание деятельности пользователей в цифровом мире, заражение автоматизированных систем вредоносными программами, а также различные программы для проникновения в компьютерные сети – всё это возможности для злоумышленника. И с каждым днём эти возможности растут. Злоумышленники придумывают всё более изощрённые способы добраться до ин-

формации пользователей. Создают более эффективные методы несанкционированного доступа.

Важно понимать и уметь защищать свои сети от компьютерных атак для того, чтобы обезопасить себя от кражи данных. Цифровая сеть существует достаточно давно, а защита информации является сложным вопросом, но при этом безопасность требует постоянного внимания. Огромный вред может быть нанесён пользователю из-за того, что он использует незащищенную сеть. Большое количество вариантов существует для обеспечения безопасного подключения к сети, начиная от настройки VPN, и заканчивая средствами защиты информации от несанкционированного доступа.

В настоящее время всё чаще используют искусственный интеллект. Машинное обучение применяют в различных решениях, способных облегчить жизнь человеку. Большую популярность имеют искусственные нейронные сети (ИНС). Из-за способности к обучению по различным данным нейросети используют в моделировании, т.е. они адаптируются к динамическим условиям. Применяют нейронные сети для фильтрации спама, для распознавания компьютерных атак, для мониторинга сетевого трафика, для защиты от DDOS-атак [1], но в данной статье говорится о применении нейронных сетей для определения безопасного подключения в корпоративных сетях.

Модель на основе ИНС, определяющая безопасное соединение между автоматизированной станцией пользователя и веб-ресурсом, будет реализовываться на IP-адресах, сетевых портах, а также времени подключения. Использоваться будет пакет прикладных программ для решения задач технических вычислений MATLAB для обучения нейронной сети. Нейросеть обучается с учителем, поэтому подстраиваться веса синоптических связей будут по внутреннему алгоритму.

С математической постановки задачи процесс обучения НС будет выглядеть так: пусть  $X$  – множество входных параметров сети,  $Y$  – множество выходных значений. Существует неизвестная целевая зависимость – отображение  $u^*$ :  $X \rightarrow Y$ , значения которой известны только на объектах конечной обучающей выборки  $X^m = \{(x_1, y_1), \dots, (x_m, y_m)\}$ . Требуется построить алгоритм  $a$ :  $X \rightarrow Y$ , который приближал бы неизвестную целевую зависимость как на элементах выборки, так и на всём множестве  $X$ . При этом алгоритм должен обладать способностью к обобщению эмпирических фактов или выводить общую закономерность из фактов наблюдений пользователей.

Для отклонения определения потенциального злоумышленника  $y = a(x)$  от правильного  $y' = y^*(x)$  на произвольной оценке пользователей  $x \in X$  вводится функция потерь  $\varphi(y, y')$ .

Вводится функционал качества, характеризующий среднюю ошибку алгоритма или эмпирического риска принятия решения на произвольной выборке  $X^m$ :

$$Q(a, X^m) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \varphi [a(x_i), y \cdot (x_i)].$$

Используется метод минимизации эмпирического риска, который заключается в том, что в заданных моделях алгоритмов  $A = \{a: X \rightarrow Y\}$  находят алгоритм, минимизирующий среднюю ошибку на обучающей выборке  $a \in A$  или минимизирующий потери от некорректного сигнатурного анализа [2].

Размерность входного массива будет состоять из IP-адресов автоматизированных систем, сетевых портов автоматизированных систем, виртуальных IP-адресов, так как веб-ресурс требует наличия выделенного адреса, такие адреса также нужны для безопасного и шифрованного соединения с сайтом, виртуальных сетевых портов под виртуальные IP-адреса и, конечно же, IP-адреса и сетевые порты, куда приходит запрос на подключение, т.е. веб-ресурсы. Подадим на вход и время соединения автоматизированной системы с веб-ресурсом.

Если сетевые порты и время подключения можно правильно занести во входной вектор нейронной сети, то с IP-адресами так не получится. Для корректной подачи на вход IP-адресов нужно использовать альтернативный способ записи. Адрес IPv4 представляет собой 32-битное число, но при этом всё же есть вариант записать адрес в виде числа. Возьмём, к примеру, IP-адрес 194.190.5.59. Как видим, он состоит из четырёх десятичных чисел значением от 0 до 255, разделённых точками. Каждое число нужно умножить на количество значений в степени своего порядка, начиная от нуля справа налево, после чего просуммировать их. Приведём IP-адреса к такому значению. Таким образом, должно получиться следующее:

$$194 \cdot 256^3 + 190 \cdot 256^2 + 5 \cdot 256^1 + 59 \cdot 256^0 = 3267233083.$$

На выход нейронной сети будем подавать критерий, характеризующий подключение автоматизированной сети к веб-ресурсу. Шкала будет состоять из чисел от 1 до 7, обозначающих временную длительность, где 1 – подключение не удалось, а 7 – успешно подключилось.

Сформировав двухслойную нейронную сеть в среде MatLab прямого распространения, введём параметры в созданную сеть. Затем научим искусственную нейронную сеть определять зависимость между входными параметрами и выходными данными, где она в процессе обучения будет «улучшаться» на множестве проверок. Процесс обучения иллюстрируется графиком зависимости средней квадратичной ошибки от эпохи обучения – одна итерация в процессе обучения, которая предьявляет все примеры из обучающего множества и проверку качества обучения (рис. 1) [3].

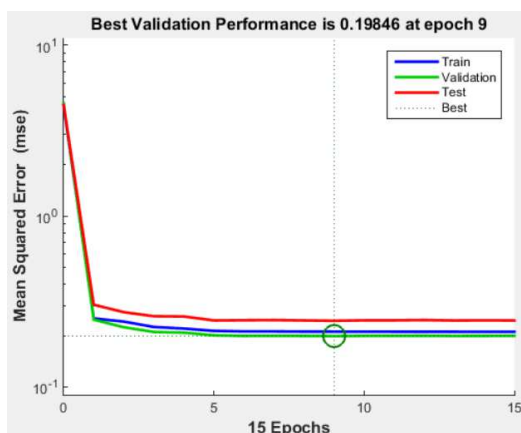


Рис. 1. График обучения нейронной сети, определяющей подключение

Время обработки соединения вполне может являться основанием для принятия решения о начале атаки. Время доступа является самым главным критерием оценки. Если по прилагаемым запросам, а именно подключение АС к веб-ресурсу, есть известное время обработки соединения, то вывод об инциденте возможен. Таким образом, если пройдет большое количество времени и соединение не произошло, то можно считать, что нарушена деятельность по обеспечению доступности, т.е. автоматизированная система подверглась атаке.

Избежать такого исхода можно многими способами. Рассматривать будем самые популярные из них, а именно FireWall, так как он является одним из средств защиты от сетевых атак, VPN, потому как создаёт нечто похожее на зашифрованный туннель для безопасного подключения и передачи данных между АС и веб-ресурсом, различные

СЗИ от НСД, так как имеют большое количество настроек для защиты соединения. При долгом ожидании соединения, где время подключения будет предельно большим, будет блокироваться IP-адрес, и будет считаться, что это подключение является небезопасным.

Создадим нейронную сеть, которая будет предоставлять рекомендации по защите соединения. На вход такой ИНС использоваться будут выходные параметры модели нейросети, определяющей подключение АС с веб-ресурсом. Но для начала нужно перевести значения, определяющие успешность подключения, обратно во временную характеристику. Выходному вектору зададим значения, которые присвоим каждой рекомендации (таблица).

### Выходные параметры для ИНС

| Значение | Рекомендации по обеспечению безопасности подключения   |
|----------|--|
| 0        | Заблокировать соединение между автоматизированной системой и веб-сервисом  |
| 1        | Настройка и использование FireWall (разграничение соединений)  |
| 2        | Настройка и использование VPN (создание зашифрованного туннеля для безопасной передачи данных)                   |
| 3        | Приобретение и использование специальных разработанных средств защиты информации от несанкционированного доступа |

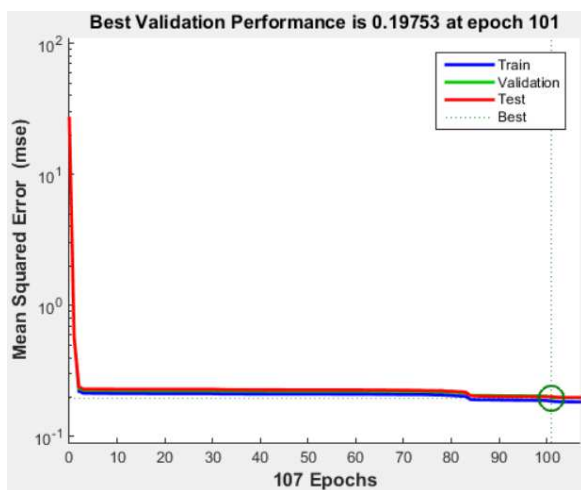


Рис. 2. График обучения нейронной сети, дающей рекомендации

Из результата видно, что сеть обучилась правильно и даёт рекомендации по обеспечению безопасного подключения в зависимости от временного интервала (рис. 3).

```
>> sim(net1, 984485)           >> sim(net1, 98)
ans =
0.1315
ans =
2.3790
```

Рис. 3. Результат обучения ИНС, дающей рекомендации

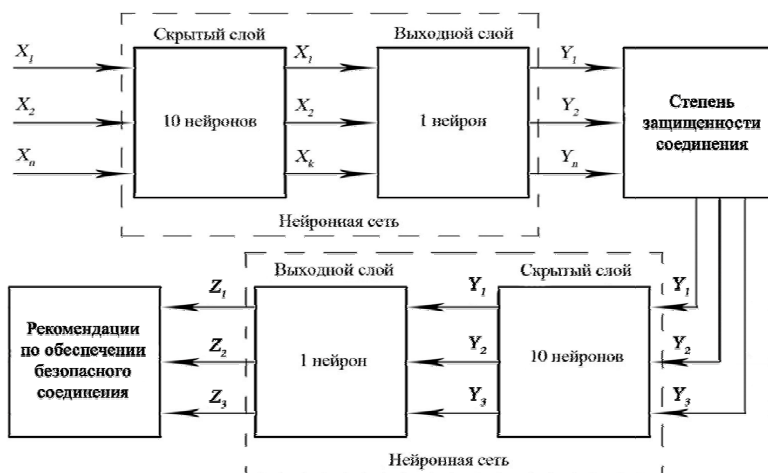


Рис. 4. Последовательно-соединенные нейронные сети, обеспечивающие безопасное подключение

Подводя итог, можно сказать, что две последовательно соединенные ИНС являются одной моделью, определяющей подключение и при этом дающей рекомендации по обеспечению безопасности этого подключения (рис. 4).

### Библиографический список

1. Марков Г.А. Глинская Е.В. Использование технологий нейронных сетей при решении задач информационной безопасности // Молодежный научно-технический вестник. – 2014. – № 3.

2. Шабуров, А.С. Разработка модели распознавания компьютерных атак на основе нейронной сети // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2016. – № 8. – 10 с.

3. Сорокин А.С. О разработке модели нейронной сети для выявления злоумышленника в информационной системе предприятия // Инновационные технологии: теория, инструменты, практика. – 2017. – С. 280–286.

### **Сведения об авторах**

**Сорокин Андрей Станиславович** – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: sly-kyper@yandex.ru

**Шабуров Андрей Сергеевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: shans@at.pstu.ru

### **About the authors**

**Sorkin Andrey Stanislavovich** – Master Student Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: sly-kyper@yandex.ru

**Shaburov Andrey Sergeevich** – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor Department of the Automatics and Telemechanics Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: shans@at.pstu.ru



## **ЗАЩИТА КРИТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИИ**

**А.С. Шабуров, В.Э. Зонова, Н.С. Рыжук**  
Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

Приведен анализ требований безопасности критической информационной инфраструктуры от компьютерных атак. Предложен доступный план разработки и внедрения системы защиты информации, позволяющий поэтапно реализовать необходимые требования. Разработана математическая постановка задачи по выбору оптимального состава методов и средств защиты информации объектов КИИ.

**Ключевые слова:** информационная безопасность, ключевая информационная инфраструктура, значимый объект.

## **PROTECTION OF CRITICAL INFORMATION INFRASTRUCTURE IN ACCORDANCE WITH THE REQUIREMENTS OF INFORMATION SECURITY**

**A.S. Shaburov, V.E. Zonova, N.S. Ryzhuk**  
Perm National Research Polytechnic University, Perm

Analysis of the security requirements of a critical information infrastructure against computer attacks has been made in this article. An available development plan and of the introduction of an information security system have been proposed, that allow realize a necessary requirements step by step. Mathematical formulation of the problem has been developed for choosing the optimal composition of methods and means of protecting information of objects of a critical information infrastructure.

**Keywords:** information security, critical information infrastructure, significant object.

Вступление в силу Федерального закона №187 – ФЗ «О безопасности критической информационной инфраструктуры» [1] во многом определило перспективы практической деятельности по совершенствованию систем защиты информации критически важных объектов.

В первую очередь требования данного закона направлены на обеспечение безопасности критически важных объектов от компьютерных атак. От действий хакеров могут пострадать промышленные технологические системы, информационные системы

жизнеобеспечения городов, а также другие объекты, входящие в критическую информационную инфраструктуру (КИИ). Последствия этих сбоев могут быть катастрофичны.

Основное нововведение закона – это механизм реализации «Государственной системы обнаружения, предупреждения и ликвидации последствий компьютерных атак на информационные ресурсы Российской Федерации» (далее – ГосСОПКА), которая выполняет функции государственного контроля и единого центра управления.

В ходе выполнения требований законодательства по обеспечению безопасности информации на объектах КИИ необходимо реализовать этапы: определение принадлежности организации к субъекту КИИ; категорирование объектов КИИ; формирование действий по установлению взаимодействия с ФСБ России; конструирование системы безопасности значимых объектов КИИ (СБ ЗО КИИ); обеспечение безопасности ЗО КИИ в процессе эксплуатации и при выводе из эксплуатации. С целью определения принадлежности организации к субъекту КИИ, а самого объекта – к КИИ необходимо реализовать последовательность действий, представленных на рис. 1.

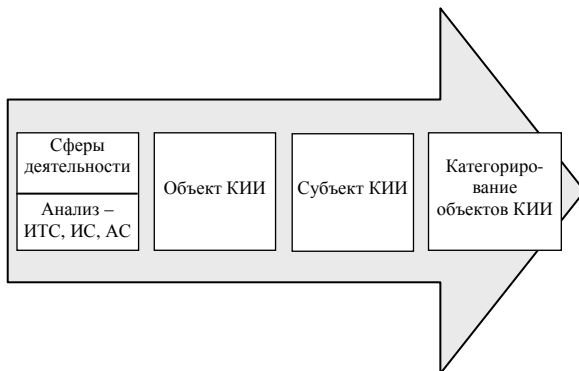


Рис. 1. Процесс определения ИТС, ИС, АСУ как объекта КИИ

Взаимодействие с координационным центром по обеспечению защиты объектов КИИ осуществляется путем направления запроса от организации обеспокоительном информировании об инцидентах [4]. Следующим этапом является определение требований по безопасности информации с последующим созданием системы безопасности значимого объекта КИИ (СБ ЗО КИИ).

Выполнение требований к обеспечению безопасности ЗО КИИ включает: ключевой набор мер на базе установленной категории значимости ЗО КИИ, адаптацию этих мер в соответствии с угрозами безопасности информации (УБИ), а также меры, обеспечивающие нейтрализацию УБИ с соответствующим уровнем защищенности (УЗ) КИИ.

В ходе разработки ТЗ на разработку системы защиты должны быть обозначены цели, задачи СБ ЗО КИИ, категория значимости ЗО КИИ, реализованы организационные и технические меры, этапы и стадии работ СБ ЗО КИИ, требования к СЗИ, перечень НПА и национальных стандартов ЗО КИИ.

Для внедрения СБ ЗО КИИ необходимо разработать или актуализировать модель УБИ. В данной модели должны быть отражены такие задачи, как выявление источников УБИ; потенциал нарушителей; анализ уязвимостей; последствия. При этом разработка документации технического проекта СБ ЗО КИИ осуществляется в соответствии с [5]. Кроме того, в комплект рабочей документации СБ ЗО КИИ требуется ввести описание ее архитектуры; правила эксплуатации; настройку СЗИ. В общем случае реализация требований по защите информации ЗО КИИ потребует разработки как модели УБИ, так и модели самой СЗИ (рис. 2).



Рис. 2. Взаимосвязь моделей, отражающих требования по защите информации

Как правило, СЗИ объекта КИИ является сложной системой, реализующей множество функций. Для каждого структурного элемента СЗИ и выполняемой функции есть возможность применения различных программных и технических средств, обеспечивающих противодействие актуальным УБИ.

В каждом конкретном случае целесообразно разработать множество вариантов СЗИ, отличающихся структурой, составом, технико-экономическими показателями (быстродействие, надежность, отказоустойчивость, стоимость и т.д.). Такого типа показатели довольно

часто бывают взаимно противоречивы, поэтому выбор конкретного комплекса средств защиты информации приводит к необходимости решать оптимизационную задачу, которая требует наличия показателей эффективности защиты информации и сообразных критериев информационной безопасности [9].

В данном случае при решении задачи выбора СЗИ КИИ будем использовать следующий критерий: СЗИ должны удовлетворять максимальному количеству требований по защите информации и при этом обеспечивать выполнение всех критически важных функций.

Пусть исходная  $i$ -я система при заданной вероятности защиты  $P_{\text{защ}}(0)$  и времени доступа  $T(0)$  может реализовать требования в различных вариантах:  $i_1, i_2, i_3, \dots, i_j$ . При этом защищенность информации оценивается по приращению вероятности ее защиты от кибератак  $\Delta p_i$  и по приращению к заданному набору требований  $\Delta t_i$ . Параметром системы также может быть стоимостная характеристика  $C_i$ , определяемая набором средств защиты информации

Модель системы защиты информации, характеризующейся рядом параметров, может быть представлена как

$$F_i = f(\Delta p_i, \Delta t_i, \Delta c_i), \quad i = \overline{1, m}.$$

Последовательность выполнения требований защиты ЗО КИИ представляет собой  $q$  этапов, на каждом из которых может быть применена некоторая совокупность средств  $n_k \in N(k = \overline{1, q})$  из множества допустимых. Если оптимизация проводится по одному или двум критериям, то остальные рассматриваются как ограничения.

Пусть часть критериев СЗИ  $i = \overline{1, r}$  улучшается, а остальная часть  $i = \overline{r+1, m}$  ухудшается в случае применения одного из средств защиты.

Обозначим:  $\alpha_{kj}$  – относительное изменение  $i$ -го параметра  $i = \overline{r+1, m}$  на  $k$ -м этапе в случае применения  $j$ -го средства защиты;  $S_{kij}$  – эффективность применения  $j$ -го средства на  $k$ -м этапе по  $i$ -му критерию  $i = \overline{1, r}$ ;  $b_i$  – требуемое значение  $i$ -го критерия.

В случае многокритериальной оптимизации, имеет смысл задача целочисленного программирования с несколькими целевыми функциями:

$$\left. \begin{aligned} F_i &= \sum_{k=1}^q \sum_{j=1}^{n_k} S_{kij} x_{kj} \rightarrow \max \\ F_i &= \sum_{k=1}^q \sum_{j=1}^{n_k} S_{kij} x_{kj} \rightarrow \min \end{aligned} \right\} \begin{aligned} i &= \overline{r+1, m} \\ i &= \overline{1, r} \end{aligned}$$

при ограничениях

$$\sum_{k=1}^q \sum_{j=1}^{n_k} a_{kij} x_{kj} \neq b_i,$$

$$x_{kj} = \begin{cases} 1 - \text{если } j\text{-е средство применяется на } k\text{-м этапе,} \\ 0 - \text{если } j\text{-е средство не применяется на } k\text{-м этапе,} \end{cases}$$

где  $j = \overline{1, n_k}$ ;  $k = \overline{1, q}$ .

Вследствие решения данной задачи должен быть определен оптимальный выбор структуры системы защиты ЗО КИИ, обращающий в экстремум целевые функции при выполнении ограничений. При этом для решения задачи целочисленного линейного программирования может быть применен ряд методов, способных выполнить конкретные решения по защите КИИ. На основании решения оптимизационной задачи по выбору средств необходимо реализовать последовательность внедрения мер по обеспечению безопасности ЗО КИИ (рис. 3).

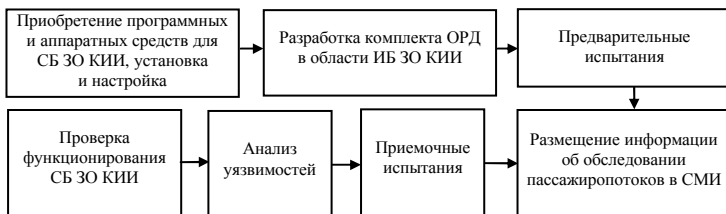


Рис. 3. Последовательность внедрения мер по обеспечению безопасности ЗО КИИ

В течение всего срока эксплуатации ЗО КИИ периодически необходимо поддерживать его безопасность, для чего систематически проводить актуализацию модели угроз безопасности, документации технического проекта, ОРД, выполнения требований политик, регламентов. Кроме того, при выводе из эксплуатации ЗО КИИ необходимо заархивировать информацию, содержащуюся в ЗО КИИ, уничтожить информацию с машинных носителей, данные об архитектуре ЗО КИИ.

Таким образом, необходимость выполнения требований по защите объектов КИИ от кибератак требует реализации комплекса мер по внедрению системы защиты информации или качественного повышения ее эффективности. В свою очередь, повышение эффективности применяемых методов и средств защиты предполагает поиск оптимальных решений для разработки, внедрения и совершенствования системы защиты информации.

### **Библиографический список**

1. О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации (последняя редакция): Федер. закон от 26.07.2017 № 187 – ФЗ // Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс.

2. Об утверждении требований к созданию систем безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации и обеспечению их функционирования: Приказ ФСТЭК России от 21 декабря 2017 г. № 235 // Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс.

3. Об утверждении требований по обеспечению безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации: Приказ ФСТЭК России от 25 декабря 2017 г. № 239 // Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс.

4. Об утверждении Перечня информации, представляемой в ГосСОПКА на информационный ресурсы Российской Федерации и Порядка представления информации в государственную систему обнаружения, предупреждения и ликвидации последствия компьютерных атак на информационные ресурсы Российской Федерации: Приказ ФСБ России от 24 июля 2018 г. № 367 // Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс.

5. ГОСТ 34.201 – 89. Виды, комплектность и обозначение документов при создании автоматизированных систем. – М., 1989.

6. Калашников А.О. Управление информационными рисками объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации // Вопросы кибербезопасности. – 2014. – № 3(4). – С. 35–41.

7. Новичков В. Е., Пыхтин И. Г. Социально-правовое обоснование введения уголовной ответственности за неправомерное воздейст-

вие на критическую информационную инфраструктуру Российской Федерации // Психопедагогика в правоохранительных органах. – 2018. – № 2(73) . – С. 25–29.

8. Чобанян В.А., Шахалов И.Ю. Анализ и синтез требований к системам безопасности объектов критической информационной инфраструктуры // Вопросы кибербезопасности. – 2013. – № 1(1). – С. 17–27.

9. Шабуров А.С., Миронова А.А. О повышении эффективности защиты персональных данных в информационных системах открытого типа // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2015. – № 16. – С. 106–117.

### **Сведения об авторах**

**Шабуров Андрей Сергеевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: shans.ise@mail.ru

**Зонина Виктория Эдуардовна** – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: us277@mail.ru

**Рыжук Надежда Сергеевна** – специалист по защите информации АО «Международный аэропорт «Пермь», e-mail: kns59@ya.ru

### **About the authors**

**Shaburov Andrey Sergeevich** – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor Department of Automation and Telemechanics Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: shans.ise@mail.ru

**Zonova Viktoriya Eduardovna** – Student Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: us277@mail.ru

**Ryzhuk Nadezhda Sergeevna** – Security Engineer Joint-Stock Company «Perm International Airport», Perm, e-mail: kns59@ya.ru

## СОДЕРЖАНИЕ

|  |    |
|--|----|
| <b>Секция 1. НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ</b> .....   | 3  |
| <b>Алешкова Д.А., Александрова А.С.</b> Автоматическое оформление списка литературы согласно ГОСТ Р 7.0.5–2008 и References .....  | 4  |
| <b>Апталаев М.Н., Зыкин С.А.</b> Модель оценки эффективности управления образовательной организацией .....   | 8  |
| <b>Губин Д.О., Тарутин А.В.</b> Блокчейн как инновационный инструмент .....  | 15 |
| <b>Ковтун В.С., Тарутин А.В.</b> Визуализация промышленной системы расширенной вибродиагностики .....  | 20 |
| <b>Мещеряков М.А., Масич Г.Ф.</b> Интеграция планировщика задач суперкомпьютера SLURM с технологией SDN .....  | 27 |
| <b>Минибаев И.И., Тарутин А.В.</b> Разработка методов и алгоритмов контроля входных данных формата dxf для системы ITAS Nesting .....  | 32 |
| <b>Овечкин А.В., Петров В.С., Проскурин Д.А., Султанов Н.З.</b> Необходимость автоматизации проектирования квадрокоптеров для конкретной задачи .....                              | 36 |
| <b>Петров В.С., Овечкин А.В.</b> Особенности изучения шагающих машин .....   | 41 |
| <b>Прохоров А.Н., Тарутин А.В.</b> Анализ способов интеграции, необходимых при проектировании интеграционного модуля ИАС «Университет» для взаимодействия с ФИС ГИА и приема ..... | 45 |
| <b>Тютюных А.А., Полевщиков И.С.</b> Автоматизация процесса составления тест-планов при тестировании программного обеспечения .....  | 50 |
| <b>Хадавимогаддам Ф., Мостаджеран Г.М.</b> Использование искусственного интеллекта в добыче нефти .....  | 56 |
| <b>Шушарина А.В., Полевщиков И.С.</b> Анализ и перспективы развития компьютерных тренажеров для обучения сенсомоторным навыкам .....   | 61 |



|  |            |
|--|------------|
| <b>Бочкарникова Т.В., Юдина Л.Н.</b> Концепция цифровизации .....  | 70         |
| <b>Перевалов А.М., Курушин Д.С.</b> Разработка языковых моделей для системы автоматического распознавания речи CMU SPHINX .....  | 75         |
| <b>Кашин О.А., Мурзакаев Р.Т.</b> Численное моделирование процесса укладки материала в профилированных элементах конструкций .....   | 80         |
| <b>Кондратович Н.А., Долгова Е.В.</b> Семантические сети для описания взаимосвязей состояний виртуального робота .....   | 86         |
| <b>Масальский М.С., Шапов В.А.</b> Модель распознавания течения по данным визуализации движения частиц .....   | 91         |
| <b>Никитин Н.Н., Шаронов А.А.</b> Исследование зависимости полноты облака точек от величины паралакса и разрешения камер .....   | 96         |
| <b>Селуков Д.А., Хабибуллин А.Ф.</b> Разработка автоматизированной системы контроля сдачи норм ГТО .....   | 104        |
| <b>Щелкунов А.А., Лебедев В.В.</b> Тренажер для развития параллельного мышления на примере игры «пожарный танк» .....  | 109        |
| <b>Секция 2. АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ .....</b>   | <b>117</b> |
| <b>Pin O.N., Ilina A.P., Sultanov N.Z., Sergeev A.I.</b> Automated material planning method for controlling the tightness of a helicopter .....  | 118        |
| <b>Агibalов И.Г., Тупикин Д.А., Звягина Е.А.</b> Обзор схем перемещений устройств для 3D-печати .....  | 122        |
| <b>Маслов А.А., Сливницин П.А., Бачурин А.А.</b> Ресурсосберегающая стыковочная система для светильников наружного освещения .....   | 130        |
| <b>Горошков А.И., Плехов В.Г., Вялых И.А.</b> Система усовершенствованного управления установки первичной переработки нефти ЭЛОУ – АВТ1 ООО «ЛУКОЙЛ-Волгограднефтепереработка» при неполной оперативной информации о качестве целевых нефтепродуктов ..... | 135        |
| <b>Кухарчук А.В., Живых А.А.</b> Использование формата ComTrade при анализе работы моделей MatLab Simulink .....   | 141        |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Зиануров А.Ш., Вялых И.А., Степанов А.О.</b> Интеграция локальных систем управления в АСУ ТП и АСУП.....  | 146 |
| <b>Ильин О.Н., Ильина А.П., Султанов Н.З., Сергеев А.И.</b> ИПИ-технологии в планировании и автоматизации контроля герметичности авиационных изделий на предприятиях .....                         | 151 |
| <b>Конин Ю.А., Гаранин А.И., Нурмухаметов Д.И., Тюрин С.Ф., Щербакова В.А., Стариков С.С.</b> Исследование чувствительности датчика температуры, созданного в сердцевине оптического волокна ..... | 156 |
| <b>Костарев Н.А., Труфанова Н.М.</b> Управление температурным полем нефтяной скважины, оборудованной греющим кабелем, при периодическом режиме нагрева .....                                       | 161 |
| <b>Кочковская С.С.</b> Оценка точности соответствия механических свойств заданному качеству сплава валковых марок сталей .....   | 168 |
| <b>Кухарчук И.Б., Труфанова Н.М.</b> Особенности расчета токовой нагрузки кабельного канала .....  | 173 |
| <b>Власов С.А., Орехов М.С.</b> Математическое моделирование при разработке лабораторной установки для градуировки газоанализаторов .....  | 178 |
| <b>Власов С.А., Орехов М.С.</b> Применение математического моделирования при разработке алгоритмов управления автоматизированной лабораторной установки для калибровки газоанализаторов .....      | 183 |
| <b>Петуховская В.Р., Спирина А.С., Орехов М.С., Сокольчик П.Ю.</b> Методика наладки промышленных исполнительных устройств FISHER для каналов регулирования и противоаварийной защиты .....         | 187 |
| <b>Работников М.А.</b> Анализ целевой функции для задачи аппроксимации экспериментальной комплексной частотной характеристики динамического объекта передаточной функцией .....                    | 193 |
| <b>Снеткова С.В., Боровский А.С.</b> Системный анализ проблемы взвешивания большегрузных объектов .....  | 199 |
| <b>Попова Т.А., Стародубцева О.А.</b> Внедрение системы быстрой переналадки оборудования как способ оптимизации производства .....   | 204 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Хохлова А.Ю., Сергеев А.И.</b> Интеграция САПР ТП<br>с ЛОЦМАН: PLM .....  | 209 |
| <b>Щуклина У.К., Орехов М.С.</b> Совершенствование системы<br>управления производством фталевого ангидрида .....   | 214 |
| <b>Юрков Д.А., Сокольчик П.Ю., Сташков С.И.</b><br>Построение регрессионных моделей связи параметров тех-<br>нологического процесса .....                          | 219 |
| <b>Братчиков М.А., Шумихин А.Г., Орехов М.С.</b><br>Подбор оборудования для реализации системы управления<br>вентиляцией с учетом надежностных характеристик ..... | 223 |
| <b>Бурганов Р.З.</b> Управление разрежением хлор-газа<br>при производстве едкого кали методом мембранного<br>электролиза .....                                     | 227 |
| <b>Шмидт И.А., Попов А.П.</b> Разработка оптимального метода<br>хранения временных рядов в документо-,ориентированной<br>базе данных .....                         | 233 |
| <b>Секция 3. ИННОВАЦИОННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ</b>   |     |
| <b>В ЭНЕРГЕТИКЕ. ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ ....</b>  |     |
| <b>Абашев Д.Р., Чабанова Е.В., Чабанов Е.А.</b> Современные<br>проблемы электроэнергетики и пути их решения .....  | 240 |
| <b>Абыев И.Р.</b> Нефтебазы .....  | 245 |
| <b>Баянов Ф.Н., Шулаков Н.В.</b> Перспективы применения ци-<br>линдрических линейных вентильных двигателей в нефтедо-<br>бывающей промышленности .....             | 251 |
| <b>Губина П.А., Саяпова Д.Г.</b> Технические решения при про-<br>ектировании и сооружении магистральных трубопроводов в<br>сейсмически активных зонах .....        | 258 |
| <b>Дубровская А.В., Комаров Д.Н., Лезнов А.В.</b> Применение<br>малоразмерных газотурбинных установок для энерго- и теп-<br>лоснабжения СПГ-танкеров .....         | 263 |
| <b>Евдокимова О.Д., Юдина Л.Н.</b> Энергетический аудит как<br>фактор, влияющий на эффективность энергопотребления на<br>промышленных предприятиях .....           | 270 |
| <b>Жарич Д.С.</b> Разработка системы бесконтактных датчиков<br>для мониторинга параметров воздушной линии электропе-<br>редач .....                                | 274 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Зайнутдинов Р.И., Бабакин А.Д.</b> Волоконно-оптический метод обнаружения утечек из магистральных трубопроводов .....                                   | 281 |
| <b>Исингалеева А.У.</b> Анализ эффективности ВИМ-технологий в промышленности .....   | 287 |
| <b>Брызгалова Е.А., Минин Д.Н., Килин Г.А.</b> Потенциал термоядерной энергетики на территории Российской Федерации .....                                  | 294 |
| <b>Ведерников Д.А., Килин Г.А.</b> Резервное питание предприятий на основе газотурбинных электростанций .....  | 301 |
| <b>Коннова А.А., Семенова Н.Г.</b> Разработка системы выбора категории и зоны молниезащиты на основе нечеткой логики .....                                 | 308 |
| <b>Кошкарров С.Д., Яганов Е.Н., Мин Е.Г., Николаев С.Ф., Шинкарёв А.А.</b> Электрохимическая технология сжигания угольной пыли (ЭХТС) .....                | 313 |
| <b>Глазырин Г.В., Митрофанов Н.А.</b> Моделирование работы синхронной машины с несимметрией фазных обмоток статора при насыщении магнитопровода .....      | 318 |
| <b>Носов А.Н., Чабанова Е.В., Чабанов Е.А.</b> Нетрадиционные источники энергии и их реализация в Пермском крае .....                                      | 326 |
| <b>Поздеева А.С., Субботин Е.В.</b> Оценка срока службы полимерных материалов кабельных ПВХ-пластикатов .....  | 333 |
| <b>Садкин И.С., Ворогов В.А.</b> Подземная газификация углей: прошлое или будущее? .....   | 340 |
| <b>Каменских И.А., Фалалеев Д.В., Судаков А.И.</b> Эффективный анализ исследования и идентификации зашумленных переходных процессов синхронных машин ..... | 347 |
| <b>Токарев Р.О., Шапошников В.В., Чабанов Е.А.</b> Спектральный анализ неактивной части переходного процесса синхронной машины .....                       | 355 |
| <b>Трефилов В.А., Лоскутников В.А.</b> Исследование влияния оптимальных параметров синхронной машины при проведении испытаний .....                        | 362 |
| <b>Уланов В.В., Долгова Т.С.</b> К вопросу о проведении внутритрубой дефектоскопии подводных переходов магистральных газопроводов .....                    | 368 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Шапошников В.В., Токарев Р.О., Коротчаев А.Д., Чабанов Е.А.</b> Расчет характеристик цилиндрического линейного вентильного двигателя .....                            | 375 |
| <b>Секция 4. ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ. ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ .....</b>  | 383 |
| <b>Клейман Л.А., Фрейман В.И.</b> Система мониторинга и диагностики коммуникационных элементов беспроводных систем управления .....                                      | 384 |
| <b>Сорокин А.С., Шабуров А.С.</b> О разработке модели нейронной сети для определения безопасного подключения в информационной системе предприятия .....                  | 390 |
| <b>Шабуров А.С., Зонова В.Э., Рыжук Н.М.</b> Защита критической информационной инфраструктуры в соответствии с требованиями по обеспечению безопасности информации ..... | 397 |

Научное издание

**ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ТЕОРИЯ,  
ИНСТРУМЕНТЫ, ПРАКТИКА**

Материалы X Международной  
интернет-конференции молодых ученых,  
аспирантов, студентов  
(20 ноября – 31 декабря 2018 г.)

Редактор и корректор *И.Н. Жеганина*

---

Подписано в печать 22.04.2019.  
Формат 60×90/16. Усл. печ. л. 25,62.  
Тираж 100 экз. Заказ 64/2019.

---

Издательство  
Пермского национального исследовательского  
политехнического университета.  
Адрес: 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, к. 113.  
Тел. (342) 219-80-33.