

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

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

Материалы XII Международной  
интернет-конференции молодых ученых,  
аспирантов, студентов  
(16 ноября – 31 декабря 2020 г.)

Издательство  
Пермского национального исследовательского  
политехнического университета  
2021

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.

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

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

**Редакционная коллегия:**

*В.В. Черняев*, 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 технических наук, профессор кафедры автоматизированных систем управления Уфимского государственного авиационного технического университета *Г.Г. Куликов*

**Секция 1**

**НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ**

## ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ РАБОТЫ С ИНСТРУМЕНТОМ ДЛЯ ВИЗУАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ БАЗ ДАННЫХ MYSQL WORKBENCH

К.А. Иванов<sup>1</sup>, А.В. Тарутин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Пермский институт (филиал) Российского экономического  
университета им. Г.В. Плеханова, Пермь

<sup>2</sup>Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

Рассматривается программный продукт MySQL Workbench. Анализируются инструментарий и возможности программы. Описан принцип работы.

**Ключевые слова:** программный продукт; инструментарий; возможности; принцип работы.

## BASIC ASPECTS OF WORKING WITH THE MYSQL WORKBENCH VISUAL DATABASE DESIGN TOOL

К.А. Ivanov<sup>1</sup>, А.В. Tarutin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Perm Institute (branch) Russian University of Economics  
named after G.V. Plekhanov, Perm

<sup>2</sup>Perm national research polytechnic university, Perm

This article discusses the MySQL Workbench software product. The toolkit and program capabilities are analyzed. The principle of operation is described.

**Keywords:** software product; tools; capabilities; operating principle.

В век информационных технологий жизнь человека и его деятельность зависят от различного рода информации, которая в силу своих размеров и сложности должна быть систематизирована таким образом, чтобы её можно было эффективно обрабатывать, хранить и анализировать. Для этого нам необходимы базы данных, которые сегодня применяются повсеместно. Сфера IT активно развивается и в ней, помимо новаций, появляются также новые способы выполнения задач, которые всегда стоят перед IT. Примером является MySQL Workbench, который упрощает работу с базами данных и сервером SQL.

MySQL Workbench – это графический инструмент для работы с серверами и базами данных реляционной системы управления MySQL. Программа поддерживает MySQL сервер версии 5.6 и выше.

Функционал программы можно разделить на пять направлений:

1) *разработка баз данных SQL*. Непосредственное создание и управление подключений к серверам баз данных. В рамках настройки и создания подключения в программе можно выполнять SQL-запросы во встроенном редакторе SQL. Таким образом, программа предлагает традиционный метод работы с базами данных, наряду с аналогом, который предлагает автоматизацию этого процесса;

2) *автоматизация процесса создания баз данных и работы с ними*. Наглядный редактор таблиц предоставляет инструменты для редактирования таблиц, их столбцов и содержимого, внешних связей, индексов, триггеров, представлений, процедур и т.д. Существует функция создания графических схем (EER-диаграмм);

3) *администрирование сервера*. Позволяет администрировать экземпляры сервера MySQL путем администрирования пользователей, выполнения резервного копирования и восстановления, проверки данных аудита, просмотра состояния базы данных и мониторинга производительности сервера MySQL;

4) *миграция данных*. Позволяет выполнять миграцию с Microsoft SQL Server, Microsoft Access, Sybase ASE, SQLite, SQL Anywhere, PostgreSQL и других таблиц, объектов и данных СУБД в MySQL. Миграция также поддерживает переход с более ранних версий MySQL на последние версии;

5) *поддержка MySQL Enterprise*. Поддержка корпоративных продуктов, таких как MySQL Enterprise Backup, MySQL Firewall и MySQL Audit.

MySQL Workbench доступен в двух изданиях: Community Edition и Commercial Edition. Community Edition доступна бесплатно. Коммерческая версия предоставляет пакет дополнительного функционала, такого как доступ к MySQL Enterprise Backup, MySQL Firewall и MySQL Audit.

Первое, с чего начинается работа с программным средством, это создание подключения или использование уже созданных доступных подключений. Приложение даёт возможность ограничения доступа к подключениям путём установки пароля. Подключения нужны для организации подключения к серверу. Благодаря им можно работать с существующими базами, писать SQL-запросы и т.д.

Следующий этап – это создание базы данных, в программном средстве именуемой как схема или модель. Начиная с этого этапа,

программа предлагает заменить ручное написание запросов простым заполнением текстовых полей.

В рамках конкретных моделей нам предложены следующие составляющие:

- 1) таблицы;
- 2) EER-диаграммы;
- 2) представления;
- 3) процедуры;
- 4) группы процедур;
- 5) привилегии;
- 6) SQL-скрипты.
- 7) пояснительные записки к модели.

В разделе с таблицами создаются таблицы. Здесь же создаются поля таблиц, а также тип поля (всего 46) и свойства (первичный ключ, принимает ли поле значение NULL, является ли поле уникальным индексом, свойство двоичности, неопределённый тип данных, автоинкремент, стандартное значение). В разделе индексов можно создать индекс, указать связь, на которую он ссылается. В разделе внешних ключей индексам присваиваются родительские поля, от которых они принимают информацию, здесь же, при необходимости, можно выбрать опцию внешнего ключа при обновлении или удалении данных. В разделе триггеров создаются триггеры (события), которые будут выполнены в зависимости от выбранного триггера: до и после вставки данных, до и после обновления данных, до и после удаления данных. Во вкладке «Разметки» можно разбить таблицу по установленному параметру, такому как определённый тип столбца. Во вкладке параметров можно настроить таблицу, настройки поделены на 4 раздела: общие настройки, параметры строки, варианты хранения и параметры слияния таблицы. Во вкладке «Вставки» можно вручную, при помощи клавиатуры, вписывать данные.

При создании EER-диаграммы программа предлагает все существующие таблицы и представления для создания логической модели базы данных. Прямо здесь при помощи мышки можно создавать связи между таблицами. Индекс и внешний ключ будет создан автоматически.

При создании представлений будет предложен готовый участок кода для создания представлений, в который необходимо вписать запрос. Аналогичный процесс при создании процедур.

В создании групп процедур необходимо дать группе названия и занести в неё составляющие её процедуры.

При необходимости можно создавать роли с привилегиями для работы с таблицей.

В разделе с SQL-скриптами можно создавать объекты, содержание которых будет SQL-скрипт, который можно будет выполнять в процессе работы с базой.

Помимо средств автоматизации процесса работы с базой данных можно воспользоваться программой как средой написания SQL-кода и работать с базами данных традиционно, пользуясь средствами автоматизации Workbench при необходимости или не пользуясь вообще. Также всю проведённую в MySQL Workbench работу можно перевести в SQL-скрипт.

Программное средство предоставляет визуальный интерфейс для администрирования вашей среды MySQL. Доступные визуальные инструменты помогают настраивать серверы MySQL, администрировать пользователей, выполнять резервное копирование и восстановление, проверять данные аудита и просматривать состояние базы данных, управлять экземплярами MySQL с полным обзором подключений сервера MySQL. Визуальная древовидная навигация предоставляет подробную информацию о сервере и переменных состояниях, включая количество потоков, байтов, отправленных и полученных клиентами, размер выделения буфера и многое другое.

В программном средстве присутствует панель мониторинга производительности, в котором на графической панели управления можно проследить статистику производительности сервера. Предоставляемой панелью информации является:

1. Состояние сети – статистика сетевого трафика, отправленного и полученного сервером MySQL через клиентские соединения: входящий и исходящий сетевой трафик, а также количество клиентских подключений к серверу.

2. Статус сервера MySQL – активность и производительность сервера.

3. Статус подсистемы InnoDB – предоставляет обзор «Buffer Pool» InnoDB и информации об активности диска, который генерируется механизмом хранения InnoDB.

Таким образом, MySQL Workbench может стать хорошим программным средством для системных администраторов, которые бы хотели отслеживать состояние сервера, оптимизировать его работу.

MySQL Workbench предоставляет возможность переносить ODBC-совместимые базы данных в MySQL. Мастер миграции выполняет следующие шаги при миграции базы данных в MySQL:

1. Подключается к исходной СУБД и получает список доступных баз данных/схем.

2. Функция Reverse Engineering, необходимая для получения диаграммного представления на основании структуры таблиц, выбирает базу данных.

3. Происходит автоматический перенос исходных объектов СУБД в конкретные объекты MySQL: объекты схем, объекты таблиц, внешние ключи для всех таблиц и т.д.

4. Предоставляется возможность просматривать и вносить новые изменения, исправлять ошибки в перенесенных объектах.

5. Создает перенесенные объекты на целевом сервере MySQL. Если есть ошибки, есть возможность отката и возвращения к предыдущему шагу.

6. Копирует данные из таблиц и переносит их в MySQL\*.

При помощи функции Reverse Engineering программа восстанавливает структуры таблиц из уже существующей на сервере базы данных.

Forward Engineering конвертирует визуальную модель данных в физическую базу данных для сервера MySQL. Всё, что пользователь делает при помощи средств автоматизации программы, будь то создание базы, её таблиц, их заполнение, создание связей – программой конвертируется в SQL-скрипт. Программа автоматически генерирует SQL-код, что помогает избежать процесса ручного написания кода.

Преимущество программного средства MySQL Workbench состоит в том, что рядовой пользователь, который не владеет языком SQL, может с нуля создать свою базу данных, не упуская никаких возможностей в её проектировании, а также заниматься администрированием своего SQL-сервера. Для опытных программистов, работающих с базами данных, MySQL Workbench послужит удобной средой, в которой при необходимости можно воспользоваться средствами автоматизации создания и обслуживания базы данных, а также

---

\* Oracle. Справочное руководство MySQL Workbench. 2020 (редакция: 68122)

заниматься администрированием сервера в удобном интерфейсе. Системные администраторы могут отслеживать состояние сервера в предоставленной панели для последующей оптимизации его работы. Можно сделать вывод, что программное средство MySQL Workbench может быть использовано пользователями (которые хотят создать свою базу данных, администрировать её или поддерживать работу SQL-сервера) любого уровня подготовки, с самыми разными целями и задачами, и для них эта программа может предоставить полный спектр функций, для решения поставленных задач.

### **Сведения об авторах**

**Иванов Кирилл Александрович** – студент Пермского института (филиала) Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова, Пермь, e-mail: wower\_1488@bk.ru

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

### **About the authors**

**Ivanov Kirill Alexandrovich** – Student of the Perm Institute (branch) Russian University of Economic named after G.V. Plekhanov, Perm, e-mail: wower\_1488@bk.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: itas-pnipu@yandex.ru

## **АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ОЦЕНКИ СТОИМОСТИ НОМЕРОВ СЕТИ ГОСТИНИЦ НА БАЗЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

**О.С. Булгаков, В.Н. Ковалевский**

Южно-Российский государственный политехнический  
университет (НПИ) им. М.И. Платова, Новочеркасск

Представлено математическое моделирование процесса оценки стоимости номеров. Для правильной и качественной оценки использовалась статистическая модель множественной регрессии, которая с помощью метода Гаусса – Зейделя позволяет построить модель аппроксимации. Определены основные входные параметры для оценивания номеров, представлено формальное описание этого процесса. Также задан выходной параметр, являющийся целью математического моделирования. Практические результаты оценки стоимости номеров получены на базе аналитической платформы «Deductor Studio».

**Ключевые слова:** математическое моделирование; множественная регрессия; статистический метод; оценка стоимости номеров; платформа Deductor Studio; математическое моделирование; метод Гаусса – Зейделя.

## **ANALYSIS OF THE PROCESS OF ESTIMATING THE COST OF HOTEL NETWORK ROOMS BASED ON MATHEMATICAL MODELING**

**O.S. Bulgakov, V.N. Kovalevsky**

South Russian State Polytechnic University (NPI)  
named after M.I. Platov, Novocherkassk

This paper presents mathematical modeling of the process of estimating the cost of numbers. A statistical multiple regression model was used for correct and qualitative estimation, which, using the Gauss-Seidel method, allows the construction of an approximation model. The main input parameters for number estimation are defined, a formal description of this process is given. An output parameter is also specified, which is the purpose of mathematical modeling. Practical results of estimating the cost of rooms are obtained on the basis of the analytical platform "Deductor Studio".

**Keywords:** mathematical modeling; multiple regression; statistical method; estimating the cost of rooms; Deductor Studio platform; mathematical modeling; Gauss-Seidel method.

Информационная система, для которой проводится оценка стоимости номеров, предназначена для автоматизации бизнес-процессов, реализуемых в сети гостиниц и отелей по краткосрочному съему гостиничных номеров [1]. Необходимость разработки данной системы и описание основных возможностей представлены в работе [2].

Для проведения оценки стоимости номеров была использована статистическая модель множественной регрессии. Данная модель базируется на методе наименьших квадратов и может быть представлена в виде следующей формулы:

$$C_i = \sum_{j=1}^9 Pt_{ij} \cdot x_{ij}, \quad (1)$$

где  $i = 1, \dots, m$ ,  $C_i$  – стоимость  $i$ -го номера,  $Pt_{ij}$  –  $j$ -й параметр  $i$ -го номера ( $j = 1, \dots, 9$ ),  $x_{ij}$  – регрессоры,  $m$  – количество номеров. В качестве девяти параметров оценки стоимости номеров можно выделить следующие:

– тип номера (апартаменты, отель, хостел), математическая модель данного параметра имеет следующую форму:

$$Pt_{i1} \cdot x_{i1} + Pt_{i2} \cdot x_{i2} + Pt_{i3} \cdot x_{i3}, \quad (2)$$

$$Pt_{ik} = [0|1]; \sum_{k=1}^3 Pt_{ik} = 1, \quad (3)$$

– количество звезд в отеле ( $Pt_{i4}$ ): данный параметр отражает степень комфортабельности отеля;

– оценка отеля экспертами ( $Pt_{i5}$ ): средняя оценка отеля экспертами;

– средний уровень спроса на номера в отеле ( $Pt_{i6}$ );

– наличие конференц-зала ( $Pt_{i7}$ );

– наличие банкетного зала ( $Pt_{i8}$ );

– наличие парковки ( $Pt_{i9}$ ).

Данные параметры участвуют в факторном анализе гостиницы (отеля) и позволяют сформировать достоверную количественную информацию для проведения аппроксимации данных. Важным параметром при прогнозировании значений является коэффициент ковариации, который позволяет оценить меру зависимости между величинами и имеет следующую форму [3]:

$$Cov(C, P) = M \left( (P - M(P))(C - M(C)) \right), \quad (4)$$

где  $Cov(C, P)$  – ковариация между стоимостью номера в гостинице и периодом,  $C$  – стоимость номера в данном периоде,  $P$  – период.

Функционал качества прогноза имеет следующую форму:

$$F = \frac{1}{2} [C_i - (\sum_{j=1}^9 Pt_{ij} \cdot x_{ij} + Cnst)]^2 \rightarrow \min, \quad (5)$$

где  $i = 1, \dots, m$ ,  $C_i$  – стоимость  $i$ -го номера,  $Pt_{ij}$  –  $j$ -й параметр  $i$ -го номера,  $x_{ij}$  – регрессоры,  $Cnst$  – константа.

Функционал качества прогноза может быть расписан в следующей форме:

$$\begin{cases} \frac{\partial F}{\partial Pt_1} = (\sum_i C_i - (\sum_{j=1}^9 Pt_{ij} \cdot x_{ij} + Cnst)) x_{1i}, \\ \frac{\partial F}{\partial Pt_2} = (\sum_i C_i - (\sum_{j=1}^9 Pt_{ij} \cdot x_{ij} + Cnst)) x_{2i}, \\ \dots \\ \frac{\partial F}{\partial Cnst} = (\sum_i C_i - (\sum_{j=1}^9 Pt_{ij} \cdot x_{ij} + Cnst)). \end{cases} \quad (6)$$

Принимая  $\frac{\partial F}{\partial Pt_1} = \frac{\partial F}{\partial Pt_2} = \dots = \frac{\partial F}{\partial Cnst} = 0$ , формируется следующая модель:

$$\begin{cases} \sum_i C_i \cdot x_{1i} = (\sum_{j=1}^9 Pt_{ij} \cdot x_{ij} + Cnst) x_{1i} \\ \sum_i C_i \cdot x_{2i} = (\sum_{j=1}^9 Pt_{ij} \cdot x_{ij} + Cnst) x_{2i}, \\ \dots \\ \sum_i C_i = (\sum_{j=1}^9 Pt_{ij} \cdot x_{ij} + Cnst). \end{cases} \quad (7)$$

Для определения коэффициентов может быть использован метод Гаусса – Зейделя, представляющий собой итерационный перерасчет коэффициентов с уточнением на каждой последующей итерации. Расчет  $i$ -го коэффициента на  $k+1$  итерации имеет следующую форму:

$$x_i^{k+1} = \frac{b_i}{a_{ii}} - \sum_{j=1}^{i-1} \frac{a_{ij}}{a_{ii}} \cdot x_j^{k+1} - \sum_{j=1}^{i-1} \frac{a_{ij}}{a_{ii}} \cdot x_j^k, \quad i = 1, \dots, n, \quad (8)$$

где  $x_i^{k+1} \in X = \{Pt_1, Pt_2, \dots, Pt_9\}$ ,  $b_i = \sum_i C_i \cdot x_{ij}$ ,  $a_{ij} = x_{is} \cdot x_{js}$ .

Результатом выполнения данной операции является сформированная модель аппроксимации данных

$$C_i = \sum_{j=1}^9 Pt_{ij} \cdot x_{ij}. \quad (9)$$

Для проведения тестирования модели на наборе этих исходных данных была использована платформа *Deductor studio* [4]. В модели были заданы те же входные данные:

— тип номера (апартаменты ( $Pt_{i1}$ ), отель ( $Pt_{i2}$ ), хостел ( $Pt_{i3}$ )) – данные параметры имеют тип данных «вещественный»;

- количество звезд в отеле ( $Pt_{i4}$ ): данный параметр отражает степень комфортабельности отеля – данный параметр имеет тип данных «вещественный»;
- оценка отеля экспертами ( $Pt_{i5}$ ): средняя оценка отеля экспертами – данный параметр имеет тип данных «вещественный»;
- средний уровень спроса на номера в отеле ( $Pt_{i6}$ ) – данный параметр имеет тип данных «вещественный»;
- наличие конференц-зала ( $Pt_{i7}$ ) – данный параметр имеет тип данных «вещественный»;
- наличие банкетного зала ( $Pt_{i8}$ ) – данный параметр имеет тип данных «вещественный»;
- наличие парковки ( $Pt_{i9}$ ) – данный параметр имеет тип данных «вещественный».

После загрузки этих параметров в *Deductor Studio* была сформирована таблица, представленная на рис. 1. Статистические данные реестра оценок показаны в таблице на рис. 2.

апартаменты	отель	хостел	количество звезд	оценка	спрос	конференц-зал	банкет	парковка	стоимость
1	0	0	5	8	30	1	1	1	6830
0	0	1	5	4	5	1	1	1	4459
0	1	0	5	4	80	0	0	0	3980
1	0	0	5	9	63	0	0	0	6663
0	1	0	3	10	61	1	1	0	7061
1	0	0	4	4	49	1	1	0	4459
0	0	1	2	7	12	1	1	1	4816
0	0	0	3	3	76	0	0	1	3276
0	1	0	4	6	8	1	1	1	4958
1	0	0	5	4	85	1	1	0	4795
0	0	1	4	3	4	0	0	0	3008
0	1	0	5	4	39	1	1	0	4139
0	0	1	3	7	4	1	1	0	4958
0	0	1	3	4	74	0	0	0	3328
1	0	0	1	3	65	1	1	1	3365
0	1	0	5	6	70	1	1	1	5270
0	1	0	5	6	96	1	1	0	5596
1	0	0	2	7	64	0	0	1	4614
0	0	1	4	3	75	0	0	1	2779
0	1	0	5	6	51	0	0	1	5051
0	1	0	5	3	71	1	1	0	3671
0	1	0	3	7	34	0	0	1	5034
0	1	0	2	8	28	1	1	0	5778
0	0	1	1	8	97	1	1	1	5551
0	0	1	4	4	28	0	0	0	3132
1	0	0	1	8	7	0	0	0	5107
0	0	1	2	4	8	0	0	1	2712
0	1	0	3	10	20	1	1	0	6620

Рис. 1. Таблица данных для оценки стоимости номеров в гостинице

Для формирования модели множественной регрессии были выбраны вышеуказанные параметры. Выходным параметром является стоимость номера.

Процесс формирования входных и выходных параметров показан на рис. 3. На основании сформированной модели были получены метрики регрессии, представленные на рис. 4.

Метка столбца	Гистогра...	Мини...	Макс...	Сред...	Станд...	Сумма	Сумма...	Средн...	Колв...	Колв...
1 9.0 апартаменты		0	1	0,3347	0,47190908	3347	3347			0
2 9.0 отель		0	1	0,3306	0,4704527315	3306	3306			0
3 9.0 хостел		0	1	0,3347	0,47190908	3347	3347			0
4 9.0 количество звезд		1	5	2,9939	0,420586005	29939	109813			0
5 9.0 оценка		3	10	6,5069	0,289645527	65069	475817			0
6 9.0 спрос		0	100	49,7698	0,921347207	497698	33303746			0
7 9.0 конференц-зал		0	1	0,4953	0,000029103	4953	4953			0
8 9.0 банкет		0	1	0,4953	0,000029103	4953	4953			0
9 9.0 парковка		0	1	0,5003	0,000249119	5003	5003			0
10 9.0 стоимость		1860	7892	4864,2586	0,262,027759	48642586	3356652E11			0

Рис. 2. Статистические данные реестра оценок номеров

Мастер обработки - Линейная регрессия (2 из 8)

**Настройка назначений столбцов**  
 Задайте назначения исходных столбцов данных

Имя столбца	Тип данных	Назначение	Вид данных
апартаменты			
отель			
хостел			
количество звезд			
оценка			
спрос			
конференц-зал			
банкет			
парковка			
стоимость		Выходное	Непрерывный

Статистика:

Минимум	1860
Максимум	7892
Среднее	4864,2586
Стандартное откл.	1262,02775862197

Настройка нормализации...

< Назад Далее > Отмена

Рис. 3. Формирование входных и выходных параметров модели множественной регрессии

Регрессия "П"							
Маск коэффициент корреляции R	Коэффициент детерминации R <sup>2</sup>	Скорректированный коэффициент детерминации	Стандартное отклонение	Размер выборки	Метод отбора признаков		
0,7076	0,5007	0,5003	36209,5762	9500	Полное включение		
Таблица дисперсионного анализа (ANOVA)							
Источник	Средне квадрат. SS	Число степеней свободы, df	Средние квадрат. MS	F-критерий	Значимость		
Регрессия	12480040117056,9059	8	1560005014688,3132	1189,8904	0,0000		
Ошибки	12443367171587,4531	9491	1311133407,6059				
Сумма	2492340728993,3609	9499					
Коэффициенты регрессии							
	Нестандартизованные коэффициенты		Стандартизованные коэффициенты	Критерий	Значимость	Доверительный интервал (95%)	
	Значение	Ошибка				Значение	Ошибка
(Константа)	59140,8815	1239512546201,5916		Не определено	Не определено	2421870953680,7271	2421870970962,4898
"заправлены" (X0)	-16467,7386	1239512546201,5916	0,0596	Не определено	Не определено	2421870953693,4072	2421870995253,8101
"отель" (X1)	-16467,7386	1239512546201,5916	-0,0172	Не определено	Не определено	2421870953693,4072	2421870995253,8101
"люксы" (X2)	-38017,2848	1239512546201,5916	-0,0707	Не определено	Не определено	2421870953693,8556	24218708072804,3237
"количество звёзд" (X3)	249,5436	0,0000	0,2805	Не определено	Не определено	249,5436	249,5436
"здания" (X4)	499,7471	0,0000	0,9059	Не определено	Не определено	499,7471	499,7471
"спрос" (X5)	0,7320	0,0000	0,0183	Не определено	Не определено	0,7320	0,7320
"конверсия сайт" (X6)	601,4799	0,0000	0,2383	Не определено	Не определено	601,4799	601,4799
"тарифы" (X7)	98,7795	0,0000	0,0391	Не определено	Не определено	98,7795	98,7795

Рис. 4. Метрики регрессии для оценки стоимости номера в гостинице

Таким образом, сформированная модель множественной регрессии позволяет оценить стоимость номеров. Данная модель также помогает понять, как необходимо улучшить номер, чтобы правильно сформировать ценовую политику для всей сети гостиниц в целом.

### Библиографический список

1. Сеть отелей Marton [Электронный ресурс] // Официальный сайт. – URL: <https://hotel-marton.ru/> (дата обращения: 10.10.2020).
2. Булгаков О.С., Ковалевский В.Н. Формализованный анализ функциональной полноты систем управления отелем [Электронный ресурс] // Электронный научный журнал «Вестник молодёжной науки России». – 2019. – № 6. – С. 7. – URL: [https://07992ba4-dcc8-4e97-a627-2ff245129607.filesusr.com/ugd/96814c\\_5bb080c048ca43cbb44ce4f6ab3b39947.pdf](https://07992ba4-dcc8-4e97-a627-2ff245129607.filesusr.com/ugd/96814c_5bb080c048ca43cbb44ce4f6ab3b39947.pdf) (дата обращения: 16.10.2020).
3. Демидова О.А., Малахов Д.И. Эконометрика: учебник и практикум. – М.: Юрайт, 2018. – 336 с.
4. Аналитическая платформа Deductor [Электронный ресурс] // Официальный сайт. – URL: <http://deductor.com.ua> (дата обращения: 10.10.2020).

### Сведения об авторах

**Булгаков Олег Сергеевич** – магистрант кафедры «Информационные и измерительные системы и технологии» Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) имени М.И. Платова, Новочеркасск, e-mail: [fastomarko@rambler.ru](mailto:fastomarko@rambler.ru)

**Ковалевский Владимир Николаевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные и измерительные системы и технологии» Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) имени М.И. Платова, Новочеркасск, e-mail: don-server@mail.ru

#### **About the authors**

**Bulgakov Oleg Sergeevich** – Master Student Department of Information and Measuring Systems and Technologies South-Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platova, Novocherkassk, e-mail: fastomarko@rambler.ru

**Kovalevskiy Vladimir Nikilaevich** – Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information and Measuring Systems and Technologies South-Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platova, Novocherkassk, e-mail: reu-perm@yandex.ru

## ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МОДУЛЯ ВИДЕОАНАЛИТИКИ НА ПРЕДПРИЯТИИ

**А.А. Исаев, В.Э. Исаева, А.В. Тарутин**  
Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

Рассматриваются вопросы, касающиеся применения модуля видеоаналитики на предприятии. Обоснована методика использования модуля видеоаналитики и его информационного взаимодействия. Представлена базовая модель видеоаналитики и варианты использования модулей.

**Ключевые слова:** автоматизированное видеонаблюдение; модуль видеоаналитики; сервер видеоаналитики.

## FEATURES OF APPLICATION AUTOMATED VIDEO ANALYTICS MODULE IN THE ENTERPRISE

**A.A. Isaev, V.E. Isaeva, A.V. Tarutin**  
Perm National Research Polytechnic University, Perm

Questions regarding the application of the video analytics module in the enterprise have been reviewed in this article. Method of using the video analytics module and its information interaction have been substantiated. Basic video analytics model and module use cases have been submitted.

**Keywords:** automated video monitoring; video analytics module; video analytics server.

Анализ качественного состава персонала профессионального уровня большой численности не является залогом эффективного производства. По статистике 2019 г. Министерством труда и социальной защиты Российской Федерации было заявлено, что в 2019 г. сохраняется тенденция к снижению уровня травматизма на производстве, а именно за 11 месяцев 2019 г. произошло 4078 несчастных случаев. Это является на 9 %, меньше чем за аналогичный проанализированный период 2018 г. (4479 случаев).

В данный момент отсутствие системы контроля порождает совокупность негативных событий. События в свою очередь могут являться основой для зарождения потенциальных рисков на предприятии, относящихся к определенной категории (рис. 1).

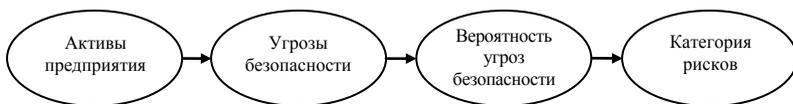


Рис. 1. Процесс зарождения потенциальных рисков

Следовательно, применение систем контроля является одним из важнейших требований безопасности.

Качество продукции, снижение издержек, обеспечение нужных объемов – не единственные задачи, которые стоят перед руководством предприятия.

Безопасность – неотъемлемая часть эффективного бизнеса. Вследствие игнорирования подобных вопросов, это может обернуться определенной категорией ответственности, в частности, юридической и экономической. Установка подобной техники на предприятии не должна противоречить законодательным нормам.

Стандартизированная система видеオフィксации на предприятии может насчитывать более сотни камер. Они устанавливаются по периметру предприятия, на его территории и внутри объекта – с учетом так называемой «мертвой зоны» (рис. 2).

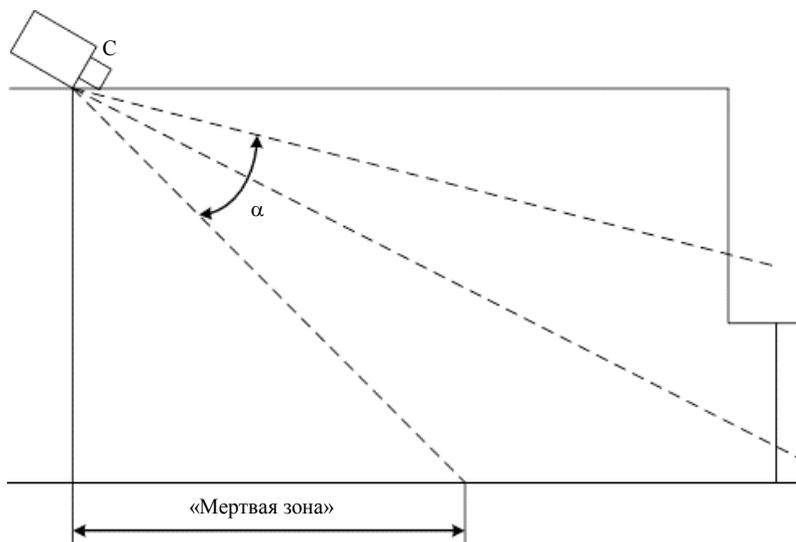


Рис. 2. Схема для расчета «мертвой зоны»

Протяженность данной зоны определяется следующим образом:

$$Z = \frac{S}{2tg\left(\frac{\alpha}{2}\right)}, \quad (1)$$

где  $S$  – ширина отчуждения зоны периметра;  $\alpha$  – величина угла зрения объектива.

Ввиду того, что одному оператору может быть назначено слежение за множеством подконтрольных объектов с учетом подобной зоны, человеческий фактор в свою очередь может вызвать многочисленные негативные последствия нарушения безопасности. Защитная мера, нейтрализующая подобную угрозу безопасности [1] или последствия, это такая запланированная мера, как – видеоаналитика. Данная мера включает в себя, в том числе и организацию контролируемой зоны. На предприятии важно защищать следующие зоны (рис. 3).

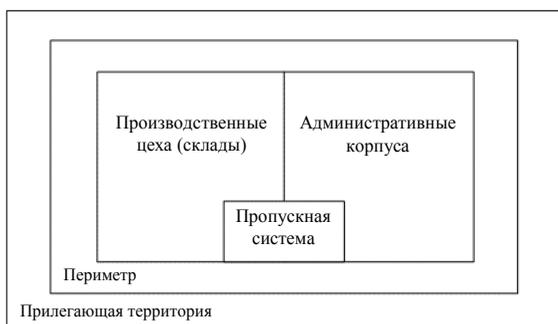


Рис. 3. Рубежи объекта защиты

Как правило, базовая конфигурация видеоаналитики выглядит следующим образом (рис. 4).

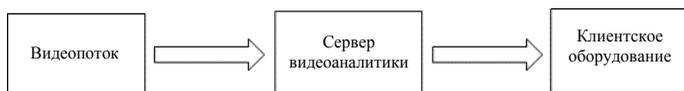


Рис. 4. Базовая модель внедрения видеоаналитики

Анализируя образ модели с учетом информационного взаимодействия, представленной на рис. 4, можно выявить следующее: система берет на себя весомую часть функционала, что позволяет при заданных значениях фильтров уведомлять оператора о возникновении потенциальных рисков на предприятии, относящихся к определенной категории.

Принцип работы заключается в том, что вне зависимости от технологии, использующейся видеокамерой [2], последняя фиксирует движение транспорта и передает запись серверу видеоаналитики. Видеосервер, в свою очередь, записывает поток информации в архив и передает данные серверу видеоаналитики. Сервер видеоаналитики с программой распознавания номеров автомобильного транспорта определяет принадлежность автомобиля к определенной категории списков в базе. Если номер в разрешенном списке, следовательно, сервер видеоаналитики запускает один из сценариев: открытие ворот (шлагбаума).

Эффективность данной модели достигается за счет системы автоматического распознавания номеров автомобильного транспорта с учетом разрешающих или запрещающих списков, фиксирующей их въезд и выезд на контрольно-пропускном пункте. Чтобы исключить проникновение злоумышленника на контролируруемую зону, необходимо преимущественно использовать технологию «Детектор лиц» (рис. 5), предполагающую отображение лица человека на экране оператора с дальнейшим сохранением в архив видеосервера. Это позволяет зафиксировать все необходимые моменты.

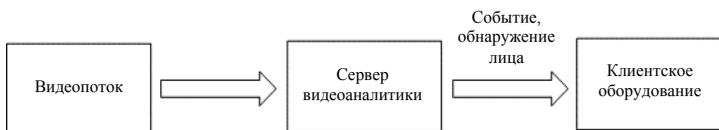


Рис. 5. Модуль «Детектор лица»

Использование «Детектора периметра и пересечения линии» (рис. 6) позволяет обеспечить повышенный контроль территории и станет дополнительным элементом эффективности данной модели. Существует условная граница, в случае приближения к которой оператор получает уведомление на тревожный монитор.

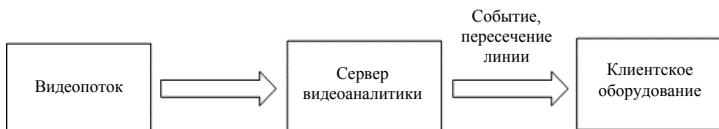


Рис. 6. Модуль «Детектора периметра и пересечения линии»

Таким образом, видеоаналитика формирует оценку эффективности работы производства и в последующем будет являться основополагающим звеном [3].

В результате в статье рассмотрены вопросы, касающиеся применения модуля видеоаналитики на предприятии с учетом обоснования его использования и информационного взаимодействия. Представлена базовая модель видеоаналитики и варианты использования модулей.

### **Библиографический список**

1. ГОСТ Р 51558-2014. Средства и системы охранные телевизионные. Классификация. Общие технические требования. Методы испытаний. – М., 2014.
2. Угрозы систем видеонаблюдения / А.А. Белозерова [и др.] // Вестник науки и образования. – 2017. – № 1(25). – С. 28–30.
3. Кутурга В.В. Интеллектуальная система видеонаблюдения // Научное обозрение. Технические науки. – 2017. – № 1. – С. 75–77.

### **Сведения об авторах**

**Исаев Александр Андреевич** – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: sgtwtirlitss@icloud.com

**Исаева Виктория Эдуардовна** – инженер I категории ЗАО «ИВС–СЕТИ», Пермь, e-mail: visaeva@ivs-corp.ru

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

### **About the authors**

**Isaev Alexandr Andreevich** – Student of Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: sgtwtirlitss@icloud.com

**Isaeva Viktoriya Eduardovna** – Engineer of 1 category ZAO «IVS–SETI», Perm, e-mail: visaeva@ivs-corp.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: itas-pnipu@yandex.ru

## МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ

А.В. Бедарев<sup>1</sup>, А.В. Тарутин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Пермский военный институт войск национальной гвардии  
Российской Федерации, Пермь

<sup>2</sup>Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

В данной статье рассмотрены аспекты основные методы и средства защиты информации на примере крупной организации. Обоснована структура специализированного центра. Выделены функции, которые может обеспечить такой центр.

**Ключевые слова:** защита информации; методы защиты информации; средства защиты информации; персональные данные.

## METHODS AND MEANS OF INFORMATION PROTECTION IN AUTOMATED SYSTEMS

A.V. Bedarev<sup>1</sup>, A.V. Tarutin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Perm Military Institute of the National Guard  
of the Russian Federation, Perm

<sup>2</sup>Perm National Research Polytechnic University, Perm

This article discusses aspects of the main methods and means of information security on the example of a large organization. The structure of the specialized center is justified. The functions that such a center can provide are highlighted.

**Keywords:** information protection; methods of information protection; means of information protection; personal data.

Информация считается одним из богатств любой страны, её стратегическим национальным ресурсом. Масштабная информатизация повышает мобильность, комфорт и даёт множество удобств населению, но в то же время делает государство более уязвимым, так как у врагов появляется возможность воздействовать на важнейшую для жизни людей инфраструктуру. Таким образом, защита информации и информационных процессов, технологий, сред становится стратегически важным направлением деятельности государства.

Информационная безопасность – это все аспекты, связанные с определением, достижением и поддержанием конфиденциальности, целостности, доступности, безотказности, подотчётности, аутентичности и достоверности информации и средств её обработки.

Данное понятие является обширным и может иметь несколько трактовок. Если отследить действия правительства и принимаемые законы, можно сделать вывод, что в масштабах государства под информационной безопасностью понимается обеспечение состояния безопасности национальных интересов страны, жизненно важных интересов личности, общества и государства в информационной сфере от внешних и внутренних угроз [1].

Безопасность данных (информации) – это состояние данных (информации), при котором обеспечены их (её) доступность, целостность и конфиденциальность.

Защита информации – это комплекс мер, направленных на обеспечение безопасности [2].

Таким образом, безопасность можно считать состоянием объекта, и тогда защитой будет являться деятельность, направленная на обеспечение такого состояния.

Информационная безопасность важна не только в масштабах государства, но и в масштабах каждого человека. Все мы имеем персональные данные, которые в руках других людей могут нанести нам ущерб материальный, психологический или даже физический. Обеспечение личной информационной безопасности является ответственностью самого человека. Поэтому важно иметь фундаментальные знания в этой области.

Методы (они же способы) – это порядок и правила применения определённых принципов и средств защиты информации.

При обеспечении защиты информации допустимо, а порой необходимо использовать сразу несколько методов. Методы делятся на два подвида:

- правовые (составляют легитимную основу построения и использования системы защиты);
- организационные (связанные с непосредственным воздействием на элементы системы защиты).

Защита информации (ЗИ) обеспечивается с помощью различных средств. А метод определяет порядок, в котором используются эти средства.

Средство ЗИ – это техническое, программное средство, вещество или материал, предназначенные или используемые для защиты информации [3].

Следует заметить, что правовые способы осуществляются строительством нормативной базы. На уровне государства есть определенный перечень необходимых для этого действий:

- выработка государственной политики безопасности в информационной сфере;
- законодательно определить правовой статус информации, систем защиты информации, ИВС, владельцев информации и т.д.;
- создать структуру государственных органов в иерархическом порядке, которые будут работать над политикой безопасности;
- создание системы стандартизации, лицензирования и сертификации в области информационных технологий;
- обеспечение приоритетного развития отечественных защищённых информационных технологий;
- повышение уровня образования граждан в информационной сфере, воспитания у них патриотизма и бдительности;
- установление ответственности граждан за нарушение законодательства в информационной сфере.

Данный перечень позволяет наладить правовое регулирование в области информационных технологий.

Маскировка – это способ защиты информации, направленный на её криптографическое преобразование с целью скрыть от злоумышленника.

Маскировка может использоваться как при передаче информации по открытой или уязвимой сети, так и при её хранении на носителе или устройстве обработки. В первую очередь при маскировке используют криптографические средстваЗИ, которые шифруют информацию [4].

Препятствие – это способЗИ, при котором создаётся барьер на пути дестабилизирующего фактора.

Дестабилизирующим фактором может являться злоумышленник, вредоносное ПО, события и др. При создании препятствия посторонние воздействия на объект становятся невозможными или значительно затрудняются. Препятствия могут быть выстроены как на физическом пути, так и на логическом, таким образом, здесь применяются криптографические средстваЗИ (КСЗИ) и средства физическойЗИ [5].

Например, препятствие в виде замка – средство физической защиты, а пароль при входе в систему – КСЗИ.

Комплексом, включающим в себя вышеперечисленные методы и средства защиты информации, может являться Центр информационных технологий, связи и защиты информации (ЦИТСиЗИ), основными функциями которого являются:

1. Организация системы связи и обеспечение ее бесперебойной и безошибочной эксплуатации.

2. Обеспечение функционирования автоматизированных информационных систем, а также, в случае развития, – целостной структуры информационно-аналитического обеспечения предприятия.

3. Осуществление специальных мер по препятствованию техническим разведкам по вопросам защиты информации.

4. Создание условий работы в среде шифрованной связи с соблюдением требований безопасности.

5. Создание целостной системы в рамках ведомственных и межведомственных программ по расширению функционала Центра:

- здание ЦИТСиЗИ в каждом городе страны;
- крупный ЦОД 4-го уровня сертификации (tier 4);
- использование сертифицированных ФСТЭК программно-аппаратных комплексов;
- VPN;
- пропускная система на объектах;
- запрет использования USB-накопителей;
- отсутствие WI-FI;
- отдел технической поддержки.

Состав способов защиты информации, позволяющий обеспечить защиту информации от выявленных угроз в зависимости от указанного класса защищенности на каждом объекте:

- маскировка информации;
- препятствия на пути злоумышленника;
- мотивация (побуждение);
- принуждение;
- регламентация доступа к информации;
- управление силами и средствами защиты.

Состав применяемых средств защиты информации информационной системы:

- средство физической ЗИ (пропускная система – турникет с охранным отделом, сейфы и железные двери в особо охраняемые помещения);
- криптографическое средство ЗИ («Криптон», «Криптопровайдер», «КриптоПро CSP»);
- организационные средства (выплата премий, наличие системы штрафов, проведение плановых совещаний с инструктажем);
- средства антивирусной защиты (Kaspersky Endpoint Detection and Response);
- программно-аппаратные средства («Рубикон» – выполняет функции МЭ, СОВ, маршрутизатора);
- VPN («Континент»);
- DLP («СёрчИнформ КИБ»);
- SIEM («СёрчИнформ SIEM»).

Таким образом, можно сделать вывод, что информация является одним из важнейших ресурсов организации и страны в целом.

Особенно в наше время, когда почти у каждого человека имеется своя страница в социальной сети и электронной почте, скрывающие индивидуальную информацию о человеке: его личные данные, номера телефонов, историю в браузерах, банковские реквизиты, а также какую-либо информацию о друзьях, коллегах и семье, которая не должна выйти на широкое обозрение общественности.

Можно сказать, что в нашем информационном XXI в. вся жизнь человека находится во всемирной паутине. Если не обеспечить должного уровня защиты всех вышеперечисленных аспектов информации, то в руках злоумышленника это может являться мощнейшим оружием и может нанести моральный, материальный и иной вид ущерба.

Именно поэтому защита информации и технологий выступает как наиболее стратегически важное направление деятельности специалистов соответствующего ведомства.

Ведь прогресс не стоит на месте и в мире появляются всё новые и новые методы, средства и способы обхода барьеров, криптографических преобразований с целью хищения важной стратегической информации.

В ответ на это методы и средства защиты модернизируются в соответствующем органе с целью не допустить посторонних лиц к секретным сведениям, которые могут нанести непоправимый вред государству и проживающему в нем населению в целом.

Подобный орган защиты информации был представлен в настоящей статье.

## Библиографический список

1. Об информации, информационных технологиях и о защите информации: Федеральный закон от 27.07.2006 № 149-ФЗ. – М., 2006.
2. Безбогов А.А., Яковлев А.В., Шмаков В.Н. Методы и средства защиты компьютерной информации: учебное пособие. – Тамбов: Из-во ТГТУ, 2006. – 196 с.
3. Данилов А.Н., Данилова С.А., Зорин А.А. Основы информационной безопасности: учебное пособие. – Пермь: Из-во ПГТУ, 2008. – 556 с.
4. ГОСТ 34.003-90. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения. – М., 1990.
5. ГОСТ Р 50922-2006. Государственный стандарт Российской Федерации. Защита информации. Основные термины и определения. – М., 2006.

## Сведения об авторах

**Бедарев Артём Викторович** – курсант Пермского военного института войск национальной гвардии Российской Федерации, Пермь, e-mail: onea\_1@mail.ru

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

## About the authors

**Bedarev Artyom Victorovich** – Cadet of Perm military Institute of the national guard of the Russian Federation, Perm, e-mail: onea\_1@mail.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: itas-pnpu@yandex.ru

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОНВЕРСИИ ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА В ЖИДКИЕ УГЛЕВОДОРОДЫ

**В.В. Быкова, Н.С. Белинская**

Национальный исследовательский  
Томский политехнический университет, Томск

В данной статье освещается потенциал преобразования попутного нефтяного газа в жидкие углеводороды с целью рационализации использования природных ресурсов. Проведен термодинамический анализ реакций, протекающих в процессе конверсии попутного нефтяного газа. Составлена формализованная схема превращений попутного нефтяного газа на цеолитном катализаторе.

**Ключевые слова:** попутный нефтяной газ; ароматические углеводороды; конверсия.

## MATHEMATICAL MODELING OF THE PROCESS OF ASSOCIATED PETROLEUM GAS CONVERSION INTO LIQUID HYDROCARBONS

**V.V. Bykova, N.S. Belinskaya**

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk

This article shows the potential for converting of associated petroleum gas into liquid hydrocarbons for the rational use of natural resources. Thermodynamic analysis of the reactions passing in the associated petroleum gas conversion process has been carried out. A formalized scheme of associated petroleum gas conversions on a zeolite catalyst has been drawn up.

**Keywords:** associated petroleum gas; aromatic hydrocarbons; conversion.

Ввиду своего вклада в выбросы парниковых газов нефтепереработка относится к числу секторов, включенных в систему торговли выбросами European Commission [1]. Сжигание газа является источником летучих органических соединений, CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, полиароматических углеводородов, NO<sub>x</sub> (оксиды азота) и сажи, являющихся веществами, загрязняющими окружающую среду, которые прямо и косвенно влияют на климатические процессы Земли. В связи с этим новые экологические нормы вынуждают нефтяную отрасль внедрять инновационные технологии.

Процессы нефтедобычи и нефтепереработки оказывают сильное воздействие на окружающую среду из-за значительного количества попутного нефтяного газа, сжигаемого на факелах [2, 3].

Объектом исследования является процесс конверсии попутного нефтяного газа в жидкие углеводороды.

На сегодняшний день актуальными являются исследования с применением математических моделей, разработанных на основе термодинамических и кинетических закономерностей процесса.

Метод исследования процесса конверсии попутного нефтяного газа в жидкие углеводороды – метод математического моделирования.

Целью данной работы является освещение потенциала преобразования попутного нефтяного газа в жидкие углеводороды, которые могут стать альтернативным источником для производства ценного нефтехимического сырья, при одновременном снижении выбросов  $\text{CO}_2$ , а также математическое моделирование конверсии попутного нефтяного газа в жидкие углеводороды на основании термодинамических расчетов и физико-химических закономерностей процесса.

На первом этапе создания математической модели был проведен термодинамический анализ реакций, протекающих в данном процессе. Расчет термодинамических характеристик был проведен с использованием квантово-химических методов расчёта (теории функционала плотности). Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Термодинамические параметры реакций процесса  
(при 520 °С, 1,2 МПа)

№ п/п	Реакции	$\Delta H$ , кДж/моль	$\Delta G$ , кДж/моль
1	Олигомеризация: 2 Парафины $\text{C}_{1-2} \rightarrow$ Парафины $\text{C}_{3-5} + 2\text{H}_2$	184,45	-28,0
2	Парафины $\text{C}_{3-5} \rightarrow$ Олефины + Парафины $\text{C}_{1-2}$	69,52	-27,0
3	$\text{C}_{3-5} \rightarrow$ Ароматические УВ ( $\text{C}_6\text{-C}_{12}$ ) + $4\text{H}_2$ + Парафины $\text{C}_{1-2}$	274,15	-65,0
4	6 Олефины $\rightarrow$ Ароматические УВ ( $\text{C}_6\text{-C}_{12}$ ) + (2-3) $\text{H}_2$	-248,0	-101,0
5	Полимеризация: Ароматические УВ $\rightarrow$ Полиароматические УВ	-94,84	-291,6
6	Образование кокса: Полиароматические УВ $\rightarrow$ Коронен + $\text{H}_2$	-87,3	-97,5

Далее на основании литературных источников и термодинамических параметров реакций была составлена формализованная схема превращений попутного нефтяного газа на цеолитном катализаторе (рисунок).

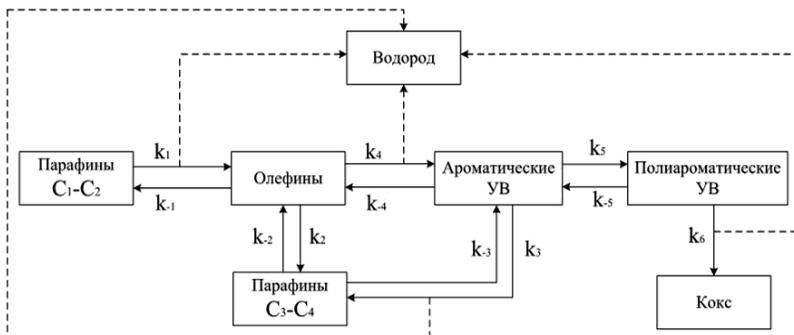


Рис. Формализованная схема превращений попутного нефтяного газа на цеолитном катализаторе: парафины  $C_1-C_2$  – углеводороды с количеством атомов углерода в молекуле 1 и 2; парафины  $C_3-C_5$  – углеводороды с количеством атомов углерода в молекуле 3–5; ароматические УВ – ароматические углеводороды; полиароматические УВ – полиароматические углеводороды;  $k_1-k_6$  – константы скоростей прямых реакций;  $k_{-1}-k_{-5}$  – константы скоростей обратных реакций

Разработанная схема превращений стала основой для кинетической модели исследуемого процесса.

Система уравнений кинетической модели:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dC_{1-2}}{dt} = -2W_1 + 2W_{-1} + W_3 + W_2, \\ \frac{dC_{3-5}}{dt} = -W_2 + W_{-2} - W_3 + W_{-3}, \\ \frac{dC_{\text{олефин}}}{dt} = 4W_1 - 4W_{-1} - 4W_4 + 4W_{-4} + 4W_2 - 4W_{-2}, \\ \frac{dC_{\text{арУВ}}}{dt} = -W_5 + W_4 + W_3 - W_{-3} - W_{-4}, \\ \frac{dC_{\text{H}_2}}{dt} = W_1 + W_3 + W_4, \\ \frac{dC_{\text{ПАУ}}}{dt} = -W_6 + W_5 - W_{-5}, \\ \frac{dC_{\text{КОКС}}}{dt} = W_6. \end{array} \right. \quad (1)$$

Уравнения скоростей реакций приведены в табл. 2.

## Уравнения скоростей реакций

№ п/п	Прямая реакция	Обратная реакция
1	$W_1 = k_1 \cdot C_{1-2}^2$	$W_{-1} = k_7 \cdot C_{H_2}^2 \cdot C_{3-5}$
2	$W_2 = k_2 \cdot C_{3-5}$	$W_{-2} = k_8 \cdot C_{\text{олефин}} \cdot C_{1-2}$
3	$W_3 = k_3 \cdot C_{3-5}$	$W_{-3} = k_9 \cdot C_{\text{АрУВ}} \cdot C_{H_2} \cdot C_{1-2}$
4	$W_4 = k_4 \cdot C_{\text{олефин}}^4$	$W_{-4} = k_{10} \cdot C_{\text{АрУВ}} \cdot C_{H_2}$
5	$W_5 = k_5 \cdot C_{\text{АрУВ}}$	$W_{-5} = k_{11} \cdot C_{\text{ПАУ}}$
6	$W_6 = k_6 \cdot C_{\text{ПАУ}}$	

Данная работа имеет практическое значение для реализации промышленного процесса конверсии попутного нефтяного газа в жидкие углеводороды на цеолитных катализаторах, что, в свою очередь, решает проблемы нецелесообразного и экономически неэффективного использования ценного природного ресурса.

## Библиографический список

1. Mo J.L., Zhu L., Fan Y. The impact of the EU ETS on the corporate value of European electricity corporations // Energy. – 2012. – Vol. 45, № 1. – P. 3–11.
2. Акрамов Т.Ф., Яркеева Н.Р. Рациональное использование попутного нефтяного газа // Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКАР. – 2019. – № 1. – С. 68–77.
3. Кириллов В.А., Собянин В.А., Снытников П.В. Технология переработки попутных нефтяных газов малоресурсных и малонапорных нефтяных месторождений в метановодородные смеси и товарный природный газ // Нефть. Газ. Новации. – 2014. – № 8. – С. 68–75.

## Сведения об авторах

**Быкова Виолетта Витальевна** – бакалавр Национального исследовательского Томского политехнического университета, Томск, e-mail: violetta.gneusheva@gmail.com

**Белинская Наталия Сергеевна** – кандидат технических наук, доцент отделения химической инженерии Национального исследовательского Томского политехнического университета, Томск, e-mail: belinskaya@tpu.ru

## About the authors

**Bykova Violetta Vitalievna** – Student of National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: violetta.gneusheva@gmail.com

**Belinskaya Natalia Sergeevna** – Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor of the division for chemical engineering National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: belinskaya@tpu.ru

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ СОЗДАНИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ ВЕБ-САЙТА

**И.Е. Кинёв, А.В. Тарутин, Д.В. Яруллин**  
Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

В данной статье будет рассмотрен принцип работы существующей информационной системы кафедры ИТАС, проанализирована ее работа, выявлены ее положительные и отрицательные аспекты. Рассмотрены технологии для создания инфраструктуры веб-сервера.

**Ключевые слова:** информационные технологии; инфраструктура веб-сервера; контейнерная виртуализация; базы данных.

## RESEARCH OF TECHNOLOGIES FOR CREATING A WEBSITE INFRASTRUCTURE

**I.E. Kinev, A.V. Tarutin, D.V. Yarulin**  
Perm National Research Polytechnic University, Perm

This article will examine the principle of operation of the existing ITAS department information system, analyze its work, and identify its positive and negative aspects. The technologies for creating a web server infrastructure are considered.

**Keywords:** information technology; web-server infrastructure; container virtualization; database.

На данный момент большинство компаний, предприятий и учебных заведений используют веб-сайты для организации своих бизнес-процессов. Это позволяет быстро предоставлять информацию другим людям, оптимизировать процесс работы, выстраивать взаимодействие компании с клиентами и заказчиками и т.д. Так как сайты все время усложняются, встает вопрос о создании такой инфраструктуры, которая позволила бы:

- быстро и легко масштабировать размеры сайта,
- иметь возможность быстрого разворачивания системы,
- иметь независимые модули для разработки приложения.

В ПНИПУ на кафедре ИТАС имеется сайт для размещения новостей, информации о студентах, учителях и т.д. В текущей его реализации он плохо оптимизирован и имеет старый дизайн, который нужно

перерабатывать с помощью нового стека технологий. Поступила потребность в создании нового сайта на основе старого, с обновленным функционалом и дизайном. Для разработки нового сайта нужно настроить инфраструктуру, в которой он будет находиться, в частности, спроектировать и создать базу данных для информации сайта, выбрать и установить веб-сервер на котором он будет работать, настроить систему для быстрого и удобного способа развертывания проекта.

Веб-сайт кафедры ИТАС предоставляет собой место, где выкладывается актуальная информация для таких групп пользователей, как:

- студенты,
- преподаватели,
- руководство кафедры и института в целом,
- работодатели,
- абитуриенты.

Это основные пользователи системы, которые обмениваются информацией. Схема их взаимодействий показана на рисунке, описание сущностей – в таблице.

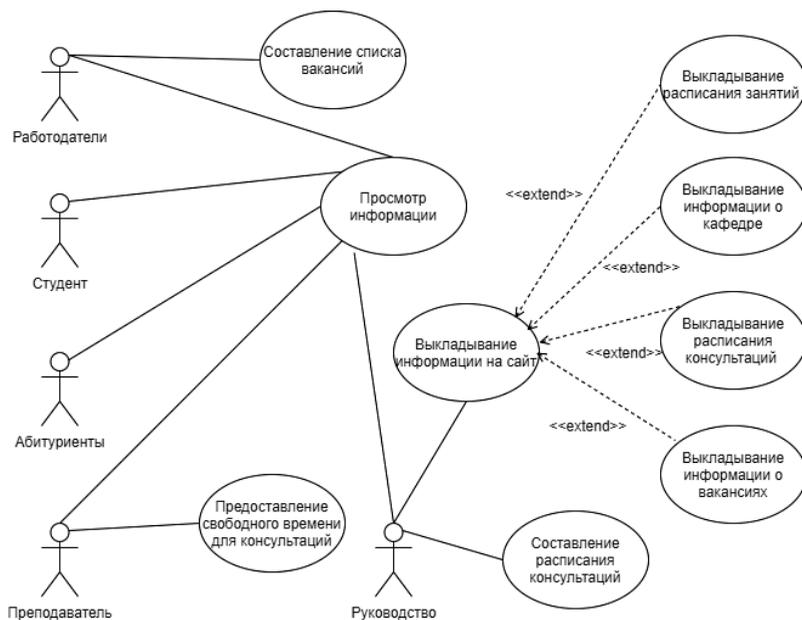


Рис. Диаграмма прецедентов информационной системы кафедры ИТАС

## Описание сущностей и их действий

Наименование сущности	Действия
Руководство	Составляет расписание занятий и публикует его на сайте, благодаря чему студенты групп, учащихся на кафедре, могут быстро узнать его. Также выкладывает все информацию, поступающую от преподавателей, работодателей
Студент	Просматривает информацию, которую выложило руководство, в частности, расписание занятий и консультаций своей группы, новости кафедры и ее научная деятельность, вакансии, предложенными работодателями
Работодатель	Ищет себе работников, составляя список вакансий и отправляя его на рассмотрение руководству, которое в свою очередь должно согласовать и выложить информацию о вакансиях на сайт для просмотра их студентами
Преподаватель	На основе времени свободного, от преподавания, составляет дни и время, когда он может провести консультацию. Эту информацию передает руководству, которое составляет расписание консультаций и выкладывает его на сайт
Абитуриент	Хочет узнать информацию про кафедру и решить для себя, поступать на то или иное направление, или нет

Как видно из рисунка и таблицы, информационная система выступает неким хранилищем данных. Все пользователи, которые ею пользуются, получают или выкладывают информацию, что позволяет объединить и разместить ее на одном сайте.

Функции, которые выполняет данная система:

- хранит актуальную информацию по расписанию занятий и консультаций, которую можно посмотреть любому пользователю,
- позволяет находить новые кадры в компании и получать возможность устроится на работу студентам благодаря выкладыванию вакансий от работодателя на сайте,
- информировать пользователей о научных работах кафедры,
- знакомить абитуриента с мероприятиями и научной деятельностью, происходящей на кафедре ИТАС.

Плюсы существующей системы:

- легкость пользования сайтом;
- строгая структура сайта, позволяющая не теряться пользователю в интерфейсе, тот, кто хотя бы немного пользовался сайтом «Википедия», сразу поймёт, что и где находится;
- простая разработка сайта, благодаря движку mediaWiki. Не нужно писать много кода, так как большинство функций для работы веб-сайта уже реализовано в движке.

Минусы существующей системы:

- плохая масштабируемость сайта, потому что движок mediaWiki заточен под определенную структуру верстки веб-страниц, из-за чего возникают сложности реализации нового функционала, например создания блога для студентов и учителей;

- нет возможности взаимодействия нескольких пользователей одновременно.

Для исправления этих минусов было решено исследовать нужные технологии создания инфраструктуры веб-сервера и выбрать из них те, которые больше всего подходят под поставленные задачи.

Технология контейнерной виртуализации. В основе этой архитектуры стоят контейнеры. Они похожи на виртуальные машины, но у них есть свойства изоляции для совместного использования операционной системы (ОС) между приложениями. Теперь не нужно создавать много весящие виртуальные машины, так как все контейнеры работают на одной операционной системе, имеют собственную файловую систему, процессор, память, пространство процесса, не зависящие от ресурсов или архитектуры хоста, на котором они работают\*.

Для нашей информационной системы, которая уже спроектирована не нужно сосредотачиваться на бизнес-логике а нужно эту систему масштабировать. Для этого подходит лучше всего технология контейнерной виртуализации, так как она помогает быстро и легко, во-первых, разворачивать систему без особ сильных усилия для маленьких и средних программ, во-вторых, предоставляет хорошие возможности для масштабирования системы.

Для хранения и структурирования информации на веб-сайте кафедры ИТАС мы будем использовать реляционную модель базы данных, в частности такую БД, как MySQL с СУБД mariaDB. Это позволит быстро спроектировать концептуальную и физическую модели предметной области, благодаря простоте и гибкости использования реляционных баз данных и удобному способу управления данными с помощью структурированного языка запросов (SQL).

Чтобы опубликовать веб-сайт кафедры ИТАС в интернете мы будем использовать http-сервер, который называется NGINX. Его исполь-

---

\* Что такое Kubernetes [Электронный ресурс]: сайт компании Kubernetes // kubernetes.io URL: <https://kubernetes.io/ru/docs/concepts/overview/what-is-kubernetes> (дата обращения: 30.05.2020).

зуют большинство таких крупных компаний, как Яндекс, DropBox, Wordpress, так как в нем заложена очень хорошая масштабируемость из «коробки», при этом он может выдерживать высокую нагрузку, когда множество пользователей заходят на сайт одновременно.

### **Сведения об авторах**

**Кинёв Игорь Евгеньевич** – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: killprodua@gmail.com

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

**Яруллин Денис Владимирович** – аспирант кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: d.v.yarullin@gmail.com

### **About the authors**

**Kinev Igor Yevgenyevich** – Student of Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: killprodua@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: itas-pnpu@yandex.ru

**Yarulin Denis Vladimirovich** – Graduate Student of the Information Technologies and Automated Systems department Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: d.v.yarullin@gmail.com

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГОЛОСОВЫХ УПРАВЛЕНИЙ ПОД ПЛАТФОРМУ ANDROID ДЛЯ ТВ-ПРИСТАВКИ

**А.С. Субботин, А.А. Петренко, А.В. Тарутин**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

В данной статье проведено исследование способов голосовых управлений под платформу Android для ТВ-приставки. Предложен и рассмотрен способ управления с помощью пульта для ТВ-приставки. Рассмотрена реализация данного способа.

**Ключевые слова:** управление; способ управления; голос; ТВ-приставка; android; текст.

## RESEARCH OF VOICE CONTROLS FOR THE ANDROID PLATFORM FOR STB

**A.S. Subbotin, A.A. Petrenko, A.V. Tarutin**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

In this article, a study of voice control methods for the android platform for a TV set-top box is conducted. A method of control using a remote control for a TV set-top box is proposed and considered. The implementation of this method is considered.

**Keywords:** control; control method, voice; set-top box; android; text.

На данном этапе управление ТВ-приставками осуществляется при помощи кнопочного пульта, а это обладает рядом недостатков:

- сложная система навигации по каталогам приставки;
- долгий ввод текста при помощи пульта;
- затруднительное чтение текста маленького размера.

Решение данных проблем при помощи пульта вызывает сложности из-за аппаратного устаревания самого пульта. Навигация при помощи кнопок вносит большое количество ограничений на пользовательский интерфейс. Любая модификация самого пульта затруднительна из-за сложного процесса производства, долгого проектирования и огромной стоимости.

В данной работе рассматривается решение обозначенных выше проблем путём внедрения модуля голосового управления в ТВ-приставку на базе ОС Android.

Основная проблема, которая может возникнуть без автоматизации при помощи модуля голосового управления, это потеря большой части клиентов.

Поэтому без автоматизации навигации по приложению и ТВ-приставки в целом на сегодняшний день клиенты не обходятся. Любое улучшение приводит к повышению продуктивности приложения и ТВ-приставки в целом, а также ведет к повышению финансовой прибыли. В нашем случае автоматизация будет касаться вопроса о реализации модуля голосового управления. Диаграмма модуля голосового управления изображена на рис. 1.

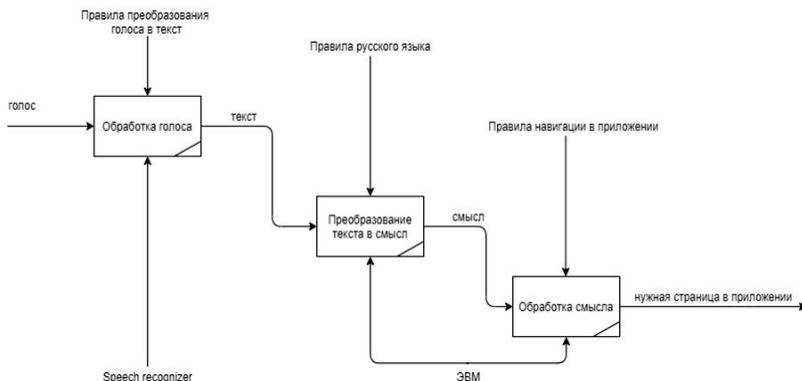


Рис. 1. Диаграмма модуля голосового управления

Рассмотрим основные понятия в данном голосовом управлении:

- голос – звуки, которые пользователь произнес в микрофон,
- текст – текст для анализа на русском языке,
- смысл – семантическая единица, описывает смысл текста в формальной форме.

На первом этапе голос пользователя преобразуется в текст, затем текст преобразуется в смысл. После того как получен смысл, его необходимо обработать и открыть нужную страницу в приложении.

*Системы реализации.* Рассмотрим основные требования, которые стоят перед нашей системой:

- масштабируемость – возможность расширения и доработки системы;
- автономность – независимость от посторонних программных продуктов;

– быстроедействие – возможность работы с большим объемом данных;

– целостность – возможность поддерживать единую информационную инфраструктуру;

– работа со всей ТВ-приставкой – возможность работы не только с приложением Movix, но и со все приставкой в целом.

Для нашей задачи наиболее подходят две возможные системы, а именно: Google Assistant и Speech Recognizer и переопределение Google Assistant». У каждой системы есть свои плюсы и минусы. Рассмотрим каждую из них отдельно.

Google Assistant – облачный сервис персонального ассистента, разработанный компанией Google и представленный на презентации Google I/O 18 мая 2016 г. Он считается продолжением более раннего Google Now, но в нем появилась возможность участия в двухсторонних переговорах. Помощник может использоваться в смартфонах, также он включен в Google Allo – приложение для мгновенного обмена сообщениями, Google Home – умный голосовой Wi-Fi-динамик для управления вашим домом, Android Wear – умные часы от Google.

На всех ТВ-приставках, сделанных на Android TV, есть встроенный google assistant, который разработан компанией Google. Для вызова ассистента необходимо нажать соответствующую кнопку на пульте (рис. 2).



Рис. 2. Кнопка Google Assistant

Для использования Google Assistant необходимо прописать действия (action), которые умеет обрабатывать наше приложение, причем действия должны быть уникальны для каждого приложения. Например: «Включи фильм “Терминатор”» – неправильный вариант.

«Включи фильм “Терминатор” в Movix» – правильный вариант. За все управления action и словами пользователя отвечает Google Assistant, который запускает необходимую пользователю страницу в нашем приложении (рис. 3) [1].

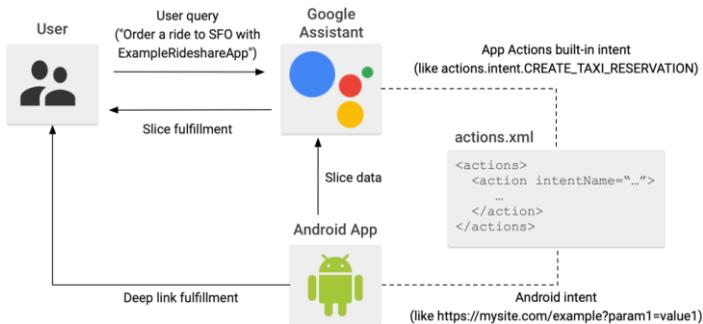


Рис. 3. Модель взаимодействия с GA

Данный подход имеет ряд плюсов:

- Android был сделан компанией Google, как и сам Assistant;
- простой для пользователя способ вызова ассистента;
- есть официальная документация по GA SDK;
- можно управлять не только приложением, но и приставкой в целом;

– Google Assistant бесплатный.

Но наряду с этим существуют и недостатки, в силу которых невозможно выбрать данный подход. Среди недостатков можно отметить:

- отсутствие русифицированного ассистента;
- отсутствие возможности собирать аналитику;
- наше ТВ-приложение не в приоритете в выборе.

Таким образом, ввиду таких весомых недостатков данный подход не может быть выбран.

Рассмотрим следующий способ – «Speech Recognizer и переопределение Google Assistant».

Основные ее особенности это:

- суть данного способа заключается в анализе намерения (intent), которое отправляется системе Android при нажатии кнопки Google Assistant. Необходимо перехватить это намерение, обработать нашим приложением, а далее запустить стандартный в Android speech recognizer для перевода голоса в текст;

– Google Assistant шлёт системе Android намерение (intent) с действиями (action): `Android.intent.action.ASSIST`, который очень легко переопределить для нашего приложения, а далее запустить обычный `speech recognizer`, после чего к нам в руки попадёт текст, который произнес пользователь, а мы его уже можем обрабатывать по своему усмотрению [1, 2].

Плюсы данного способа очевидны:

- возможность собирать аналитику;
- `Speech Recognizer` русифицирован;
- политикой компании Google не запрещено переопределять этот action;

- вызывается при помощи стандартной кнопки Google Assistant;
- наше приложение всегда будет в приоритете.

Но данный подход имеет так же ряд недостатков:

- работает, если приложение системное, т.е. вшито в прошивку;
- переопределяя Google Assistant, он должен быть полноценным помощником не только в рамках приложения Movix, а в рамках всей системы в целом. Несмотря на недостатки, данный способ можно считать эффективным. Проведем сравнительный анализ, он отображен в таблице.

### Сравнение систем

Параметры	Google Assistant	Speech Recognizer и переопределение Google Assistant
Стоимость	Бесплатно	Бесплатно
Есть на русском языке	Нет	Да
Разрешено компанией Google	Да	Да
Возможность сбора аналитики	Нет	Да
Сложность разработки	Средняя	Сложная
Приоритет приложения Movix	Нет	Да
Быстродействие	Быстро	Быстро

Для наших целей данный способ подходит полностью, единственным ее минусом по сравнению с прошлой системой это сложность разработки. Но так как есть простые способы его решения, то данным минус несущественен.

### Библиографический список

1. Google Assistant [Электронный ресурс]. – URL: <https://developers.google.com/assistant/app> (дата обращения: 09.04.2020).

2. Android [Электронный ресурс]. – URL: <https://developer.android.com/reference/android/speech/SpeechRecognizer> (дата обращения: 09.04.2020).

### **Сведения об авторах**

**Субботин Александр Сергеевич** – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: sashenkaasss@gmail.com

**Петренко Александр Анатольевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: itas-pnpu@yandex.ru

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

### **About the authors**

**Subbotin Alexander Sergeevich** – Student of Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: sashenkaasss@gmail.com

**Petrenko Alexander Anatolyevich** – Ph. D. in Technical Sciences, associate professor of the Information Technologies and Automated Systems department Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: itas-pnpu@yandex.ru

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

## ЛОКАЛИЗАЦИЯ АВТОНОМНОГО МОБИЛЬНОГО РОБОТА С ПОМОЩЬЮ МОНОКУЛЯРНОЙ КАМЕРЫ

**Д.С. Кручинин, О.В. Гончаровский**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

В статье рассматривается применение видеокамер для решения задачи локализации мобильного робота. Были рассмотрены доступные программные инструменты и библиотеки для построения систем локализации с использованием видеокамер. Приведен пример реализации Visual SLAM метода локализации.

**Ключевые слова:** ARCore; OpenVSLAM; системы позиционирования; автономный мобильный робот; техническое зрение; монокулярная камера; локализация.

## LOCALIZATION OF THE AUTONOMOUS MOBILE ROBOT BY THE MONOCULAR CAMERA

**D.S. Kruchinin, O.V. Goncharovsky**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

The article deals with the camera application for solving mobile robot localization problem. Available program instruments and libraires was considered. There is an example of Visual SLAM localization method implementation.

**Keywords:** ARCore; OpenVSLAM; positioning systems; autonomous mobile robot; computer vision; monocular camera; localization.

Для автономных мобильных роботов навигация имеет большое значение, поскольку каждая задача требует перемещения робота между разными позициями. Навигацию можно разделить на несколько отдельных задач: локализация, обход препятствий, планирование пути. Безопасной и эффективной навигации способствует возможность локализовать себя в пространстве. Обычно локализация осуществляется путем оценки пройденного расстояния и по характерным точкам на местности.

Распространенный способ перемещения для мобильных роботов – колеса, таким образом, основным алгоритмом для локализации является одометрия, где энкодер колеса используется для расчета положения в пространстве. Шумы измерений, механические дефекты

приведут к ошибочной оценке местоположения, и если оценки не будут исправлены с помощью независимого источника, то ошибка одометрии будет накапливаться.

Независимым источником могут служить такие технологии, как LiDAR, Indoor GPS, GPS, и прочее. Все они имеют различные недостатки. LiDAR является очень дорогой технологией, GPS имеет большую погрешность, что важно, так как основные задачи мобильные роботы выполняют внутри помещений. Тут подходит вариант использования Indoor GPS, который требует установки специальных маячков для триангуляции робота, однако, если помещение большое и имеет множество комнат, или же окружающая среда способна мешать работе маячков, то такой вариант не подходит. В связи с этим особый интерес вызывают визуальные способы локализации, осуществляемые посредством различных камер и обработки изображения.

Визуальный способ локализации имеет более дешевую стоимость по сравнению с другими техническими средствами, но и содержит ряд недостатков. Недостатком является зависимость качества оценки местоположения от качества получаемой картинка, которая, в свою очередь, зависит от качества освещения окружения, искажений на линзах камеры, наличия движущихся объектов. Однако алгоритмы по обработке изображений в настоящее время ушли далеко вперед и позволяют корректировать и обрабатывать изображение при сравнительно невысоких вычислительных мощностях.

В данной работе будет использоваться именно визуальный способ локализации. Поток изображений получим из монокулярной камеры в серых цветах для уменьшения нагрузки на систему обработки изображений и объема выделяемой памяти.

Под визуальный способ локализации подходит Visual SLAM-методы. SLAM – это метод одновременной локализации и построения карты в неизвестном пространстве. Отличие обычного SLAM от Visual SLAM заключается в другом типе входных данных и в специфических методах их обработки. Если говорить кратко, то суть метода Visual SLAM заключается в заборе изображения с камеры, далее на изображении находятся характерные точки. На следующем изображении находятся точки, которые были на предыдущем изображении, и по их разнице в местоположении находится текущая позиция (рис. 1). Алгоритм решает, является ли кадр ключевым по набору признаков изображения, и в зависимости от его решения обновляется карта местности и положение робота в пространстве [1].

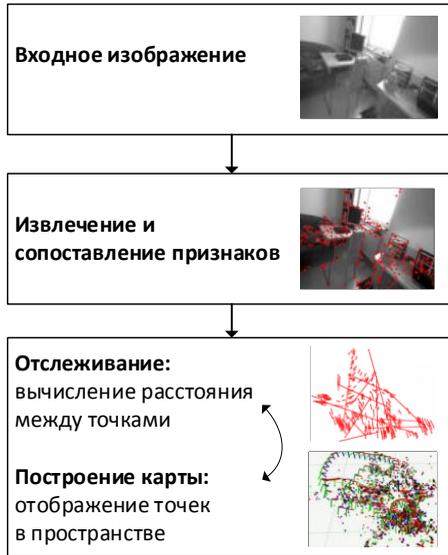


Рис. 1. Алгоритм Visual SLAM

На данный момент для встраивания в навигационную систему робота Visual SLAM-метода могут подойти несколько уже готовых программных библиотек. Это набор инструментов ARCore от Google и библиотека с открытым исходным кодом VisualSLAM.

ARCore предоставляет большой набор различных API для работы с дополненной реальностью, в том числе и возможность навигации посредством компьютерного зрения (рис. 2) [2].



Рис. 2. Пример использования ARCore в мобильном приложении для навигации

Платформа очень проста в использовании, но ее большим недостатком является доступность только на одной ОС – это Android. Эти API невозможно использовать даже с помощью эмуляции операционной системы, так как они задействуют внутренние возможности телефона – наличие акселерометра и гироскопа.

OpenVSLAM – это SLAM-система с поддержкой монокулярной камеры, стереокамер, RGBD-камер. Среди прочих open-source библиотек ее отличает совместимость с различными типами камер, полная модульность библиотеки.

Так как ARCore можно задействовать только в мобильном приложении оно мало подходит для ПО, которое предполагается использовать для робототехники, где операционной системой чаще всего служит Linux или Windows. Поэтому для построения SLAM-системы воспользуемся OpenVSLAM.

Библиотека позволяет подключить сторонние методы отображения карт в реальном времени и уже имеет функционал для сохранения карты в отдельном файле. В результате работы был написан код, позволяющий протестировать упомянутую выше систему. Результат построения карты в небольшом помещении изображен на рис. 3.

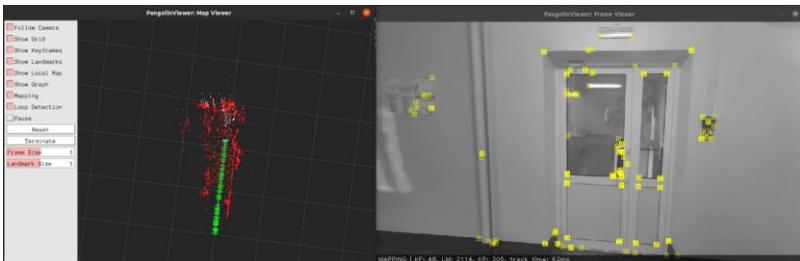


Рис. 3. Построение карты



Рис. 4. Локализация по построенной карте

Когда программа закончит работу, по полученной карте можно локализоваться из любой точки внутри помещения, что продемонстрировано на рис. 4.

Из-за модульности библиотеки полученный код в последующем может легко работать как часть навигационной системы мобильного автономного робота. Соответствующие статьи анализа OpenVSLAM говорят о достаточно высокой точности системы, что позволяет нам использовать ее для прикладных задач [3].

### **Библиографический список**

1. Easing the development of visual SLAM applications [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ceva-dsp.com/ourblog/easing-the-development-of-visual-slam-applications> (дата обращения: 29.11.2020).
2. ARCore. Develop [Электронный ресурс]. – URL: <https://developers.google.com/ar/develop> (дата обращения: 28.11.2020).
3. OpenVSLAM: A Versatile Visual SLAM Framework [Электронный ресурс]. – URL: <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/3343031.3350539> (дата обращения: 28.11.2020).

### **Сведения об авторах**

**Кручинин Денис Сергеевич** – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: [kruchininds@yandex.ru](mailto:kruchininds@yandex.ru)

**Гончаровский Олег Владленович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: [35911953@mail.ru](mailto:35911953@mail.ru)

### **About the authors**

**Kruchinin Denis Sergeevich** – Master Student of Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: [kruchininds@yandex.ru](mailto:kruchininds@yandex.ru)

**Goncharovsky Oleg Vladlenovich** – Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor of the department Automatics and telemechanics, Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: [35911953@mail.ru](mailto:35911953@mail.ru)

## ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

**Е.В. Матус, Н.А. Самосюк**

Белорусский национальный технический  
университет, Минск, Республика Беларусь

В данной статье разобраны понятие и сущность процесса теплоснабжения. Также рассмотрена схема строения системы теплоснабжения и выделена классификация. Отдельное внимание уделено особенностям теплоснабжения в Республике Беларусь, проведен анализ существующей системы.

**Ключевые слова:** теплоснабжение; тепловая энергия; тепловая сеть; централизованная схема; независимая схема; бесперебойная работа.

## HEAT SUPPLY TO CONSUMERS

**E.V. Matus, N.A. Samosyuk**

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

In this article the concept and essence of the heat supply process are discussed. Also, a diagram of the structure of the heat supply system is considered and a classification is highlighted. Special attention is paid to the peculiarities of heat supply in the Republic of Belarus, an analysis of the existing system is carried out.

**Keywords:** heat supply; thermal energy; heating network; centralized scheme; independent circuit; uninterrupted work.

В экономике Республики Беларусь особую нишу занимает теплоснабжение потребителей. Исходя из условий температурного режима страны, особенно большое внимание уделяется системе теплоснабжения. В холодное время года возникает необходимость искусственного обеспечения тепловой энергией (теплом) промышленных предприятий, а также жилых зданий и сооружений.

Теплоснабжение – это процесс обеспечения тепловой энергией потребителей в целях поддержания оптимальной температуры в зданиях. Теплоснабжение осуществляется для всех групп потребителей: промышленных и общественных объектов, жилых домов различных типов. Среди потребителей тепла выделяются те, которые отапливаются только в определенное время года (сезонные), а также те, которые нуждаются в отоплении круглый год, вне зависимости от сезонности [1].

Как правило, в республике все системы, обеспечивающие тепло-снабжение дома, квартиры, предприятия, строятся по однотипной схеме, представленной на рис. 1.

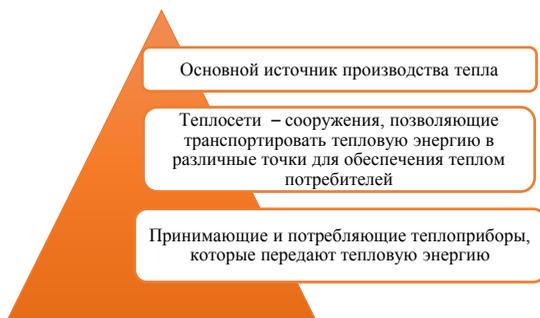


Рис. 1. Схема построения систем теплоснабжения

В качестве источника производства тепла могут выступать районные котельные, теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), биогазовые установки. В Республике Беларусь основным источником тепловой энергии являются ТЭЦ. Полученная в источнике тепловая энергия передается тому или иному теплоносителю (вода, пар), который транспортируется по тепловым сетям.

Тепловые сети представляют собой систему прочно и плотно соединенных между собой участков теплопроводов, по которым теплота с помощью теплоносителя (пара или горячей воды) транспортируется от источников к тепловым потребителям [2]. Теплопровод в свою очередь состоит из 3 основных элементов: рабочего трубопровода, изоляционной и несущей конструкций. Состав трубопровода приведен на рис. 2.



Рис. 2. Состав трубопровода и его конструктивные элементы



Рис. 3. Классификация теплоснабжения

По трубопроводу теплоноситель передает свою энергию теплопринимающему прибору, установленному в помещении, который отдает тепло непосредственно потребителю.

Развитие надежного и качественного процесса обеспечения тепловой энергией обуславливается выбором энергогенерирующих источников, местности для строительства объектов, трубопроводов для передачи энергии потребителям и системы теплоснабжения в целом.

Системы теплоснабжения можно классифицировать в зависимости от различных критериев (рис. 3).

В Республике Беларусь значительное место занимает централизованная система теплоснабжения от ТЭЦ. Особенностью теплоснабжения в стране является сезонное потребление тепловой энергии. Это обуславливает неравномерность графиков нагрузок, пики и спады потребления тепловой энергии. Для обеспечения тепловой энергией объектов жилищно-коммунального хозяйства (отопление, вен-

тиляция, кондиционирование воздуха, горячее водоснабжение), а также с целью снабжения промышленных предприятий горячей водой используется водяное теплоснабжение. Паровые системы применяются на промышленных предприятиях, где пар расходуется в качестве энергоносителя в технологических процессах. Пароводяная система теплоснабжения используется для централизованного теплоснабжения здания паром и необходимости организации водяного отопления.

Существуют также открытые и закрытые системы теплоснабжения. Открытая система характеризуется наличием открытого расширительного бака. Такое теплоснабжение представляет естественную циркуляцию воды, которая обусловлена разностью плотности горячей воды и холодной. Холодная вода от потребителя попадает в котел и нагревается. При подогреве вода увеличивается в объеме, и на выходе создается повышенное давление. Горячая вода направляется в зону более низкого давления и подается приборам отопления. Однако в результате увеличения воды в объеме возникает необходимость использования расширительного бака. Это устройство негерметично и напрямую соприкасается с атмосферой, что и объясняет название схемы теплоснабжения. В такой системе вода подается непосредственно от источника к потребителю и идет на отопление и горячее водоснабжение. Вместе с тем для горячего водоснабжения теплоноситель отбирается из магистрали через специальный узел – элеватор, где перегретая вода смешивается с холодной, и затем подается потребителю. Такую систему называют зависимой, то есть потребитель напрямую связан с источником теплоснабжения.

В закрытой схеме вода, циркулирующая в трубопроводе, не отбирается из тепловой сети на горячее водоснабжение. Подача тепла в этой системе регулируется централизованно, при этом количество теплоносителя остается в системе неизменным, а расход тепла зависит от температуры циркулирующего теплоносителя. В закрытых системах используются тепловые пункты, куда поступает теплоноситель от источника теплоэнергии. Тепловые пункты районов регулируют температуру теплоносителя до необходимой величины и распределяют потребителю.

В случае, когда потребитель не связан напрямую с источником, теплоснабжение называют независимым. В независимой схеме тепло передается по внутренним каналам через теплообменник. В настоя-

щее время применяется независимое теплоснабжение, что обусловливается значительной экономией энергоресурсов и возможностью регулирования температурного режима теплоносителя.

На рис. 4 приведем независимую схему теплоснабжения.

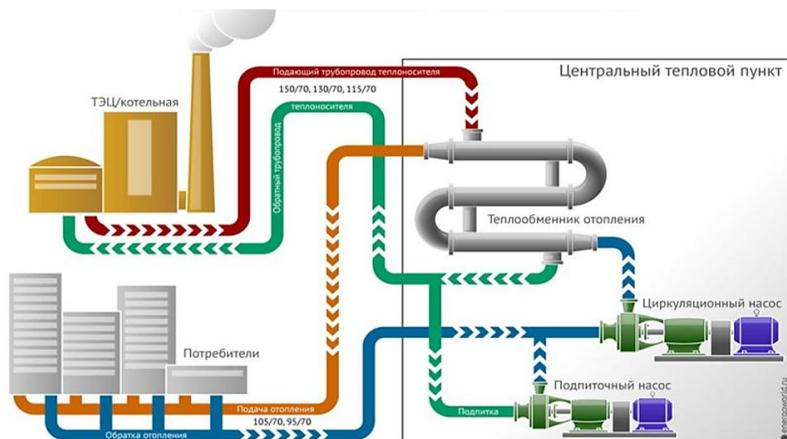


Рис. 4. Независимая схема теплоснабжения

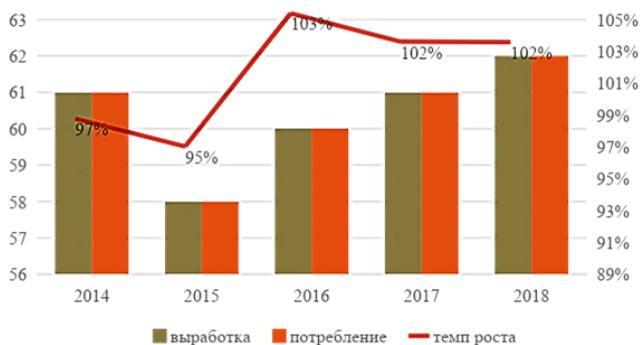


Рис. 5. Выработка и потребление тепловой энергии за 2014–2018 гг.

Объем выработки тепловой энергии в Республике Беларусь в течение 2014–2015 гг. имел стабильно снижающийся характер (от 63 до 58 млн Гкал в год). В 2016–2018 гг. наблюдалось увеличение объема производства тепловой энергии. При этом темп роста как по производству, так и по потреблению тепловой энергии в 2018 г. составил 2 % относительно 2017 г.

Динамика изменения производства и потребления тепловой энергии по годам представлена на рис. 5.

Основными потребителями тепловой энергии в стране являются жилищно-коммунальные организации и промышленные предприятия. Структура потребления тепловой энергии в 2019 г. представлена на рис. 6.

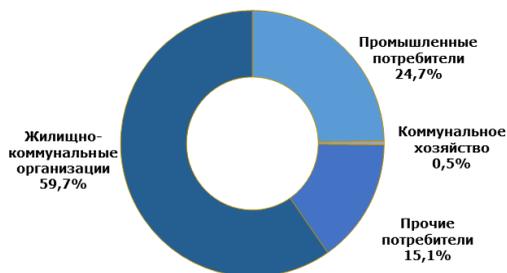


Рис. 6. Структура потребления тепловой энергии в 2019 г.

Исходя из данных рис. 6, можно отметить, что наибольшая доля потребления тепловой энергии в республике приходится на жилой сектор (59,7 %). На рис. 7 приведем динамику потребления тепловой энергии в Республике Беларусь.



Рис. 7. Динамика потребления тепловой энергии в Республике Беларусь (млн Гкал)

Анализ рис. 7 дает возможность сделать вывод, что потребление тепловой энергии в стране носит стабильный характер. При этом в 2019 году наблюдается небольшое снижение отпуска тепловой энергии: 22,1 млн Гкал – населению и 32,9 млн Гкал – промышленным организациям по сравнению с 23,4 и 34,4 млн Гкал в 2018 г. соответственно. Причиной этого может являться более теплый осенне-весенний период в 2019 г.

**Закключение.** В результате проведенного анализа можно сделать вывод, что объем потребления соответствует объему выработки и все потребители в полной мере получают необходимое количество энергии. Равенство показателей выработки и потребления тепловой энергии (см. рис. 5) означает налаженную и бесперебойную работу энергогенерирующих источников. Стабильность потребления тепловой энергии (см. рис. 7) говорит о своевременной модернизации оборудования и системы теплоснабжения в целом.

### **Библиографический список**

1. Теплоснабжение и тепловые сети: учебно-методический комплекс [Электронный ресурс] / Белорусский национальный технический университет, Кафедра «Тепловые электрические станции»; сост. Л.А. Тарасевич. – Минск: БНТУ, 2017.

2. Динамика потребления тепловой энергии в Республике Беларусь [Электронный ресурс] // Национальный правовой интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://www.belstat.gov.by> (дата доступа: 04.12.2020).

### **Сведения об авторах**

**Матус Екатерина Витальевна** – студентка специальности «Экономика и организация производства (энергетика)» Белорусского национального технического университета, Минск, Республика Беларусь, e-mail: [ekaterinamatus01@gmail.com](mailto:ekaterinamatus01@gmail.com)

**Самосюк Наталья Александровна** – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономика и организация энергетики» Белорусского национального технического университета, Минск, Республика Беларусь, e-mail: [Tasha712@tut.by](mailto:Tasha712@tut.by)

### **About the authors**

**Matus Ekaterina Vitalievna** – Student Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus, e-mail: [ekaterinamatus01@gmail.com](mailto:ekaterinamatus01@gmail.com)

**Samosyuk Natalya Aleksandrovna** – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Economics and Organization of Energy Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus, e-mail: [Tasha712@tut.by](mailto:Tasha712@tut.by)

## **ПРИМЕНЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПОДГОТОВКЕ РАДИОТЕЛЕГРАФИСТОВ**

**Н.Я. Карасик, Г.С. Колбасова, О.В. Гришковец**

Военная академия связи им. маршала Советского Союза  
С.М. Буденного, Санкт-Петербург

В данной статье рассматривается важность подготовки высококвалифицированных специалистов в области слухового телеграфа. Говорится о необходимости применения передовых методов в организации подготовки специалистов радиосвязи. Предлагается использовать новый путь повышения эффективности использования учебного времени для обеспечения оперативности и объективности контроля качества подготовки обучающихся, на основе широкого применения в учебном процессе персональных ЭВМ, так как применение традиционных методов обучения влечет за собой неэффективное использование времени руководителя.

**Ключевые слова:** обучение; подготовка; повышение эффективности; радиосвязь; специалист.

## **AN APPLICATION OF INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN PREPARING OF RADIO TELEGRAPHISTS**

**N.Y. Karasik, G.S. Kolbasova, O.V. Grishkovets**

Military Academy of Communications Marshal of the Soviet Union  
named after S.M. Budyonny, Saint Petersburg

This article discusses the possibility of training highly qualified specialists in the field of continuous-wave telegraphy. It is said that it is necessary to apply advanced methods in the organization of training of radio communication specialists. It is proposed to use a new way to improve the efficiency of the use of training time to ensure the efficiency and objectivity of quality control of preparing students based on the widespread use of personal computers in the educational process, since the use of traditional teaching methods entails inefficient use of the time of the chief.

**Keywords:** training; preparation; increase efficiency, radio communication; expert.

Проблемы средств связи и телекоммуникаций в Российской армии начали выявляться летом 2008 г. Несмотря на итоговый успех в операции по принуждению Грузии к миру, отдельные нюансы боеготовности частей вызвали у высшего руководства большие сомнения. В частности, выяснилось, что командование войсками затрудняют морально устаревшие системы связи, до сих пор находящиеся в строю Вооруженных сил.

Многофункциональные системы связи – это одна из ключевых составляющих боеготовности войск. Это крайне важно и для органов управления, которые занимаются стратегическим планированием, и для командиров всех уровней. Такие средства связи должны предоставлять руководству принципиально новые возможности по объемам и скорости передачи информации.

Сегодня системы связи нового поколения поступают в армию по госпрограмме развития вооружений, действующей до 2025 г. Но переоснащение все равно идет слишком медленно, а качество связи в ряде случаев по-прежнему остается ненадлежащим. И при этом современные системы связи и телекоммуникации функционируют в условиях ведения радиоэлектронной войны (РЭВ).

Радиоэлектронная война – это совокупность мероприятий, направленных на снижение эффективности использования противником электромагнитного спектра для решения поставленных задач и обеспечения функционирования своих радиоэлектронных средств. Задачи, которые решаются в радиоэлектронной войне:

- срыв и дезорганизация управления войсками и оружием противника;
- снижение эффективности разведки и применения оружия и боевой техники;
- обеспечение устойчивой работы систем и средств управления своими войсками и оружием.

Существенное влияние на характер современного боя оказывает одна из составляющих РЭВ – радиоэлектронное подавление (РЭП).

Радиоэлектронное подавление – комплекс мероприятий и действий по снижению эффективности боевого применения противником радиоэлектронных систем и средств путем воздействия на их приемные устройства радиоэлектронными помехами.

В этих условиях, когда создаются помехи противником в эфире, нарушающие управление войсками, одним из эффективных средств связи, способным обеспечить обмен информацией в системе управления войсками, остается слуховой телеграф, который, благодаря свойству слухового аппарата человека, позволяет выделять полезный сигнал на фоне помех даже при превышении их уровня над уровнем сигнала на величину порядка 6–12 дБ, что доказывает необходимость его использования в условиях применения противником РЭП.

Исходя из этого, перед ВС РФ появляется задача в подготовке высококвалифицированных специалистов в области слухового телеграфа, способных в условиях противодействия средствам вероятного противника осуществлять уверенный обмен информацией между подразделениями, частями и штабами, обеспечивая этим эффективное управление войсками и оружием.

В процессе совершенствования технической базы военной радиосвязи повысились требования к уровню профессиональной подготовки воинов-связистов, увеличилось значение военных специалистов, непосредственно связанных с эксплуатацией средств связи. Все это вызывает необходимость применения передовых методов в организации подготовки специалистов радиосвязи, осуществляемой в военных учебных заведениях, учебных частях и центрах.

Актуальность данной задачи подтверждается востребованностью специалистов во многих странах. С 25 августа по 5 сентября 2020 г. в Республике Беларусь – в Минске – проходил Международный армейский конкурс «Уверенный прием». В ходе соревнований военные связисты из Белоруссии и Российской Федерации, Республики Таджикистан и Социалистической республики Вьетнам участвовали в 6 этапах.

В ходе первых четырех этапов воинам-связистам предстояло соревноваться по дисциплинам радиоспорта. Осуществить прием на слух и передачу радиogramм с помощью вертикального телеграфного ключа, произвести радиообмен в сети, преодолеть дистанцию в радиопеленгации. На остальных двух этапах требовалось показать свою работу на оборудовании ИТ-структуры и продемонстрировать свое умение в военизированной эстафете.

Одним из путей повышения эффективности использования учебного времени при подготовке радиотелеграфистов, обеспечения оперативности и объективности контроля качества подготовки обучающихся является широкое использование в учебном процессе тренажерных комплексов и персональных ЭВМ.

Длительные испытания показали, что применение наряду с традиционными способами обучения радиотелеграфистов тренажеров и персональных ЭВМ способствует многократному улучшению качественных показателей их подготовки.

При использовании традиционных методов обучения специалистов слухового телеграфа руководитель занятия загружен рутинной деятельностью:

- по составлению текстов, предназначенных для освоения знаков телеграфного кода Морзе, по профилактике ошибок, тренировкой для закрепления навыков приема на слух и передачи;
- трансляцией текстов вертикальным телеграфным ключом или датчиком кода Морзе;
- проверкой работ обучающихся.

При этом приобретенные навыки приема на слух оцениваются руководителем занятия путем сверки с эталонным текстом. Тексты принимаются в специально заведенные рабочие тетради.

Очень большое количество времени уходит на оценку качества и скорости передачи. При этом оценить качество и скорость передачи может только очень хорошо подготовленный специалист, использующий для этого технические средства, позволяющие произвести временные измерения соотношений сигналов и пауз между ними. Техническое средство обычно применяется только в одном направлении и с одним обучающимся.

Одним из путей решения проблемы повышения эффективности использования учебного времени на занятиях, а также оперативности и объективности контроля работы обучающихся, является техническое совершенствование систем контроля на основе широкого применения в учебном процессе персональных ЭВМ.

Для решения этих задач наиболее хорошо подходит аппаратно-программный комплекс обучения радиотелеграфистов (АПКОР). Использование этого комплекса в процессе обучения способствует совершенствованию навыков радиоспециалистов слухового телеграфа. Основой предлагаемого комплекса является персональная ЭВМ.

В результате доработки, связанной с подключением специального контроллера связи, ЭВМ превращается в компьютер коллективного использования. Длительное испытание показало, что комплекс очень надежен и прост в управлении, его постоянное использование в процессе обучения радиотелеграфистов способствует улучшению качественных показателей их подготовки.

Главным достоинством применения АПКОР для подготовки радиотелеграфистов является [2]:

- непрерывный контроль с помощью ЭВМ за работой всех обучающихся одновременно;

- быстрое оценивание каждого обучающегося по качеству приема на слух и передачи текстов телеграфной азбуки Морзе;
- комплексное оценивание работы обучающихся;
- высокая достоверность и объективность оценки обучающихся;
- разгрузка преподавателей от индивидуальной проверки качества навыков приема на слух и передачи у обучающихся;
- автоматизация передачи текстов телеграфной азбуки Морзе с заданной скоростью и изменяемыми параметрами;
- комплекс может быть применен для самообучения и самоконтроля навыков без участия преподавателя;
- комплекс может быть поставлен в режим оценки качества парного обмена с возможностью непрерывной и документированной оценки качества работы;
- предоставляется возможность для обучения и самообучения правилам ведения радиообмена, отработки элементов учебных задач, проверки знаний теоретического материала.

От повышения эффективности обучения специалистов слухового телеграфа напрямую зависят такие требования, предъявляемые к системе связи, как своевременность и достоверность.

На рис. 1 представлен график зависимости скорости передачи сообщений от классности специалиста.

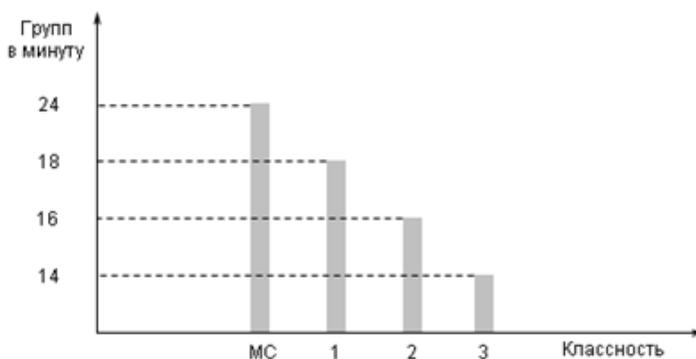


Рис. 1. Зависимость скорости передачи сообщений от классности специалиста

Из графика видно, чем выше классность специалиста, тем быстрее будет доставлена информация корреспонденту. Соответствие зависимости классности радиоспециалиста и достоверности передачи сообщений показано на рис. 2.

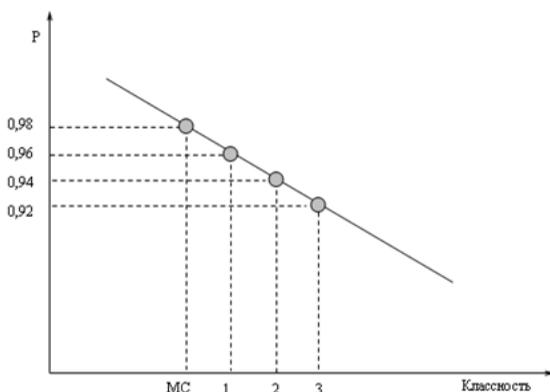


Рис. 2. Зависимость достоверности передачи сообщения от классности специалиста

Из данных рис. 2 видим, что достоверность передачи сообщений, а следовательно, и достоверность военной связи будет выше тогда, когда личный состав дежурных смен различных узлов обладает более высокой классной квалификацией.

По итогам соревнований в Минске российские связисты продемонстрировали высокий уровень подготовки. Наша команда уверенно отработала радиообмен в сети, где установила новый рекорд по времени на Армейских играх, показала высокие результаты и одержала безоговорочную победу на этапе международного конкурса. Однако при проведении конкурса возникли задачи, обусловленные наличием коронавирусных ограничений. Это заставило задуматься о внесении корректив как с точки зрения проведения конкурса, так и организации обучения специалистов и использовании дистанционной организации процессов.

В качестве вывода можно сказать, что применение современных технологий в процессе подготовки радиоспециалистов способствует улучшению качественных и временных показателей их подготовки.

Применение комплекса АПКОР позволяет не только качественно подготовить радиотелеграфистов, но и снять нагрузку с преподавателя, обусловленную работой по проверке навыков обучающихся, составлению текстов и их передаче. Тем самым преподавателю предоставляется возможность индивидуального подхода к каждому обучающемуся, а также возможность в более полном объеме передать им

свой профессионализм. При этом следует учитывать, что современная реальность требует обеспечивать возможность дистанционного обучения специалистов, в том числе радиотелеграфистов. Этот вопрос требует изучения и качественной оценки.

### **Библиографический список**

1. Шойгу С.К. Про вчера. – Изд-во АСТ, 2020.
2. Карасик Н.Я., Колбасова Г.С., Семенов А.С. Новые информационные технологии в подготовке специалистов радиосвязи // Инновационные технологии: теория, инструменты, практика: XI Междунар. интернет-конф. молодых ученых, аспирантов и студ. – 2019. – Т. 1. – С. 7–12.

### **Сведения об авторах**

**Карасик Наталия Яковлевна** – доцент кафедры радиосвязи Военной академии связи им. С.М. Буденного, Санкт-Петербург, e-mail: n\_karasik@mail.ru

**Колбасова Галина Сергеевна** – кандидат технических наук, преподаватель кафедры радиосвязи Военной академии связи им. С.М. Буденного Санкт-Петербург, e-mail: kolbasova79@mail.ru

**Гришковец Олеся Владимировна** – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры радиосвязи Военной академии связи им. С.М. Буденного, Санкт-Петербург, e-mail: ogri\_nya@mail.ru

### **About the authors**

**Karasik Natalia Yakovlevna** – Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor of Radio communication Department Military academy of communications, e-mail: n\_karasik@mail.ru

**Kolbasova Galina Sergeevna** – Ph. D. in Technical Sciences, Teacher of the department of Radio communication Department Military academy of communications, e-mail: kolbasova79@mail.ru

**Grishkovets Olesya Vladimirovna** – Ph. D. in Technical Sciences, Senior Lecturer of the department of Radio communication Department Military academy of communications, e-mail: ogri\_nya@mail.ru

## **ОБНАРУЖЕНИЕ ПОЖАРООПАСНЫХ УЧАСТКОВ НА КАДРАХ ВИДЕОРЯДА ПОСРЕДСТВОМ КЛАССИФИКАЦИИ**

**Н.В. Лаптев, В.В. Лаптев**

Национальный исследовательский Томский  
политехнический университет, Томск

В данной статье рассмотрены аспекты обнаружения области возгорания на кадрах видеоряда путем разбиения изображения на блоки и их классификации. В качестве решения мы предлагаем использовать классификатор на основе сверточной нейронной сети с долговременной памятью (LSTM). В статье продемонстрированы архитектура нейронной сети и результаты апробации модели на реальных данных. Полученные результаты демонстрируют, что применение классификатора на основе сетей LSTM позволяет достигнуть высокой точности обнаружения дыма на кадре.

**Ключевые слова:** классификация; обнаружение; анализ видеоряда; нейронные сети; предварительно обученная модель; сети долгой краткосрочной памяти.

## **ENGINE TEST AUTOMATION**

**N.V. Laptev, V.V. Laptev**

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk

This article discusses the aspects of detecting a fire area on video footage by dividing the image into blocks and classifying them. As a solution, we propose to use a long short-term memory convolutional neural network (LSTM) classifier. The article demonstrates the architecture of a neural network and the results of testing the model on real data. The results obtained demonstrate that the use of a classifier based on LSTM networks allows achieving high accuracy of smoke detection in a frame.

**Keywords:** classification; detection; video analysis; neural networks; transfer learning; long short-term memory networks.

Пожары причиняют колоссальный ущерб для окружающей среды во всем мире. Они влекут за собой гибель людей, порчу имущества, становятся настоящими стихийными бедствиями. Для предотвращения таких последствий необходимо своевременное обнаружение возгорания и принятие соответствующих мер.

Мы повседневно сталкиваемся с системой обнаружения пожаров в виде датчиков огня и дыма. Они широко используются в помещениях

и обычно требуют, чтобы огонь горел в течение некоторого времени, чтобы образовалось большое количество дыма, а затем сработала сигнализация. Кроме того, эти устройства не могут быть развернуты на открытом воздухе в больших масштабах, например в лесу.

Для успешной борьбы с пожарами используют множество различных средств, таких как: снимки со спутника, использование беспилотных летательных аппаратов, использование стационарных камер видеонаблюдения.

Существует большое количество решений по детектированию пожароопасных объектов с использованием беспилотных летательных аппаратов, в том числе и с использованием алгоритмов машинного обучения [1–2]. Но у данного решения имеется ряд недостатков, таких как: постоянный контроль беспилотного летательного аппарата, дозаправка или подзарядка. В данной работе мы рассматриваем систему наземного видеомониторинга с использованием стационарных камер, расположенных в лесном массиве.

Система обнаружения пожара на основе технического зрения анализирует изображения с камер и своевременно определяет возгорание, что делает их пригодными для раннего оповещения возникновения пожара. Данные системы наиболее экономически эффективны и могут непрерывно следить за огромными площадями лесных массивов, что делает их наиболее востребованными, чем прочие решения. Авторами предлагается метод обнаружения пожара на основе компьютерного зрения, который может работать со стационарными камерами.

Система видеонаблюдения на основе камеры может контролировать указанную территорию в реальном времени с помощью обработки видео. Когда система реагирует на пожароопасный объект, она отправляет изображение с вероятной областью возгорания администратору, а администратор, в свою очередь, принимает решение на основе полученного кадра.

Jareerat Seebamrungsat [3] вместе с командой в своей работе предлагают метод, основанный на комбинации HSV и YCbCr цветовых моделях. Система требует дополнительного преобразования цветового пространства, что действительно лучше, чем использование одного метода цветового пространства, но их работа использует только статические характеристики пламени, что может негативно сказаться на конечной точности обнаружения.

Chen and Huang [4] предложили использовать Гауссовскую модель для моделирования HSV цветовой модели и анализировать временные и пространственные факторы возгорания, но модель Гауссовой смеси требует большого времени расчета, а анализ является нечетким.

Нап и его команда [5] использовали обнаружение движения на основе многоцветовой и Гауссовской модели и получили хорошие экспериментальные результаты. Однако, поскольку Гауссовские и цветковые модели требуют большого количества вычислительного времени, их нельзя применить к реальным данным.

Исследователи из Санкт-Петербурга Д. Александров, Е. Пертсева и др. [6]. Достигли высокого качества обнаружения на тестовых данных используя в основе методы машинного обучения, в частности технологию object detection, но данная технология также требует весомого количества расчетного времени.

При решении поставленной задачи мы опираемся на два критерия: точность обнаружения и время, необходимое для обработки, так как областью решения задачи выступает лесной массив огромной площади, что предполагает большое количество параллельных вычислений. В данной статье будет рассмотрено решение на основе разбиения изображения на равные блоки и их классификации. Данный подход является более простым и менее ресурсоемким относительно, например, задачи регрессии.

Отличительной особенностью подхода, предлагаемого авторами относительно аналогов, использование подхода обнаружения на основе классификации участков кадра с учетом динамики.

**Подход.** Идея работы в следующем: исходный видеоряд разбивается на кадры последовательности. Из полученной последовательности выбираются кадры в количестве  $n$  единиц с равными временными интервалами так, чтобы охватить временной интервал всего полученного видеоряда. Кадр последовательности разбивается на части, для этого мы проходим по нему «окном» меньшего размера от левого верхнего угла к нижнему правому углу с шагом, вдвое меньшим размера окна. Тем самым получаем на выходе набор участков кадра, пересекающихся друг с другом. После чего мы подаем участки одной позиции с  $n$  кадров последовательности на нейронную сеть. Результат работы сети имеет решение: если на изображении имеется одна или несколько областей класса «Пожар», то она направляется оператору. Если области одного класса пересекаются, то они объединяются в одну.

**Исследование.** В качестве модели выделения признаков дыма мы используем модель машинного обучения распознавания изображений InceptionV3 [7] при обучении на наборе данных, состоящем из изображений дыма от пожаров, а также кадров съемки лесного массива. Другие исследователи [8] также отметили, что сети на основе Inception лучше работают при обнаружении дыма. Модель принимает на вход 5 изображений размером  $64 \times 64 \times 3$  пикселя. Для обучения была использована предварительно обученная модель на изображениях ImageNet, что показывает результат лучше, чем обучение модели с нуля, а также занимает меньше времени. Авторами было собрано около 5000 уникальных изображений с дымом. Для предотвращения переобучения нейронной сети вследствие небольшого объема обучающей выборки был разработан алгоритм по увеличению данных, учитывающий последовательность кадров. Алгоритм приносит такие изменения, как: поворот изображения, отражение по горизонту, изменение фокусного расстояния, изменение цветовой насыщенности и яркости. В обучающей и тестовой выборке также находятся кадры без дыма, необходимо отметить, что в наборе данных имеются такие сложные случаи, как: туман, капли дождя, облака. С учетом разнообразия погодных условий и времени суток первые несколько обученных моделей имели очень высокий процент ложных срабатываний. В последующих моделях авторами были выявлены и добавлены в обучающую выборку типичные объекты, не относящиеся к классу «Пожар». После нескольких итераций авторами была получена модель с хорошей точностью.

**Анализ полученных результатов.** В ходе выполнения работы разработана архитектура нейронной сети, представленная на рис. 1. В процессе обучения модели мы экспериментировали с такими параметрами, как: количество кадров, подаваемых на вход сети, размер входного тензора (таблица). Расчет точности работы модели выполнялся согласно следующему правилу:

$$accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}, \quad (1)$$

где  $TP$  (*True Positive*) – в кадре обнаружен настоящий дым,  $FP$  (*False Positive*) – дыма нет, но есть обнаружение,  $TN$  (*True Negative*) – дыма нет и не обнаружено,  $FN$  (*False Negative*) – настоящий дым, нет обнаружения. В расчете точности работы участвовало 300 изображений: из них 200 изображений содержат дым и 100 нет (рис. 2).

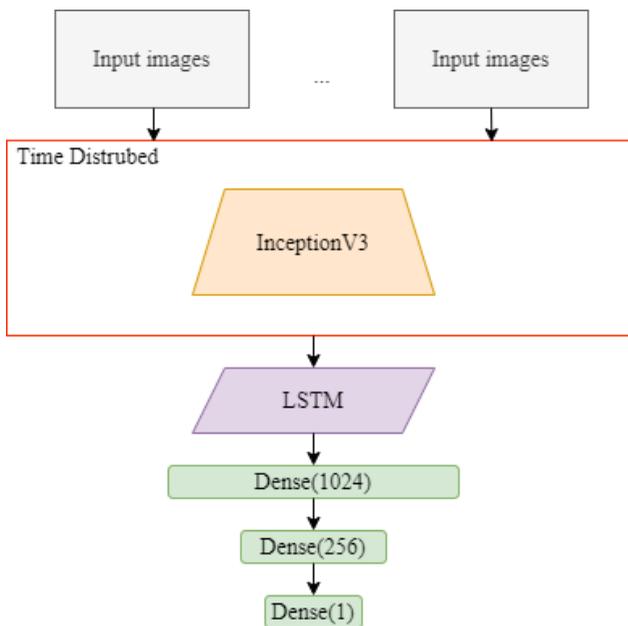


Рис. 1. Общая архитектура нейронной сети

### Результаты экспериментов

Количество обрабатываемых кадров	Размер кадра	Accuracy, %	Time, s
3	28×28	68,98	0,04
	32×32	72,12	0,07
	64×64	75,05	0,11
	128×128	74,33	0,21
5	28×28	79,97	0,06
	32×32	83,21	0,08
	64×64	85,4	0,12
	128×128	85,7	0,25
7	28×28	73,74	0,18
	32×32	75,32	0,30
	64×64	78,5	0,41
	128×128	77,79	0,75
11	28×28	65,74	0,27
	32×32	68,54	0,49
	64×64	70,66	0,98
	128×128	71,03	1,12



Рис. 2. Результат работы сети на кадре

**Заключение.** В рамках выполненной работы разработан алгоритм обнаружения пожароопасных объектов: разработана собственная архитектура нейронной сети, базирующаяся на анализе временной составляющей по средствам нейронной сети с долгой краткосрочной памятью (LSTM), подобраны оптимальные параметры обучения нейронной сети. Проведена апробация модели на тестовой выборке, в результате получена точность работы системы примерно 85,5 % (выбран размер входного тензора  $5 \times 64 \times 64$  по соотношению точность обнаружения к времени обработки).

### Библиографический список

1. Yuan C., Liu Z., Zhang Y. UAV-based forest fire detection and tracking using image processing techniques // Proceedings of 2015 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS). – 2015. – P. 639–643.
2. Rao G.N., Rao P.J., Duvvuru R. A drone re-mote sensing for virtual reality simulation system for forest fires: semantic neural network approach // Proceedings of IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 149, no. 1. – P. 12011.
3. Seebamrungsat J., Praising S., Riyamongkol P. Fire detection in the buildings using image processing // Proceedings of the 2014 Aird ICT International Student Project Conference (ICT-ISPC). – IEEE, Bangkok, \*ailand, March 2014. – P. 95–98.
4. Chen L., Huang W. Fire detection using spa-tial-temporal analysis // Proceedings of the World Con-gress on Engineering. – London, UK, July 2013. – P. 3–5.
5. Video fire detection based on Gaussian mixture model and multi-color features / X.F. Han, J.S. Jin, M.J. Wang, W. Jiang, L. Gao, L.P. Xiao // Signal, Image and Video Processing. – 2017. – Vol. 11, no. 8. – P. 1419–1425.

6. Analysis of machine learning methods for wildfire security monitoring with an unmanned aerial vehicle / D. Alexandrov, E. Pertseva, I. Berman, I. Pantiukhin, A. Kapitonov // 24th Conference of Open Innovations Association (FRUCT). – 2019. – P. 3–9.

7. Rethinking the Inception Architecture for Computer Vision // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). – Las Vegas, NV, USA, 27–30 June 2016.

8. Filonenko A., Kurnianggoro L., Jo K. Comparative Study of Modern Convolutional Neural Networks for Smoke Detection on Image Data // In Proceedings of the International Conference on Human System Interactions. – Ulsan, Korea, 17–19 July 2017.

### **Сведения об авторах**

**Лаптев Никита Витальевич** – инженер-исследователь лаборатории дизайна медицинских изделий Национального исследовательского Томского политехнического университета, Томск, e-mail: nikitalaptev77@gmail.com

**Лаптев Владислав Витальевич** – магистрант Национального исследовательского Томского политехнического университета, Томск, e-mail: vv139@tpu.ru

### **About the authors**

**Laptev Nikita Vitalievich** – Research Engineer of Medical Devices Design Laboratory National Research Tomsk Polytechnic University e-mail: nikitalaptev77@gmail.com

**Laptev Vladislav Vitalievich** – Master Student of National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: vv139@tpu.ru

## ОСОБЕННОСТИ ПИКсельНОЙ ГРАФИКИ

**И.С. Шушарина**

Пензенский государственный университет, Пенза

В данной статье рассмотрены особенности направлений цифрового искусства, в частности, pixel art, его область применения и имеющиеся проблемы.

**Ключевые слова:** цифровое искусство; графика; pixel art.

## FEATURES OF PIXEL GRAPHICS

**I.S. Shusharina**

Penza State University, Penza

In this article the features of digital art trends, in particular pixel art, it's area of trying on and existing problems.

**Keywords:** digital art; graphic; pixel art.

Появление и развитие компьютерных технологий коснулось многих сфер человеческой деятельности, в том числе и искусства. Со второй половины XX в. не прекращаются споры о том, достойны ли признания новые творения. «Использование цифровых компьютерных технологий позволило изобразительному искусству отказаться от понимания произведения как материального объекта и от признания единичности неизменным атрибутом оригинальности» [1]. Одним из новых аспектов творчества стало цифровое искусство. При помощи различных графических редакторов и программ художники создают интерактивные произведения, соединяют реальные и вымышленные изображения, рисуют цифровые картины и выражают свои взгляды и эмоции. Интересной особенностью данного направления является простота в продвижении. Художники самостоятельно продвигают свое творчество в сети Интернет без затрат на организацию выставок.

В связи с популярностью и быстрым распространением цифрового искусства возникло достаточно большое количество его жанров. Современные художники работают с цифровой фотографией и живописью, трехмерной графикой и анимацией, векторной графикой,

фрактальной графикой, типографикой, фотоманипуляцией, анимационным дизайном, CGI, компьютерной анимацией и pixel art [2].

Далее подробно будет рассматриваться именно технология пиксельной графики. Пиксельная графика или pixel art представляет собой направление в цифровом искусстве, которое включает в себя создание изображений на пиксельном уровне. Идея pixel art состоит не столько в результате, сколько в технологии создания иллюстрации, которая требует больших затрат времени и труда. Соответственно, не каждое растровое изображение можно назвать пиксельным искусством, независимо от того, что они все состоят из пикселей.

Разница между пиксельным рисунком и другими видами компьютерного искусства обусловлена рядом особенностей:

- небольшое количество цветов;
- отсутствие сглаживания;
- малый размер окончательного рисунка.

В пиксельной графике принято работать только самыми простыми инструментами, и зачастую такие иллюстрации создаются в неполнофункциональных графических редакторах, таких как Microsoft Paint.

В искусстве пиксельной графики считается неприемлемым использовать автоматические фильтры, к примеру, сглаживание, а также инструменты, которые не позволяют работать с отдельными пикселями. Это обусловлено автоматическим добавлением новых пикселей, что нарушает технологию ручного размещения. Использование минимального количества цветов считается хорошим тоном. Во многих, даже самых ранних видеоподсистемах доступны стандартные 16 цветов, где тремя битами кодируются R, G, B сигналы, а четвертый бит зарезервирован под яркость.

Изображения, созданные с помощью Pixel art, выглядели по-настоящему эффектно, при этом не требовали больших ресурсов. В связи с этим пиксельная графика получила наиболее широкое прикладное применение в компьютерных играх. Расцвет популярности pixel art приходится на начало 1990-х гг. Наивысшей точкой развития официально являются видеоигры на приставках 2-го и 3-го поколения. В то время это был единственный способ отображения графики. Развитие технологий и появление 256-цветных палитр постепенно стало вытеснять pixel art из игр. Возникло мнение, что такая техноло-

гия в ближайшем будущем исчезнет совсем. Но спустя немного времени графика стала совершенствоваться, и сейчас дизайнеры часто используют пиксельные рисунки как оригинальный эффект.

В этой области появилось несколько методов рисования. Самая простая пиксельная графика – плоская, она представляет собой изображение вида сбоку, спереди или сверху. Изометрическая графика создается в проекции, которая сходна с изометрической. Примером служат игры, отображающие трехмерное пространство, но при этом не использующие трехмерную обработку. Дело в том, что в pixel art линии выглядят неровно при 30°. Поэтому для устранения таких искажений линии выбираются с соотношением пикселей 1:2 под углом 26,565° от горизонтали.

Диметрические и перспективные проекции встречаются реже.

Рисование всегда начинается с эскиза, состоящего из основных линий и определяющего характер будущего изображения. Получить такой набросок можно посредством обводки отсканированного рисунка. Есть и другие способы, некоторые из них похожи на обыкновенное рисование. Поскольку палитра не столь разнообразна, то для увеличения количества цветов и оттенков требуется использовать размытие. Однако специфика пиксельной графики предполагает выполнение его вручную. Чтобы наложить иллюстрацию на абсолютно любой фон, применяется даже сглаживание формата PNG с альфа-каналом.

Pixel art обладает следующими достоинствами:

- не требуется больших ресурсов памяти из-за использования палитр с малым количеством цветов;
- простота в изучении, работать в данной технике можно, даже не имея выдающихся художественных способностей;
- является самым красивым стилем компьютерного искусства, доступным в системах, где палитра цвета ограничена;
- достойно выглядит на экранах с выраженными пиксельными границами, например на ЖК-дисплеях;
- пиксельный рисунок не теряет своей эффектности даже при плохой цветопередаче.

Несмотря на все эти преимущества, существует ряд проблем, связанных с данным стилем.

Одной из них является необратимость действий. Все операции, выполняемые над пиксельным рисунком, окончательны. К примеру, если поверх такого изображения нарисовать какую-либо фигуру, то старое изображение исчезнет, так как некоторые пиксели будут перекрашены, и вся информация, хранившаяся в них, изменится.

Дискретность или раздельность изображения подразумевает то, что существует лишь иллюзия нарисованной фигуры. Так как пиксели квадратные и располагаются ровными рядами, при увеличении иллюстрации края фигур становятся зубчатыми. Такое явление значительно затрудняет компьютерный анализ изображений и выделение отдельных объектов.

В то же время пиксельное изображение является цельным. В векторной графике или в трехмерной графике возможна работа с отдельными объектами, составляющими иллюстрацию. Всегда можно выделить, переместить или изменить какую-либо часть. В пиксельной графике это невозможно из-за отсутствия этих самых отдельных объектов. Доступна лишь работа с пикселем [3].

Еще одной проблемой является зависимость от размера изображения. Размер пиксельного рисунка – это количество пикселей в нем, и чем их больше, тем лучше, так как становится возможной прорисовка более мелких деталей. Однако когда рисунок закончен, его детализация фиксируется, и если его размер был слишком мал для отображения некоторых деталей, то проявить их уже невозможно.

Высококачественные пиксельные изображения содержат огромное количество пикселей, а для записи информации в пикселях требуется много информации на диске.

Не менее важным недостатком является плохая масштабируемость. Изменение размера пиксельного рисунка возможно, но это довольно трудоемкий процесс, который сопровождается различными побочными эффектами. Так, при увеличении рисунка отдельные пиксели становятся видимыми, что нарушает иллюзию целостности изображения [4].

Трансформация фотографий в pixel art низкого разрешения автоматическими методами, такими как метод ближайшего соседа и метод бикубической интерполяции, дает неудовлетворительный результат, поэтому художники вручную преобразовывают изображения, что занимает до 8 человеко-часов на одну работу.

Таким образом, развитие компьютерных технологий и появление новых, более совершенных видов цифрового искусства не препятствует применению, казалось бы, устаревшей технологии pixel art. Использование этого стиля придает оригинальную изюминку современному произведению цифрового искусства. В некоторых случаях такое авторское решение становится довольно уместным. Например, в таких системах, как медицинские тренажеры [5, 6], где требуется наглядное отображение набора важных параметров в режиме интерактивного взаимодействия с пользователем, а также в системах реального времени, использующих изображения текстур для представления информации [7].

Пиксельная графика продолжает развиваться, заставляя специалистов этой области искать решения нетривиальных вопросов. Наиболее интересной является задача получения пиксельного изображения из фотографии. Это делается посредством понижения разрешения известными инструментами и повышения насыщенности, которое не имеет стандартного решения. Выходом может стать преобразование цветовой шкалы путем создания алгоритма, который менял бы цвет каждого пикселя, делая результат более ярким, контрастным и приближенным к ручной работе.

### **Библиографический список**

1. Ерохин С.В. Цифровое компьютерное искусство. – СПб.: Алетейя, 2011. – 188 с.
2. Медиасвод – Digital art или виды визуального цифрового искусства 2018 [Электронный ресурс]. – URL: <http://mediasvod.ru/digital-art-ili-vizualnoe-tsifrovoye-iskusstvo/> (дата обращения: 21.11.2020).
3. Ps+Ai – Преимущества и недостатки пиксельной графики 2019 [Электронный ресурс]. – URL: <https://zen.yandex.ru/media/id/5ccd4bdbbf32e000b08bc453/preimuscestva-i-nedostatki-pikselnoi-grafiki-5cfa56e7ba657800b0cc2fa9> (дата обращения: 28.11.2020).
4. Ps+Ai – Преимущества и недостатки пиксельной графики Ч.2. – 2019 [Электронный ресурс]. – URL: <https://zen.yandex.com/media/id/5ccd4bdbbf32e000b08bc453/preimuscestva-i-nedostatki-pikselnoi-grafiki-chast-2-5cfa55275e041200afdac862> (дата обращения: 28.11.2020).

5. Программное обеспечение тренажера лапароскопической хирургии / А.В. Иващенко, А.В. Кузьмин, А.В. Колсанов, С.С. Чаплыгин, Н.А. Горбаченко, М.Г. Милюткин // Программные продукты и системы. – 2013. – № 2. – С. 35.

6. 3D surgery simulation software development kit / A. Ivaschenko, A. Kolsanov, A. Nazaryan, A. Kuzmin // 29th Annual European Simulation and Modelling Conference 2015 (ESM 2015). – EUROSIS, 2015. – P. 333–340.

7. Способ генерирования текстуры в реальном масштабе времени и устройство для его реализации / О.Н. Бодин, С.А. Гайдуков, А.В. Кузьмин, А.А. Малышкин; Патент на изобретение RU 2295772 С1, 20.03.2007; Заявка № 2005129968/09 от 26.09.2005.

#### **Сведения об авторе**

**Шушарина Инна Сергеевна** – магистрант Пензенского государственного университета, Пенза, e-mail: inna140898@gmail.com

#### **About the author**

**Shusharina Inna Sergeevna** – Master Student of Penza State University, Penza, e-mail: inna140898@gmail.com

## **ИНСТРУМЕНТАРИЙ FINDPROFESSION ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ВЫБОРУ ПРОФЕССИИ И МЕСТА ТРУДОУСТРОЙСТВА**

**Д.М. Жевакин, С.Н. Широбокова**

Южно-Российский государственный политехнический  
университет (НПИ) им. М.И. Платова, Новочеркасск

Целью проектного решения, рассмотренного в данной статье, является разработка инструментария, который позволяет проводить анализ требований рынка труда из различных информационных источников. Рассмотрены аспекты расчета комплексного рейтинга вакансий, позволяющего подобрать вакансии, наилучшим образом соответствующие требованиям пользователя и при этом находящиеся в пределах области поиска, радиус которого он задал. Разрабатываемая информационная система призвана помочь пользователям определить подходящую вакансию или подобрать будущую профессию, исходя из личных предпочтений.

**Ключевые слова:** расчет расстояния по координатам; рейтингование вакансий; инструментарий FindProfession; выбор профессии; оценка быстродействия.

## **FINDPROFESSION TOOLKIT FOR INFORMATION SUPPORT OF DECISION-MAKING ON THE CHOICE OF A PROFESSION AND LOCATION OF EMPLOYMENT**

**D.M. Zhevakin, S.N. Shirobokova**

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI),  
Novocherkassk

The purpose of the project solution discussed in this article is to develop tools that allow you to analyze the requirements of the labor market from various information sources. The aspects of calculating a comprehensive job rating that allows you to select vacancies that best meet the user's requirements and at the same time are within the search area, the radius of which he set. The developed information system is designed to help users determine a suitable vacancy or choose their future profession based on their personal preferences.

**Keywords:** distance calculation by coordinates; vacancy rating; FindProfession toolkit; choice of profession; performance evaluation.

Инструментарий FindProfession предназначен для информационной поддержки принятия решений различными категориями пользователей по выбору места трудоустройства, а также выбору профессии [1]. Общая архитектура приложения представлена на рис. 1. Для реализации поддержки принятия решений инструментарий получает и обрабатывает большие объемы информации с различных источников. В частности, источниками данных выступают порталы, которые предоставляют информацию об опубликованных работодателями вакансиях. Инструментарий агрегирует эти данные в рамках одной системы. Пользователь при необходимости может получить нужную информацию несколькими способами, например, через Telegram-бот, мобильное, десктопное или веб-приложение. Обмен между приложениями, входящими в состав инструментария, производится в формате JSON, который удобен для парсинга и предоставления информации пользователю в итоговом виде.

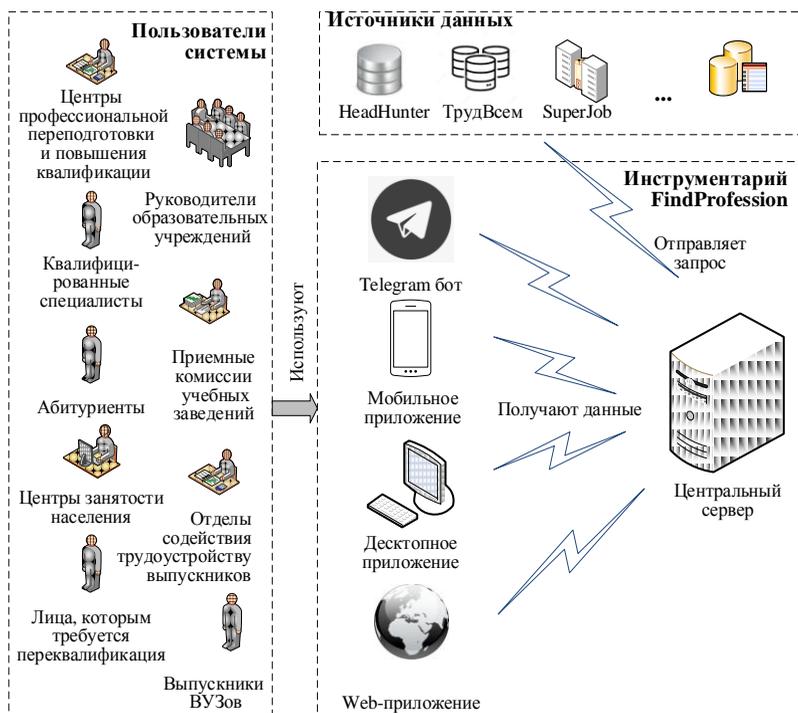


Рис. 1. Архитектура инструментария FindProfession

Одним из аспектов функционала инструментария является рейтингование вакансий. Подсчет рейтинга разделен на два этапа:

- 1) расчет рейтинга при формировании SQL-запроса.
- 2) расчет дополнительного рейтинга на основе вхождения в область поиска (рис. 2).

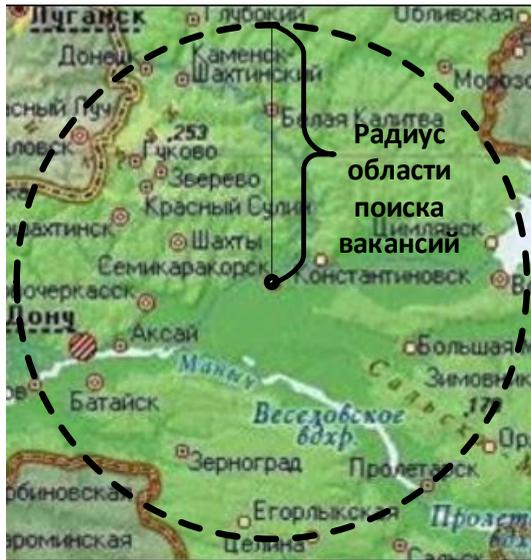


Рис. 2. Поиск вакансий по области в указанном радиусе

В инструментарии реализован свой механизм для оценивания вакансий. Пользователь может задать предпочтительные настройки отбора по определенным полям (наименование профессии, регион, график работы, занятость, минимальная и максимальная заработная плата) для получения индивидуальной выборки из множества всех вакансий. Затем рассчитываются значения *Rating* для каждой вакансии. Для ограничения количества вакансий можно поставить условия на минимальный рейтинг. *ConstRating* – базовый рейтинг, заданный в инструментарии. Значение рейтинга для *j*-й вакансии рассчитывается по следующей формуле:

$$Rating^j = Param^j + radius^j, j = \overline{1, n},$$

где  $Rating^j$  – общий рейтинг *j*-й вакансии,  $Param^j$  – рейтинг, подсчитанный при формировании SQL запроса,  $radius^j$  – рейтинг,

основанный на вхождении вакансии в область поиска, определенную пользователем. Значение  $Param^j$  в общем случае рассчитывается по следующей формуле:

$$Param^j = \sum_{i=1}^m \begin{cases} ConstRating \cdot 1, & \text{если } param_i^j = UserParam_i^j \\ ConstRating \cdot 0, & \text{если } param_i^j \neq UserParam_i^j \text{ или } UserParam_i^j = \emptyset, \end{cases}$$

где  $param_i^j$  –  $i$ -й параметр  $j$ -й вакансии,  $UserParam_i^j$  – выбранное пользователем значение  $i$ -го параметра для  $j$ -й вакансии.

Более подробно расчет рейтинга при формировании SQL-запроса был описан в работе [2]. Дополнительный расчет по вхождению дополняет основной рейтинг и показывает, какие вакансии находятся непосредственно в том радиусе поиска, который указал пользователь. В дальнейшем на основе значения этого комплексного рейтинга производится сортировка вакансий.

Для того чтобы определить, какие вакансии, предлагаемые в каком-либо городе или в его окрестностях, попадают в область поиска по критерию удаленности от местоположения пользователя, используется формула расчёта расстояния по координатам. Также в расчетах необходимо учитывать, что Земля не плоская, а имеет форму, приближенную к сфере. Исходя из этого, кратчайшим расстоянием между двумя точками является длина дуги круга между ними. Для расчета необходимо знать широту и долготу населенного пункта, обозначенного пользователем как его местоположение, широту и долготу, указанные в вакансии. Координаты населенных пунктов хранятся в справочнике «Населенные пункты». Тогда  $lat_1$  и  $lng_1$  – широта и долгота, указанные в вакансии, а  $lat_2$  и  $lng_2$  – координаты населенного пункта пользователя. Предварительно необходимо перевести координаты в радианы. Расстояние между двумя этими точками рассчитывается по формуле:

$$\Delta\sigma = \arctan \left( \frac{\sqrt{(\cos lat_2 \sin \Delta lng)^2 + (\cos lat_1 \sin lat_2 - \sin lat_1 \cos lat_2 \cos \Delta lng)^2}}{\sin lat_1 \sin lat_2 + \cos lat_1 \cos lat_2 \cos \Delta lng} \right),$$

где  $\Delta lng$  – абсолютная разность между долготой, указанной в вакансии, и долготой населенного пункта.

Итоговое расстояние равно:

$$S = r \cdot \Delta\sigma,$$

где  $r$  – радиус Земли (используется среднее значение радиуса Земли, равное 6372,795 км, позволяющее получать результат расчета с точностью 99,5 %).

Поскольку планируется хранить большое количество данных (суммарно с разных источников может быть более одного миллиона вакансий), то необходимо провести замеры времени на то, как инструментарий может работать с разным объемом информации при подсчете рейтинга вакансий.

При подсчете первоначального рейтинга во время формирования SQL-запроса берутся данные из сущности «Вакансия», в которую ранее были загружены данные из информационных источников. Затем, когда необходимо рассчитать расстояние от выбранного пользователем населенного пункта до местоположения вакансии, необходимо произвести дополнительные вычисления, используя математические операции, которые не поддерживает SQL-запрос. Отсюда появляется необходимость выделения дополнительного рейтинга, который вместе с первоначальным отображает те вакансии, которые не только подходят пользователю, но и находятся в непосредственной близости. Также нужно учитывать, что поскольку используется многоуровневая архитектура инструментария, то все данные отображаются на клиентской части, что может повлечь за собой увеличение времени ожидания выполнения расчетов. Этим обуславливается необходимость провести замеры времени с различным количеством вакансий, чтобы определить наиболее подходящий и быстродействующий способ отображения данных для пользователя. Замеры производились со следующим количеством записей в выборке: 1000, 5000, 10 000 вакансий, находящихся в одинаковых условиях отбора по трем различным методам:

1) когда не все данные передаются в SQL-запросе, и системе необходимо дополнительно обращаться к сущности «Вакансия» и получить данные по координатам. Постобработка данных, а именно формирование таблицы на форме с результатами, формирование дополнительного рейтинга и сортировка производятся на стороне сервера, а клиенту возвращается результат;

2) когда все данные, включая координаты, передаются в SQL-запросе и системе не нужно обращаться к сущности «Вакансия» дополнительно. Постобработка данных производится на стороне сервера, а клиенту возвращается результат на форму;

3) когда все данные, включая координаты, передаются в SQL-запросе и системе не нужно обращаться к сущности «Вакансия» дополнительно. При этом частичная постобработка, а именно формирование дополнительного рейтинга, происходит на стороне сервера, а клиенту возвращается результат, где формируется таблица на форме и производится сортировка данных.

Так как в третьем способе идет частичная постобработка данных на клиентской части приложения, то целесообразно проанализировать, повлечет ли это увеличение времени обработки данных в целом. Результаты замеров представлены в таблице. Результаты, связанные с выполнением первой части расчета, а именно формирование рейтинга при запросе, представлены слева от разделителя, а расчет дополнительного рейтинга представлен справа от разделителя. Все значения отображены в секундах. Замеры проводились три раза над каждым набором записей, округление было до первой значащей цифры, итоги разделяются на две части – это время самого запроса и время постобработки данных. Для третьего способа данные постобработки представлены в двух частях, а именно выполнение замера на стороне сервера и на стороне клиента.

Замеры функционала подсчета рейтинга вакансий (с)

Способ	1000 записей	5000 записей	10 000 записей
Первый	0,323 / 1,538	0,361 / 7,894	0,371 / 15,934
Второй	0,318 / 0,155	0,351 / 1,151	0,366 / 2,516
Третий	0,314 / 0,161 + 0,235	0,345 / 1,025 + 1,174	0,351 / 2,278 + 2,386

Проведенные эксперименты позволяют сделать вывод, что при формировании первой части комплексного рейтинга время выполнения запроса несущественно возрастает с ростом количества записей и, следовательно, не оказывает значительного влияния на выполнение общей обработки во всех трех способах. Поэтому время ожидания в большой мере зависит от постобработки данных. Формирование второй части комплексного рейтинга происходит на сервере, но при этом в первом способе происходит дополнительный подзапрос к сущности «Вакансия», чтобы получить координаты вакансии, а во втором способе эти координаты были получены во время запроса. Затем производится расчет второй части комплексного рейтинга, после этого данные отображаются на форме. В третьем случае после

формирования второй части комплексного рейтинга данные были сформированы и отправлены клиенту, где в дальнейшем происходит их отображение и сортировка.

Эффективную отдачу от использования инструментария могут получить несколько категорий пользователей:

- абитуриенты вузов и колледжей смогут оценить ситуацию с трудоустройством по выбираемой для поступления профессии;

- приемные комиссии образовательных учреждений могут использовать агрегированную информацию для обоснования востребованности профессий и соответствующих им направлений подготовки в профориентационных целях;

- люди в поисках новой работы или желающие получить переквалификацию могут получить необходимую информацию о вакансиях и обобщенные требования рынка труда по выбранной профессии;

- центрам занятости населения предоставляется возможность подбора вакансии для нетрудоустроенного лица с учетом его индивидуальных предпочтений, выделения с помощью семантического анализа набора обобщенных требований работодателей к специалисту данной профессии для отправки соискателя на соответствующие курсы переподготовки или повышения квалификации для получения недостающих компетенций;

- отделы содействия трудоустройству выпускников в вузах получают полезный инструмент подбора рекомендаций выпускникам с учетом полученной ими квалификации не только в регионе их проживания (обучения), но и в других регионах, что позволит увеличить мобильность выпускников и удовлетворить потребность отраслей в молодых специалистах;

- центрам профессиональной переподготовки и повышения квалификации инструментарий позволит владеть актуальной информацией о потребностях рынка труда и своевременно актуализировать или открывать новые программы профессиональной переподготовки.

### **Библиографический список**

1. Жевакин Д.М., Широбокова С.Н., Диков М.Е. О проектировании информационной системы подбора подходящих вакансий // Моделирование и конструирование в образовательной среде: сб. материалов V Всеросс. (с междунар. участием) науч.-практ., методол.

конф. для науч.-педагог. сообщества, 18 апреля 2020 г., г. Москва. – М.: Издательство ГБПОУ «Московский государственный образовательный комплекс», 2020. – С. 141–146.

2. Формализованная модель формирования рейтинга вакансий и выделения требований рынка труда к ключевым профессиональным компетенциям / С.Н. Широбокова, Д.М. Жевакин, М.Е. Диков, Т.И. Перекрестова // Перспективы науки. – 2020. – № 9. – С. 28–32.

### **Сведения об авторах**

**Жевакин Дмитрий Михайлович** – магистрант II курса направления подготовки «Прикладная информатика» кафедры «Информационные и измерительные системы и технологии» Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) им. М.И. Платова, Новочеркасск, e-mail: dimas-zhevakin@yandex.ru

**Широбокова Светлана Николаевна** – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Информационные и измерительные системы и технологии» Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) им. М.И. Платова, Новочеркасск, e-mail: shirobokova\_sn@mail.ru

### **About the authors**

**Zhevakin Dmitry Mikhailovich** – 2nd year undergraduate of the direction of training "Applied Informatics" department Information and measuring systems and technologies South-Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platova, Novocherkassk, e-mail: dimas-zhevakin@yandex.ru

**Shirobokova Svetlana Nikolaevna** – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Information and Measuring Systems and Technologies South-Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platova, Novocherkassk, e-mail: shirobokova\_sn@mail.ru

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО РАСКРОЯ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИЗАЙН-ПРОЕКТОВ ИЗ ТРУБЧАТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

**Г.И. Борзунов, П.А. Новикова**

Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина  
(Технологии. Дизайн. Искусство), Москва

В данной статье рассматривается разработка методики создания дизайн-проектов из трубчатых элементов с использованием графического редактора GIMP на базе использования современных компьютерных технологий. В рамках данной методики разработана автоматизированная процедура оптимального раскрой, позволяющая рассчитать раскрой исходного материала. Использование результатов работы позволит минимизировать отходы используемого сырья.

**Ключевые слова:** оптимальный раскрой; задача упаковки в контейнеры; дизайн-проект; автоматизация; стеклярус.

## **THE USE OF MODERN COMPUTER TECHNOLOGIES TO SOLVE THE PROBLEM OF OPTIMAL CUTTING WHEN IMPLEMENTING DESIGN PROJECTS FROM TUBULAR ELEMENTS**

**G.I. Borzunov, P.A. Novikova**

Russian State University named after A.N. Kosygina  
(Technologies. Design. Art), Moscow

This article discusses the development of a methodology for creating design projects from tubular elements using the GIMP graphic editor based on the use of modern computer technologies. Within the framework of this technique, an automated procedure for optimal cutting has been developed, which makes it possible to calculate the cutting of the initial material. Using the results of the work will minimize the waste of the raw materials used.

**Keywords:** optimal cutting; the task of packing into containers; design project; automation; bugles.

Работы, выполненные с использованием бисера, можно встретить в разных сферах человеческой деятельности. XVII в. подарил человечеству новую разновидность бисера – стеклярус. Он в разы длиннее обычного бисера, поэтому меньшим количеством элементов можно

заполнить большие площади ткани, что значительно ускорило процесс вышивания.

С каждым годом область применения дизайн-проектов с частичным или полным использованием бисера и стекляруса становится более обширной. А масштабы инсталляций постоянно увеличиваются. Примером может послужить грандиозная работа из бисера Бенджамина Бола для одного из музыкальных клубов Нэшвилла, которая превратилась в городской символ благодаря своей оригинальности и новизне (рис. 1).



Рис. 1. Инсталляция из бисера от Бенджамина Бола

Ранее разработана методика оптимального использования фильтров графического редактора GIMP, выбраны наиболее удачные сочетания фильтров, позволяющие адекватно визуализировать стеклярусные композиции. На основании эмпирических исследований была создана универсальная методика создания схем размера А4 из любого изображения для вышивания стеклярусом размером 10×2 миллиметра – одного из наиболее популярных стандартных размеров стекляруса. Далее, в рамках этой методики исследовались возможности оптимального раскроя, описанные ниже. На рис. 2 в качестве примера приведено исходное изображение (а) и готовая схема для вышивания (б).

Классический стеклярус изготавливается из стеклянных трубок, но он также может быть сделан из пластмассовых или металлических заготовок разной длины методом резки. А если ювелиры или дизайнеры будут использовать в своих работах цилиндрические элементы,

напоминающие стеклярус, только сделанные из драгоценных металлов: золота, серебра, платины и других, то при изготовлении очень важно рассчитать оптимальную длину элементов с целью минимизации отходов, что поможет заказчику сэкономить значительную сумму. Повышается важность задачи оптимизации линейного раскроя – трубчатых материалов или прута, используемых для изготовления элементов изделия методом их резки.



Рис. 2. Исходное изображение (а) и готовая схема (б)

Если же стеклярус изготавливается из пластика, задача оптимизации раскроя также важна: количество отходов находится в прямо пропорциональной зависимости влияния на экологию и окружающую среду. Именно в подобных ситуациях значительно вырастает актуальность использования оптимальных алгоритмов раскроя трубчатых элементов.

Методов оптимального раскроя материалов довольно много. Критериями оптимальности могут служить: минимальный расход материала, минимальные отходы материала, раскрой с учетом комплектации исходных заготовок. Одним из популярных методов является решение задачи упаковки в контейнеры. Он удобен и прост в программной реализации, что позволяет легко автоматизировать его при разработке соответствующих дизайн-проектов. Кроме того,

«Задача упаковки в контейнеры» является адекватной математической моделью оптимального раскроя стеклярусных трубок и других линейных элементов [1].

Формулировка задачи для нашего конкретного случая следующая: пусть для реализации дизайн-проекта требуется подготовить  $K$  стеклярусных элементов:

$$K = l_1k_1 + l_2k_2 + \dots + l_rk_r,$$

где  $r$  – число типоразмеров,  $k_i$  – длина стеклярусного элемента  $i$ -того типоразмера,  $l_i$  – требуемое количество стеклярусных элементов длиной  $k_i$  при  $i=1, 2, \dots, r$ .

Требуется получить  $K$  указанных стеклярусных элементов путём гильотинного раскроя (нарезки) из минимального количества трубок длиной  $P$  [2].

Были рассмотрены 4 алгоритма, осуществляющие решение «Задачи об упаковке в контейнеры»: следующий подходящий, первый подходящий, наилучший подходящий, наихудший подходящий. Из них опытным путем выявлен наиболее эффективный для реализации дизайн-проект из стекляруса.

Проведено экспериментальное исследование возможностей алгоритмов упаковки в контейнеры для оптимизации раскроя исходных заготовок при реализации дизайн-проектов.

Для представленной на рис. 2 схемы необходимо 3150 элементов выбранного размера (30 штук по вертикали и 105 штук по горизонтали).

При выявлении наиболее эффективного алгоритма упаковки в контейнеры для наглядности упростим задачу – необходимо разложить стеклярус одного цвета длиной 10 мм на схеме размером А4. Суммарная длина стеклярусов – 31 500 мм (3150 элементов), эта же цифра является общей длиной цилиндрической заготовки. Рассмотрим два варианта длин заготовок (контейнеров) для производства стекляруса – 500 и 300 мм и оценим, какое количество заготовок указанного размера понадобится. Для предлагаемого варианта получается 100-процентная заполняемость. Причем для всех четырех алгоритмов. Заготовок по 500 мм необходимо 63 штуки, по 300 мм – 105 штук. В практических работах используется стеклярус и других стандартных размеров: 2, 4, 7, 10, 12 мм. Аналогичным образом были проведены расчеты и для этих длин стекляруса. Для расчетов использовался специальный калькулятор [3], ее расчёты представлены в табл. 1.

Таблица 1

## Расчеты по использованию двух вариантов заготовок

Размер стекляруса (мм)	2	4	7	10	12
Количество стеклярусинок (шт.)	15645	7875	4515	3150	2625
Количество заготовок по 500 мм (шт.)	63	63	64	63	65
Использование заготовок по 500 мм (%)	<b>99,33</b>	<b>100</b>	<b>98,77</b>	<b>100</b>	<b>96,92</b>
Количество заготовок по 300 мм (шт.)	105	105	108	105	105
Использование заготовок по 300 мм (%)	<b>99,33</b>	<b>100</b>	<b>97,55</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Анализ результатов показал, что количество отходов от заготовки длиной 500 мм при вышивании схемы размером А4 стеклярусом минимально при длине стекляруса 10 и 4 мм, а от заготовки 300 мм – при длине стекляруса 4, 10, 12 мм. Однако стеклярус длиной менее 5 мм является рубкой, он используется для придания некоторым элементам изделия специфических декоративных свойств, для данной задачи неактуален. А стеклярус длиной 12 мм оптимален не для каждого случая. Таким образом, стеклярус длиной 10 мм является самым выгодным в экономическом плане при распиливании заготовок 0,5 м или 0,3 м. Именно поэтому схему размером А4 рациональнее вышивать стеклярусом этой длины.

По работе алгоритмов выявлено, что принцип работы у всех разный, но полученный результат при расчете для равных длин стекляруса является одинаковым. При больших размерах элементов алгоритм «Следующий подходящий» показывает наихудший результат.

При работе над дизайн-проектом вышивки из стекляруса иногда возникает необходимость использовать стеклярус разного размера (2, 4, 7, 10, 12 мм) в одном проекте. Соответствующие расчеты по алгоритмам «Задачи об упаковке в контейнеры» в этом случае дали практически аналогичные результаты. Наибольшей эффективности соответствуют заготовки длиной 500 и 300 мм – 99,9 %. При уменьшении длины заготовок эффективность снижается (99,7 % при длине 200 мм). При увеличении длины заготовок эффективность также падает (до 99,3 % при длине 1000 мм).

При массовом производстве и использовании дорогостоящих материалов экономия сырья может быть значительная. Алгоритм «следующий подходящий» и здесь показал наихудший результат. В нашем случае разница в процентном соотношении общего использования контейнеров доходила до 0,5–1,6 %. (табл. 2).

Таблица 2

## Сравнение эффективности алгоритмов

Длина заготовки (мм)	200	300	500	700	1000
Алгоритм «Следующий подходящий» (% общего использования контейнеров)	98,1	99,6	99,3	99,7	99,3
Остальные алгоритмы (% общего использования контейнеров)	99,7	99,9	99,8	99,7	99,3

Полученные в работе результаты можно использовать не только при вышивке стеклярусом, но и в других сферах деятельности. Например, при разработке дизайна интерьеров помещений, украшенных панно или инсталляциями из линейных и трубчатых элементов, где необходима оптимизация раскроя исходного материала. Готовую схему можно масштабировать. Используя программное обеспечение для 3D-моделирования и визуализации, например *Autodesk 3dsMax*, разработчик получает возможность увидеть будущую работу в любом интерьере.

Появляется возможность просмотра одного и того же изображения и в рамке жилой комнаты, и на стене жилого помещения, и на фасаде здания. Появляется возможность еще на уровне проектирования вносить необходимые коррективы в работу. Достигается этот эффект за счет увеличения длины и диаметра трубчатых элементов – «труботизация». При этом количество элементов остается постоянным, меняется только их физический размер. Но не все картины и в этом случае можно выполнить из трубочек одной длины, в некоторых случаях приходится комбинировать элементы разной длины. Снова появляется необходимость решения задачи оптимизации и раскроя. Критерием и здесь может являться минимум обрезков, поскольку материалы могут быть дорогостоящими [4].

Для демонстрации идеи был взят гобелен «Медитация» заслуженного художника Российской Федерации, члена Московского Союза художников и Международного художественного фонда В.Д. Уварова. Фактический размер работы составляет 200×350 см. Предположим, что вся работа выполнена из трубчатых элементов. Изменяя размер элементов, можно посмотреть, как проект будет выглядеть в разных интерьерах, например, в помещениях РГУ им. А.Н. Косыгина (рис. 3).



*а*

*б*

Рис. 3. Визуализация интерьера холла (*а*) и библиотеки (*б*)

Представленная в работе схема имеет широкое применение. Описанные методы являются перспективными технологиями для дизайнеров, так как появляется возможность из любого изображения сделать универсальную схему, а, меняя размер элементов, подобрать оптимальный размер изделия. Кроме того, подобными приемами можно делать инсталляции и другие городские объекты – разнообразие области применения и видимая перспектива развития.

Технологии реализации дизайн-проектов и информационные технологии тесно связаны между собой, а их совместное применение позволяет получить новые дизайнерские решения. Таким образом, компьютерные технологии позволяют открыть новые и расширить традиционные области дизайна за счет новых технологических решений, а также повысить эффективность реализации дизайн-проектов путем автоматизации процессов создания технологических схем, достижения экономической и экологической выгоды при сокращении отходов, масштабировании проектных решений при адаптации к среде применения, детальной проработке многовариантных проектных решений ещё на стадии моделирования.

### **Библиографический список**

1. Кортэ Б., Фиген Й. Комбинаторная оптимизация. Теория и алгоритмы / пер. с англ. М.А. Бабенко. – М.: МЦНМО, 2015. – 720 с.
2. Борзунов Г.И., Фирсов А.В., Новиков А.Н. Оптимальный раскрой как задача упаковки в контейнеры // Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2020): сб. материалов Междунар. науч.-техн. конф. Ч. 2. – М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2020. – С. 231–234.

3. Задача об упаковке в контейнеры [Электронный ресурс] // Калькулятор решает задачу об упаковке в контейнеры разными эвристическими алгоритмами. – URL: <https://planetcalc.ru/917/> (дата обращения: 10.07.2020).

4. Новикова П.А., Борзунов Г.И. Применение оптимального раскроя для трубчатых элементов // Инновационное развитие техники и технологий в промышленности (ИНТЕКС-2020): сб. материалов Всерос. науч. конф. молодых исследователей с междунар. участием. Ч. 3. – М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2020. – С. 22–26.

### **Сведения об авторах**

**Борзунов Георгий Иванович** – доктор технических наук, доцент кафедры «Информационные технологии и компьютерный дизайн» Российского государственного университета им. А.Н. Косыгина, Москва, e-mail: [parproc@gmail.com](mailto:parproc@gmail.com)

**Новикова Полина Александровна** – студентка Российского государственного университета им. А.Н. Косыгина, Москва, e-mail: [novpol@inbox.ru](mailto:novpol@inbox.ru)

### **About the authors**

**Borzunov Georgy Ivanovich** – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information Technologies and Computer Design Russian State University named after A.N. Kosygina (Technologies. Design. Art), Moscow, e-mail: [parproc@gmail.com](mailto:parproc@gmail.com)

**Novikova Polina Aleksandrovna** – Student Russian State University named after A.N. Kosygina (Technologies. Design. Art), Moscow, e-mail: [novpol@inbox.ru](mailto:novpol@inbox.ru)

**КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПОТРЕБНОСТЕЙ ОРГАНИЗАЦИЙ ТЭК В ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩЕЙ ПРОДУКЦИИ**

**А.В. Трусов, Д.И. Минтагиров**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

В данной статье рассматривается концептуальная модель информационно-аналитической системы наблюдения и управления импортозамещением в отраслях топливно-энергетического комплекса.

**Ключевые слова:** топливно-энергетический комплекс; единое хранилище данных; концептуальная модель; цифровой портал.

**CONCEPTUAL MODEL OF THE INFORMATION AND ANALYTICAL SYSTEM FOR SUPPORTING THE NEEDS OF FUEL AND ENERGY SECTOR ORGANIZATIONS IN IMPORT-SUBSTITUTING PRODUCTS**

**A.V. Trusov, D.I. Mintagirov**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

This article discusses a conceptual model of an information and analytical system for monitoring and managing import substitution in the fuel and energy complex.

**Keywords:** fuel and energy complex; a single repository of data; a conceptual model; a digital portal.

В текущих экономических и политических условиях одним из самых важных факторов, безусловно, оказывающих влияние на развитие российской экономики, является фактор международного сотрудничества в области производства и поставок на международные рынки топливно-энергетических ресурсов. Поэтому значимой стратегической целью внешней энергетической политики страны является наиболее эффективное и продуктивное использование энергетического потенциала России для полноценной интеграции в мировой энергетический рынок, усиления позиций на нем и получения максимальной выгоды для экономики страны. Для достижения существующей цели очень важно обеспечить предельно эффективную работу, ста-

бильное развитие и предсказуемость топливно-энергетического комплекса России.

Основу современных производственных и технологических процессов компаний ТЭК России составляют зарубежное оборудование и зарубежное программное обеспечение. Вследствие этого ТЭК имеет большую зависимость от зарубежных технологий. Под влиянием санкций США и ЕС объемы ввоза иностранного высокотехнологичного оборудования и программного обеспечения снижены до минимума, что несет сильный дефицит технологий для полноценной и эффективной работы комплекса, и появляется необходимость в полном импортозамещении технологий. В связи этим имеется проблема, связанная с тем, что отсутствует единый информационный контур между компаниями, входящими в топливно-энергетический комплекс, и отечественными производителями (разработчиками) оборудования, необходимого для полноценной работы, а также программного обеспечения. Решение данной проблемы невозможно без создания системы информационно-аналитического обеспечения, которая необходима для принятия управленческих решений, а также система позволит предельно эффективно использовать научно-технологический потенциал регионов России.

Разрабатываемая системы предназначена для сокращения зависимости российского ТЭК от зарубежной продукции, что делает систему крайне актуальной.

Целью системы является обеспечение предприятий топливно-энергетического комплекса оперативной, достоверной и своевременной информацией о возможностях промышленных предприятий, научных организаций и высших учебных заведений в разработке и производстве импортозамещающей продукции для потребностей предприятий ТЭК.

Важным моментом предлагаемой системы является то, что она позволяет осуществить взаимодействие между субъектами импортозамещения, включая организации ТЭК, научные и образовательные учреждения, наукоемкие промышленные компании. Все это позволяет уменьшить зависимость топливно-энергетического комплекса от импортной продукции, включая оборудование, технологии, программное обеспечение, материалы и комплектующие.

Предлагаемое концептуальное решение создает на уровне субъектов Федерации единую информационно-аналитическую систему

наблюдения и управления импортозамещением в отраслях топливно-энергетического комплекса, оказывающую взаимоусиливающий эффект от взаимодействия промышленных предприятий, высших учебных заведений, научных организаций и компаний топливно-энергетического комплекса, ориентированного на уменьшение зависимости ТЭК от импортной продукции. Также осуществляет мониторинг осуществления планов мероприятий по импортозамещению в отрасли нефтегазового машиностроения (приказ Минпромторга России №645 от 31 марта 2015 г.), в химической промышленности (приказ Минпромторга России №646 от 31 марта 2015 г.) [1].

Концептуальная модель информационно-аналитической системы представлена на рисунке.

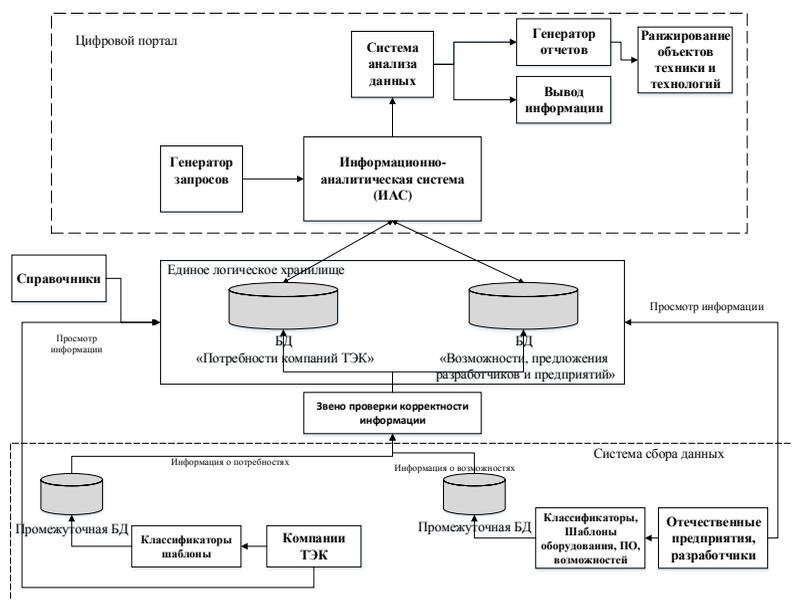


Рис. Концептуальная модель системы

Система состоит из трех основных элементов: система сбора первичных данных; единое логическое хранилище данных; цифровой портал. Система сбора первичных данных отвечает за сбор информации, с одной стороны, о потребностях предприятий, входящих в состав ТЭК, в оборудовании, комплектующих и запасных частях, услу-

гах по разработке программного обеспечения или каких-либо работах. С другой стороны, система отвечает за сбор информации от предприятий, разработчиков, высших учебных заведений о выпускаемом/разрабатываемом оборудовании, программном обеспечении, а также об их возможностях. Между первой и второй ступенью системы находится звено проверки корректности заполнения информации, полученной от предприятий, разработчиков и компаний комплекса. Блок необходим для работы системы, так как если система будет заполнена некорректной информацией, это будет сказываться на результате обработки данных, а также на работе системы в целом.

Единое логическое хранилище данных представляет собой логически связанные базы данных и отвечает за хранение уже проверенной информации, полученной от системы сбора данных.

На третьей ступени находится цифровой портал – голова системы, необходимая для взаимного обмена информацией между участниками системы. Портал состоит из блоков анализа и визуализации данных. Имеется возможность выводить упорядоченную информацию, запрошенную с помощью блока генератора запросов, а также может заполнять отчеты, необходимые для различного рода анализа, например выполнения отраслевых/корпоративных/региональных/планов. После составления отчетов система может провести ранжирование данных по объектам техники и технологий, что является важным аспектом при выборе наиболее нуждающейся в поддержке отрасли топливно-энергетического комплекса.

Таким образом, данная разрабатываемая система позволит укрепить политическое положение страны на мировом рынке, укрепить экономику страны, наладить эффективную работу ТЭК России, стабилизировать его развитие, а также поможет решить проблему технологической зависимости от Запада\*. Создание единого информационного пространства между компаниями ТЭК и предприятиями, разработчиками позволяет развивать российскую промышленность, а также дает возможность отечественной промышленности разрабатывать и выпускать технологии под нужды ТЭК.

---

\* Трусов А.В., Трусов В.А. Информационные модели процесса формирования планов импортозамещения в топливно-энергетическом комплексе России // Информационные ресурсы России. – 2018. – № 5. – С. 15–21

### **Сведения об авторах**

**Трусов Александр Владимирович** – доктор технических наук, доцент, директор Пермского ЦНТИ – филиала ФГБУ «Российское энергетическое агентство» Минэнерго России, профессор Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: tav@permcnti.ru

**Минтагиров Денис Илнурович** – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: denmintagirov@mail.ru

### **About the authors**

**Trusov Aleksandr Vladimirovich** – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Director Perm Center for Science and Technology – branch of the Federal State Budgetary Institution "REA" of the Ministry of Energy of Russia, Professor Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: tav@permcnti.ru

**Mintagirov Denis Ilurovich** – Master's Student Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: denmintagirov@mail.ru

**ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ КЛАССИФИКАЦИИ  
ИНФОРМАЦИОННЫХ ОБЪЕКТОВ (ОБЪЕКТОВ ТЕХНИКИ)  
В БАЗЕ ДАННЫХ «ТЕХНОЛОГИИ И ПРОЕКТЫ  
ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ»**

**А.В. Трусов, Д.В. Елисеев**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

В работе рассматриваются основные подходы и механизмы формирования системы классификации объектов техники (технологии) в отраслях ТЭК. Разработана структура системы классификации. Сформированы справочники и классификаторы.

**Ключевые слова:** информационная поддержка; база данных; система; классификации; классификаторы; справочники.

**FORMATION OF A CLASSIFICATION SYSTEM  
FOR INFORMATION OBJECTS (EQUIPMENT OBJECTS)  
IN THE DATABASE "IMPORT SUBSTITUTION  
TECHNOLOGIES AND PROJECTS»**

**A.V. Trusov, D.V. Eliseev**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

The paper discusses the main approaches and mechanisms for the formation of a system of classification of objects of equipment (technology) in the fuel and energy sectors. The system structure is developed. Reference books and classifiers have been formed.

**Keywords:** Information support; database; classification system; classifiers; manuals.

Совместная работа субъектов инновационного развития (СИР) топливно-энергетического комплекса (ТЭК) подразумевает протекание большого количества информационно-организационных и управленческих процессов, которые располагают к анализу, разработке планов и прогнозированию научно-технологического развития. В целях стимулирования взаимодействия субъектов топливно-энергетического комплекса и оптимизации процессов, протекающих с их участием, разрабатываются различные аналитические информационные системы,

позволяющие формировать интегрированные хранилища данных (ИХД), в том числе специализированные базы данных (БД).

БД обеспечивают СИР доступ к сбору исходной информации по отраслевым приоритетам, в том числе в рамках объектов оборудования (технологий) в отраслях ТЭК, находящихся на этапе создания, на этапе использования в производстве и вводимых в эксплуатацию. Таким образом, БД обеспечивают субъектов научно-технического развития топливно-энергетического комплекса необходимой актуальной аналитической информацией.

Одной из таких специализированных баз является БД «Типовые проекты импортозамещения». БД ТПИ является интегрируемым хранилищем данных, в котором концентрируется информация от производителей и потребителей об эксплуатируемых, а также разрабатываемых и внедряемых инновационных и высокотехнологичных информационных объектах (объектах техники), которые рассматриваются в процессе импортозамещения в отраслях ТЭК.

Чтобы сформировать полное представление об объекте техники (технологии), а также проводить наиболее эффективный выбор и анализ информации о таких объектах, необходимо создать исключительное и всеохватывающее средство для формализации данных. Решение данной задачи возможно с помощью процесса классифицирования и проектирования инструментов для его реализации в рамках информационных объектов техники и технологии.

Классификация информационных объектов (ИО) представляет собой разделение данных объектов на группы на основе выбранной системы классификации (СК). Классификация обуславливается:

- выделением общих признаков ИО;
- обработкой информации на основе сформированных правил и процедур;
- сокращением затрат времени на анализ информации;
- повышением эффективности при работе с информацией;

В рамках БД ТПИ используется фасетная система классификации (ФСК), которая позволяет устанавливать признаки классификации вне зависимости друг от друга и от смыслового состава объектов, подвергаемых классификации [3].

Для формирования правил формализации естественного языка в целях классификации информационных объектов, используемых в БД ТПИ при ее функционировании, была спроектирована компози-

ционная схема формирования системы справочников и классификаторов информационной карты «Типовые проекты импортозамещения», приведенная на рисунке.

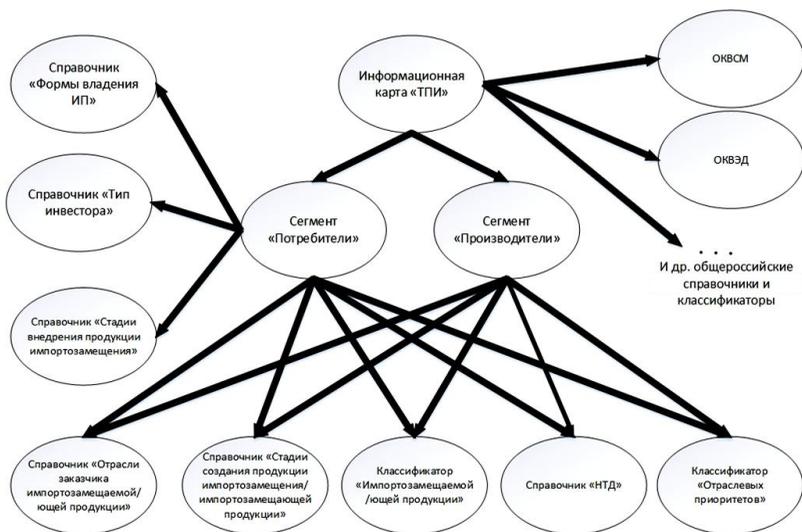


Рис. Композиционная схема информационной карты «Типовые проекты импортозамещения»

Информационная карта БД ТПИ состоит из двух независимых информационных контуров:

- сегмент «Потребители», информационная карта БД ТПИ.
- сегмент «Производители», информационная карта БД ТПИ.

Для формирования информационной карты «Типовые проекты импортозамещения» в БД ТПИ используются следующие общероссийские классификаторы:

- общероссийский классификатор видов экономической деятельности действующей редакции;
- общероссийский классификатор продукции действующей редакции;
- общероссийский классификатор административно-территориального деления объектов действующей редакции.
- общероссийский классификатор стран мира действующей редакции.

Для формирования информационной карты «Типовые проекты импортозамещения» в БД ТПИ используются следующие специализированные справочники и классификаторы, действующие только внутри БД ТПИ, а именно:

1. В рамках сегмента «Потребители» используются следующие специализированные справочники и классификаторы, осуществляющие поддержку информационных объектов только внутри данного сегмента:

- справочник «Формы владения импортозамещаемой продукцией»;
- справочник «Тип инвестора»;
- справочник «Стадии внедрения продукции импортозамещения».

2. В рамках сегментов «Потребители» и «Производители» информационной карты БД ТПИ используются следующие совместные/общие специализированные справочники и классификаторы, осуществляющие поддержку информационных объектов внутри каждого из этих сегментов:

- Классификатор «Классификация импортозамещаемой продукции/ импортозамещающей продукции производителя»;
- справочник «Отрасли заказчика импортозамещаемой продукции/импортозамещающей продукции производителя»;
- классификатор «Классификатор отраслевых приоритетов»;
- справочник «Стадии создания продукции импортозамещения/импортозамещающей продукции»;
- справочник «Международные и отечественные нормативно-технические документы, регламентирующие требования к продукции».

На основе использования существующих и сформированных справочников и классификаторов появляются следующие возможности:

- актуализация необходимых данных в рамках работы с БД ТПИ, которые возможно проклассифицировать и закодировать в виде справочников и классификаторов;
- визуализация в виде простого или иерархического списка сформированных справочников и классификаторов;
- редактирование уже существующих и добавление новых элементов в справочники и классификаторы с учетом наличия прав доступа соответствующего уровня;

В результате сформированной композиционной схемы информационной карты «Типовые проекты импортозамещения» и справочников и классификаторов в виде таблиц на их основе осуществляется

поддержка информационных объектов при сборе исходных данных и разработка на их основе ИХД, а также оперативный доступ к информации хранилища БД ТПИ.

### **Библиографический список**

1. Трусов А.В., Трусов В.А. Система информационно-аналитической поддержки научно-технологического развития отраслей топливно-энергетического комплекса // Информационные ресурсы России: науч.-практ. журнал. – 2017. – № 3(157). – С. 2–5.

2. Трусов А.В., Трусов В.А. Формирование единого информационного пространства научного и технологического прогресса развития отраслей ТЭК // Международный научный журнал «Информация и инновации» // Сборник трудов конференции «Наукометрия и библиометрия» 21–22 сентября 2017 года, г. Москва. Специальный выпуск. – М., 2017. – С. 123–126.

3. Системы классификации [Электронный ресурс]. – URL: [https://studbooks.net/22220/bankovskoe\\_delo/sistemy\\_klassifikatsii\\_informatsii](https://studbooks.net/22220/bankovskoe_delo/sistemy_klassifikatsii_informatsii) (дата обращения: 20.12.2020).

### **Сведения об авторах**

**Трусов Александр Владимирович** – доктор технических наук, доцент, директор, Пермского ЦНТИ – филиала ФГБУ «Российское энергетическое агентство» Минэнерго России, профессор Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: [tav@permcnti.ru](mailto:tav@permcnti.ru)

**Елисеев Дмитрий Викторович** – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: [dmitriy.elisvv@gmail.com](mailto:dmitriy.elisvv@gmail.com)

### **About the authors**

**Trusov Alexander Vladimirovich** – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Director, Perm Central Scientific and Technical Institute – Branch of the Federal State Budgetary Institution "REA" of the Ministry of Energy of Russia, Professor Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: [tav@permcnti.ru](mailto:tav@permcnti.ru)

**Eliseev Dmitry Viktorovich** – Master's Student of the Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: [dmitriy.elisvv@gmail.com](mailto:dmitriy.elisvv@gmail.com)

## **ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА КРИТЕРИЕВ РАНЖИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ, ВОЗМОЖНЫХ К ПРИМЕНЕНИЮ В ОТРАСЛЯХ ТЭК**

**А.В. Трусов, В.Д. Ветрова**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

В данной статье рассматриваются факторы, позволяющие на основе нормативно-правовых актов, сформировать критерии отнесения объектов техники (технологий) к современным высокотехнологичным технологиям, возможных к применению в ТЭК, необходимых для их ранжирования.

**Ключевые слова:** топливно-энергетический комплекс; уровень критичности; объект техники; научно-технологическое развитие, наилучшие доступные технологии.

## **JUSTIFICATION OF THE CHOICE OF CRITERIA FOR RANKING OBJECTS OF EQUIPMENT AND TECHNOLOGIES THAT CAN BE USED IN THE FUEL AND ENERGY SECTORS**

**A.V. Trusov, V.D. Vetrova**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

This article discusses the factors that allow, on the basis of regulatory legal acts, to form criteria for classifying objects of equipment (technologies) to modern high-tech technologies that can be used in the fuel and energy sector, and are necessary for their ranking.

**Keywords:** fuel and energy complex; level of criticality; object of technology; scientific and technological development, the best available technologies.

Разрабатываемые для применения в рамках топливно-энергетического комплекса (ТЭК) России критерии отнесения объектов техники (технологий) к инновационным перспективным технологиям должны учитывать немалое количество факторов. Одним из основных является фактор допустимости вносимого вклада технологий в решение поставленных перед ТЭК задач. Безусловно, это фактор в большей мере носит стратегический характер, но, наряду с этим, стоит учитывать и следующие немаловажные факторы:

- повышение эффективности технологических процессов и производств, т.е. оптимизация их количественных и качественных показателей;
- распространение и использование одного объекта техники (технологии) в новых сферах деятельности;
- повышение экономических показателей и эффективности от эксплуатации объектов техники (технологий).

Быстрое развитие технологий приводит к появлению новых показателей и критериев отбора инновационных объектов техники (технологий) и, как следствие, постоянной модернизации алгоритмов выбора последних. Таким образом, изменчивость технологий оказывается одной из важнейших характеристик при построении стратегических планов развития отраслей ТЭК в рамках жизненного цикла потребности в объектах техники (технологий). Основопологающим для критериев отбора современных объектов техники (технологий) являются всевозможные количественные и качественные показатели. Данные критерии являются базой для ранжирования инновационной техники (технологии) в отраслях ТЭК. На рисунке в виде схемы представлен список критериев, используемых для проведения ранжирования с соответствующими им нормативно-законодательными документами, на которых они базируются.

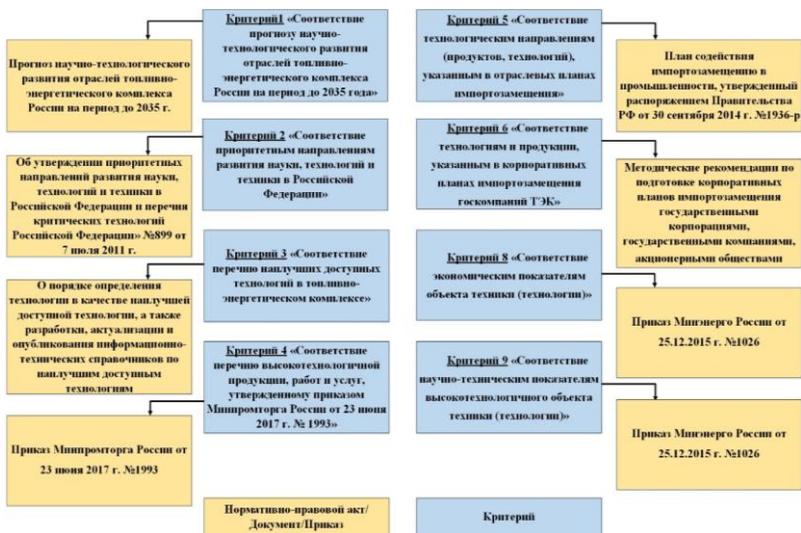


Рис. Критерии, используемые для ранжирования объектов техники (технологий) в отраслях ТЭК

Важнейшим качественным критерием, является соответствие прогнозу научно-технологического развития отраслей топливно-энергетического комплекса России. Этот критерий сформирован на нормативно-правовом акте «Прогноз научно-технологического развития отраслей топливно-энергетического комплекса России на период до 2035 г.», утвержденного Минэнерго России. Прогноз НТР сформирован на основе результатов прогнозов, ведущих международных и отечественных организаций. Данный критерий является ключевым, которому должны удовлетворять современные высокотехнологические (перспективные) объекты техники и технологии в отраслях ТЭК.

Критерий соответствия приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники в Российской Федерации базируется на Указе Президента Российской Федерации №899 от 7 июля 2011 г. [2]. Критерий обеспечивает отнесение направлений, которые являются приоритетными для развития науки и технологий отраслей ТЭК, по разделу «Рациональное природопользование».

Наилучшие доступные технологии – это технологии, которые нашли широкое применение в отраслях ТЭК, являются апробированными и показавшими, наряду с экономической эффективностью и высокой технологичностью, минимальное негативное воздействие на внешнюю среду. Исходя из этого, отнесение объекта техники (технологии) к наилучшим доступным технологиям позволяет применить к нему критерий, оценивающий современные перспективные технологии в отраслях ТЭК.

В рамках евроазиатского экономического сотрудничества проводятся работы по созданию условий для благоприятного развития национальных экономик, членов Евразийского экономического союза, в первую очередь для того, чтобы создать условия для интеграции экономик и повышения жизненного уровня населения. В этих целях сформирован единый реестр услуг и продукции. Приказом Минпромторга России от 23 июня 2017 г. №1993 принят реестр высокотехнологичной продукции, услуг и работ в зависимости от направлений модернизации экономики России. Отнесение объекта техники (технологии) к данному реестру является еще одним из критериев.

Начиная с 2014 г. в топливно-энергетическом комплексе сложилась негативная ситуация, связанная с введением санкций ведущими зарубежными странами и, как следствие, зарубежными компаниями,

на поставку оборудования и технологий, используемых в технологических и производственных процессах компаниями ТЭК. В связи с этим Правительством РФ 30 сентября 2014 г. №1936-р был принят документ «План содействия импортозамещению в промышленности», на основании которого формируются отраслевые планы импортозамещения. Данные планы содержат информацию о показателях, непосредственно влияющих на выбор и порядок формирования реестра современных технологий в отраслях ТЭК. В частности, отраслевые планы включают следующие показатели: наименование отрасли; класс технологического направления; техника, технология (в рамках технологического направления); шифр техники, технологии; код ОКПД 2 (техники, технологии). Данный критерий обеспечивает соответствие между объектом техники (технологии) и импортозамещающей продукцией, относящейся к современной технологии, и определяет значимость рассматриваемого объекта техники для ТЭК.

Распоряжение № 219Р-АУ регламентируют компании ТЭК на плановую и поэтапную замену процедур закупки зарубежной продукции (объектов техники, технологии) [3]. Закупка должна быть аналогичной как по техническим характеристикам, так и по потребительским свойствам отечественной продукции (работ, услуг) при условии, что это экономически рационально и технологически обоснованно. На основании корпоративных планов по импортозамещению проводится сравнительный анализ технико-экономических показателей зарубежной продукции и отечественных аналогов, производится оценка экономического результата их применения. Проведенные действия реализуют потенциальную возможность отнесения рассматриваемого объекта к перспективной, высокотехнологичной продукции для отрасли ТЭК. Критерий обеспечивает соответствие между объектом техники (технологии) и импортозамещающей продукцией, относящейся к современной технологии, и определяет корпоративную значимость рассматриваемого объекта для ТЭК.

Уровень критичности определяет значимость конкретного объекта техники (технологии) для производственных и технологических процессов, применяемых в ТЭК. Рассматриваемый объект должен обеспечивать возможность недопущения, в рамках производственных и технологических процессов [4]:

- уменьшения количества и/или качества производимых энергоресурсов, продуктов, услуг и работ без прекращения работы технологического процесса;

- прекращение работы некоторого технологического процесса без прекращения работы производственного процесса в общем;
- прекращение работы производственного процесса без прекращения работы взаимосвязанных с ним иных производственных процессов;
- прекращение работы производственного процесса и взаимосвязанных с ним иных производственных процессов;
- нанесения экологического вреда здоровью людей и среде их обитания из-за прекращения работы производственного процесса или взаимосвязанных с ним иных производственных процессов.

Учет данного критерия достигается за счет применения современных высокотехнологичных объектов техники (технологии). Таким образом, критерий обеспечивает взаимосвязь между исследуемым объектом техники и продукцией, востребованной организациями ТЭК, и определяет значимость объекта техники (технологии) для ТЭК.

Оценка соответствия экономическим показателям базируется на Приказе Минэнерго России от 25.12.2015 г. №1026 «Об утверждении критериев отнесения товаров, работ, услуг к инновационной продукции и (или) высокотехнологичной продукции для целей формирования плана закупки такой продукции». В рамках критерия определены показатели, которые:

- учитывают предполагаемый (прогнозируемый) экономический результат с применения объекта техники (технологии);
- определяют экономическую значимость рассматриваемого объекта;
- учитывают предполагаемое сокращение стоимости объекта техники (технологии), которая состоит из стоимости закупки, эксплуатации, утилизации, повышения длительности жизненного цикла.

Данный критерий позволяет оценить рассматриваемый объект техники (технологии) с точки зрения экономических показателей, а также определить его значимость для ТЭК. Критерий предназначен для уточнения не только качественных, но и количественных экономических аспектов, необходимых для принятия решения о целесообразности использования рассматриваемого объекта.

Научно-технические показатели определены в соответствие с Приказом №1026. В рамках данного критерия осуществляется оценка показателей, которые учитывают:

- используемые результаты опытно-конструкторских, научно-исследовательских и технологических работ в объекте техники (технологии);
  - использование нового технологического оборудования, процессов или технологий, которые ранее не использовались;
  - наукоёмкость продукции, т.е. наличие в технологии объектов интеллектуальной собственности (патенты, программы для ЭВМ и др.);
  - повышение качества основных функциональных показателей объекта техники (технологии);
  - увеличение срока эксплуатации объекта техники (технологии);
  - сокращение числа отказов и аварий объекта техники (технологии);
- повышение уровня безопасности объекта.

Таким образом, можно заключить, выявленные качественные и количественные показатели на основе нормативно-правовых актов обеспечивают формирование критериев, которые позволяют отнести их к современным высокотехнологичным технологиям, возможных к применению в ТЭК.

### **Библиографический список**

1. Трусов А.В., Трусов В.А., Кульбеда П.А. Информационная модель ранжирования объектов техники (технологий), возможных к применению в топливно-энергетическом комплексе // Информационные ресурсы России. – 2019. – № 4(170). – С. 2–6.
2. Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации [Электронный ресурс]. – URL: <http://government.ru/docs/all/77983/> (дата обращения: 22.11.2020).
3. Об утверждении Методических рекомендаций по подготовке корпоративных планов импортозамещения государственными корпорациями, государственными компаниями, акционерными обществами, в уставном капитале которых доля участия Российской Федерации превышает 50 процентов, организациями, реализующими инвестиционные проекты, включенные в реестр инвестиционных проектов в соответствии с решением Правительственной комиссии по импортозамещению. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/456012933> (дата обращения: 22.11.2020).

4. Трусов В.А., Трусов А.В., Давыдов К. Информационная модель определения отраслевого уровня критичности объектов техники (технологий) в топливно-энергетическом комплексе [Электронный ресурс] // Научная электронная библиотека ELIBRARY. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42754791> (дата обращения: 22.11.2020).

#### **Сведения об авторах**

**Трусов Александр Владимирович** – доктор технических наук, доцент, директор Пермского ЦНТИ – филиала ФГБУ «Российское энергетическое агентство» Минэнерго России, профессор Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: [tav@permcnti.ru](mailto:tav@permcnti.ru)

**Ветрова Валерия Дмитриевна** – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, e-mail: [soldlera@yandex.ru](mailto:soldlera@yandex.ru)

#### **About the authors**

**Trusov Alexander Vladimirovich** – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Director Perm Central Scientific and Technical Institute – Branch of the Federal State Budgetary Institution "REA" of the Ministry of Energy of Russia, Professor Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: [tav@permcnti.ru](mailto:tav@permcnti.ru)

**Vetrova Valeria Dmitrievna** – Master's Student of the Perm National Research Polytechnic University, e-mail: [soldlera@yandex.ru](mailto:soldlera@yandex.ru)

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ АРХИТЕКТУРЫ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ КАЛЬКУЛЯТОРА ЛОГИЧЕСКИХ ВЫРАЖЕНИЙ

**Э.Ю. Миннахметов**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

Всякая программная система имеет две разные ценности: поведение и структуру. Разработчики отвечают за высокий уровень обеих. Но, к сожалению, они часто сосредотачиваются на чем-то одном, забывая про другое. Хуже того, они нередко сосредотачиваются на меньшей из двух ценностей, что в конечном итоге обесценивает систему.

**Ключевые слова:** программа; программирование; архитектура; паттерн; шаблон; проектирование; чистый, исходный; код.

## DESIGNING THE SOFTWARE ARCHITECTURE USING THE EXAMPLE OF A LOGICAL EXPRESSION CALCULATOR

**E.Yu. Minnakhmetov**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

Every software system has two different values: behavior and structure. Developers are responsible for keeping both of these values high. But, unfortunately, they often focus on one thing, forgetting about another. Worse, they often focus on the lesser of the two values, which ultimately devalues the system.

**Keywords:** program; programming; architecture; pattern; design; clean; source; code.

Накопленных знаний по проектированию программного обеспечения на сегодняшний день достаточно много, однако, они тяжелы в усвоении, поскольку качественных примеров и при этом простых не так много, и их сложно найти [1].

Данная статья ориентирована на круг программистов, достигших уровня хорошего знания какого-либо объектно-ориентированного языка программирования (ООП) и принципов ООП, владеющих теоретическими знаниями по проектированию монолитных приложений и по паттернам проектирования из книги «Банды четырёх». Целью же статьи является показать пример применения этих знаний, поэтому объяснения вышеперечисленных теорий в статье не будет.

Рассмотрим общепринятую модель разбиения архитектуры по слоям (рис. 1).

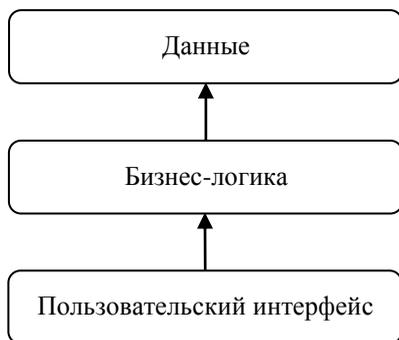


Рис. 1. Разбиение архитектуры по слоям

Наибольший интерес для статьи здесь несут слои «Данные» и «Бизнес-логика», в то время как «Пользовательский интерфейс» лишь агрегирует ими [2], поэтому он рассмотрен не будет. Ценность для статьи несут модели и логика их взаимодействия, далее будут реализованы слои, ответственные за них.

**Технология реализации.** Возвращаясь к рис. 1, стоит описать выбранные слои:

1) в данных должны быть реализованы модели и высокоуровневая логика – в булевом калькуляторе это будут переменные, операции над ними и функции, которые будут позволять строить выражения из нескольких переменных либо других функций и задавать тип операции;

2) бизнес-логика, агрегируя моделями, должна определять поведение программы и предоставлять интерфейс к этому поведению – в проекте калькулятора это будут формулировщики таблицы истинности, менеджеры смены типа операции и аргументов функций;

Были кратко описаны «Данные» и «Бизнес-логика», далее будет приведена реализация в виде диаграмм классов UML с описанием сущностей.

Ниже представлена разработанная диаграмма классов моделей «Данных» (рис. 2).

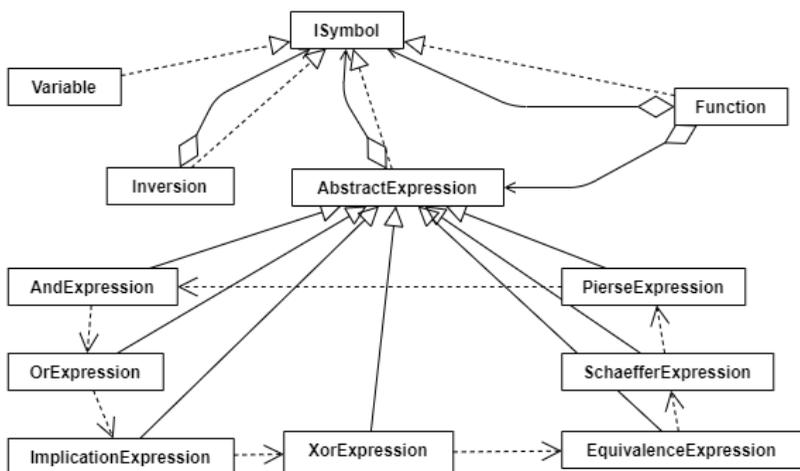


Рис. 2. Отношения внутри слоя «Данные»

На диаграмме показаны сущности (см. рис. 2):

1) ISymbol – интерфейс символа, который реализуют переменная, инверсия, абстрактная операция и функция, – предоставляет доступ к чтению значения;

2) Variable – класс переменных, который предоставляет читать и изменять имя переменной, ее значение;

3) Inversion – класс инверсий, агрегирует одним символом, возвращает значение инвертированное по отношению к значению символа. Является реализацией паттерна «Декоратор» [3];

4) AbstractExpression – абстрактный класс булевых операций, агрегирует двумя символами, значением является значение конкретного выражения над двумя символами. Является реализацией паттернов «Интерпретатор», «Стратегия» и «Шаблонный метод» [3];

5) Конкретные операции (логическое «И» – And-Expression, логическое «ИЛИ» – Or-Expression и т.д.) – наследники абстрактной операции, вычисляют значение по агрегируемым символам, предоставляют константу приоритета и предоставляют ссылку на следующее по приоритету выражение;

6) Function – класс функций, агрегирует одной операцией и двумя символами. Способен менять агрегируемую операцию, является реализацией паттерна «Состояние» [3].

Итого, был описан модуль «Данные», хранящий в себе модели и высокоуровневую логику, далее будет описана бизнес-логика, работающая с этими моделями.

На рис. 3 представлена разработанная диаграмма классов «Бизнес-логики».

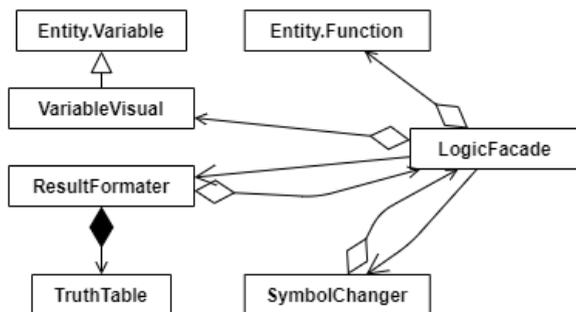


Рис. 3. Отношения внутри слоя «Бизнес-логика»

На диаграмме показаны отношения (см. рис. 3):

1) VariableVisual – класс, расширяющий класс переменных, посредством добавления возможности чтения значения получением символа «1» или «0», а не true и false;

2) TruthTable – класс, автоматизирующий создание таблицы истинности;

3) ResultFormater – класс, который создает и заполняет таблицу истинности, а затем формирует текстовый результат на ее основе и возвращает его; [4]

4) SymbolChanger – класс, занимающийся обновлением символов в активной функции; [4]

5) LogicFacade – скрывает логику ранее перечисленных классов, предоставляя удобный интерфейс для работы со всем модулем бизнес-логики. Агрегирует переменными и функциями отношением «один ко многим». Является реализацией паттерна «Фасад» [3].

Подводя итоги, был описан модуль «Бизнес-логика», агрегирующий моделями из модуля «Данные» и предоставляющий интерфейс для работы с ним. Показательный пример построения архитектуры калькулятора логических выражений на этом завершен.

**Заключение.** Обилие паттернов проектирования и методологий построений архитектуры программного обеспечения затуманивает

свою пользу отсутствием качественных примеров, поэтому целью данной работы было предоставить один из них.

Были реализованы паттерны «Декоратор», «Интерпретатор», «Стратегия», «Шаблонный метод», «Состояние», «Фасад». Кроме того, крупные по объему кода методы были вынесены в классы-операции, например, «Менеджер смены операций» и «Формулирущик результата функции». Связность модулей была сведена к необходимому минимуму. Все это позволило написать «чистый код, который работает» [4].

Изучение паттернов – процесс продолжительный и увлекательный, он позволяет программистам почувствовать себя изобретателями – тем, кто стоял у истоков Computer Science. Поэтому азарт изучения паттернов еще долго будет входить в перечень радостей начинающих программистов.

### **Библиографический список**

1. Мартин Р. Чистая архитектура. Искусство разработки программного обеспечения. – СПб.: Питер, 2020. – 352 с.
2. Макконнелл С. Совершенный код. Мастер-класс. – М.: Русская редакция, 2015. – 896 с.
3. Гамма Э., Хелм Р., Джонсон Р., Влиссидес Дж. Приемы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования. – СПб.: Питер, 2020. – 368 с.
4. Фаулер М. Рефакторинг: Улучшение существующего кода. – пер. с англ. – СПб.: Символ-Плюс, 2018. – 432 с

### **Сведения об авторе**

**Миннахметов Эльдар Юлдашевич** – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: ciborg.brain@yandex.ru

### **About the author**

**Minnakhmetov Eldar Yuldashevich** – Student Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: ciborg.brain@yandex.ru

## РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ НАВИГАЦИИ В ЗДАНИИ 3D

**В.К. Бетелев**

Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск

В данной статье рассмотрены аспекты создания мобильного приложения для навигации в здании, для отображения карты для навигации используется 3D-режим. Приведены выводы и результаты по проделанной работе.

**Ключевые слова:** indoor-навигация; навигатор; Unity3D; BLE; Bluetooth; Android.

## DEVELOPMENT OF MOBILE APPLICATION FOR NAVIGATION IN BUILDING 3D

**V.K. Betelev**

Petrozavodsk State University, Petrozavodsk

This article discusses aspects of creating a mobile application for navigation in a building; 3D mode is used to display the map for navigation, presents conclusions and results of the completed work.

**Keywords:** indoor-navigation; navigation; Unity3D; BLE; Bluetooth; Android.

Когда встаёт вопрос о навигации внутри помещений, можно столкнуться с проблемой, что не всегда доступны традиционные источники навигационных данных – спутниковые навигационные системы второго поколения (GPS, «Глонасс»). Система внутреннего позиционирования в помещении – indoor-навигация – представляет собой систему, используемую для обнаружения людей и объектов внутри здания. В этом случае для определения местоположения объектов применяются альтернативные источники навигационной информации: инерциальные навигационные средства (акселерометры, гироскопы), точки доступа в интернет Wi-Fi, устройства передачи данных Bluetooth, датчик давления, магнитометр и т.п.\*. Их данные могут использоваться как по отдельности, так и совместно, в зависимости от решаемой задачи.

---

\* My-beacon. Производитель iBeacon [Электронный ресурс]. – URL: <http://my-beacon.ru/indoor-navigatsiya/> (дата обращения: 22.09.2020).

**Цель работы** – создание мобильного приложения для навигации в здании 3D на примере главного корпуса Петрозаводского государственного университета (ПетрГУ).

Исходя из цели, были поставлены следующие задачи:

- изучение особенностей indoor-навигации;
- рассмотрение готовых решений по данному направлению;
- изучение и выбор платформы и способа для создания мобильного приложения;
- проектирование основных модулей приложения;
- реализация необходимых модулей;
- тестирование приложения на различных устройствах.

На данный момент на рынке представлено некоторое количество систем, предлагающих indoor-навигацию с помощью различных технологий. Однако внедрение таких систем является сложной задачей. Применение и распространение этих систем также ограничено. Чаще всего они применяются для навигации в аэропортах, торговых комплексах, музеях, спортплощадках, складах и метро.

Большинство приложений для indoor-навигации имеют идентичные функции и возможности:

- авторизация на сервере под логином и паролем; связь с сервером в режиме реального времени;
- отображение местоположения человека в режиме реального времени на плане здания. Это позволяет автоматически получать тревожные сообщения и строить маршруты;
- отправка с сервера indoor-навигации тревожных уведомлений на смартфоны персонала и клиентов;
- поддержка автоматического получения тревожных уведомлений и интеграции с существующими системами видеонаблюдения и оповещения о ЧС;
- серверное программное обеспечение в специальном веб-интерфейсе отображает местоположение всех, установивших приложение, на плане здания;
- визуальный редактор администратора позволяет расставлять на карте расположение меток, геозон позиционирования и другой дополнительной информации.

Крайне ограниченное число решений используют отображение в формате 3D. Не существует общего решения для любого варианта здания, чтобы пользователь системы мог самостоятельно разметить план здания в 3D и использовать приложение.

В качестве платформы для разработки приложения встал выбор между нативной платформой Android Studio и игровым движком Unity3D 2018.3.8f1. В качестве основы реализации приложения был выбран игровой движок Unity3D 2018.3.8f1 по нескольким причинам:

- первая причина – возможность очень просто интегрировать трёхмерную графику в двухмерное приложение;
- вторая – большое количество реализованных модулей для создания будущего приложения;
- третья – простой и понятный интерфейс редактора.

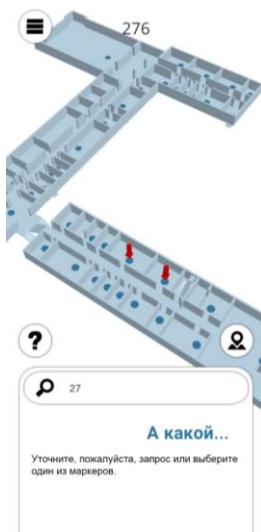


Рис. Снимок экрана с открытым окном просмотра карты в 3D и выбора нужного кабинета

В качестве шаблона проектирования решено было использовать комбинацию из двух технологий. Игровой движок Unity3D уже реализует технологию MVC – model-view-controller. Разработчику на игровом движке Unity3D остаётся написать только часть, именуемую модель (model). Она отвечает за хранение и обработку массивов данных.

Основной интерфейс приложения был реализован в геймифицированной форме, дабы облегчить использование приложения и сделать интерфейс интуитивно понятным и простым для тех, кто первый раз открыл приложение.

На данный момент были проведены некоторые подготовительные работы и исследования:

- изучен план второго этажа главного корпуса ПетрГУ;
- изучены различные платформы разработки и выбрана основная – Unity3D;
- изучены готовые решения по данному направлению.
- был создан прототип приложения со следующими модулями:
  - главный экран с 3D-моделью второго этажа главного корпуса ПетрГУ;
  - экран с подсказками по использованию приложения;
  - экран с возможностью указать текущее местоположение пользователя;
  - поиск кабинетов и просмотр информации по конкретному кабинету, обозначение текущего местоположения пользователя.

Проведено тестирование на нескольких мобильных устройствах, с разной производительностью и разным соотношением сторон экранов, которое не выявило недостатков или неисправностей в приложении.

В перспективе – создание приложения по прототипу, рефакторинг существующих модулей и создание новых:

- определение и отображение пользователю пути от текущего местоположения к кабинету;
- боковое меню с некоторыми дополнительными возможностями (просмотр истории запросов, просмотр отдельно помеченных кабинетов, выбор другого корпуса);
- занесение поисковых запросов в «историю» запросов, с целью возможности быстрого доступа к ранее интересовавшим пользователя кабинетам;
- возможность выбора этажа текущего корпуса для просмотра на главном экране приложения;
- аутентификация пользователя при входе в приложение;
- позиционирование пользователя с помощью BLE-меток в координатах здания.

### **Сведения об авторе**

**Бетелев Владимир Кириллович** – студент Петрозаводского государственного университета, Петрозаводск, e-mail: vova.betelev@yandex.ru

### **About the author**

**Betelev Vladimir Kirillovich** – Student Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, e-mail: vova.betelev@yandex.ru

## **ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПОМОЩИ ЛЮДЯМ С ОГРАНИЧЕНИЯМИ ЗРЕНИЯ**

**Г.И. Борзунов, Е.А. Николаева,  
А.А. Ничуразова, М.Ю. Трофимова**

Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина  
(Технологии. Дизайн. Искусство), Москва

В данной статье рассматриваются инновационные датчики, которые могут лучше взаимодействовать инвалидам по зрению с собаками-поводырями. Инновационные датчики, изготовленные из прочных износостойких переработанных материалов. За счет гибкой структуры и силиконовой накладки браслет легко настраивается под любой размер руки или лапы.

**Ключевые слова:** датчики; система; автоматизация; устройство; слабовидящие, инвалиды, браслет, инновации, собака-поводырь, Bluetooth.

## **DEVICE FOR ASSISTANCE FOR PERSONS WITH VISUAL LIMITS**

**G.I. Borzunov, E.A. Nikolaeva,  
A.A. Nichurazova, M.Yu. Trofimova**

Russian State University named after A.N. Kosygin  
(Technology. Design. Art), Moscow

This article discusses innovative sensors that will help visually impaired people better interact with guide dogs. Innovative sensors made from durable, wear-resistant recycled materials. Thanks to its flexible structure and silicone overlay, the bracelet can be easily adjusted to any hand or paw size.

**Keywords:** sensors; system; automation; device; ceccutient, invalids, bangle, innovations, dog-leader, Bluetooth.

Во всем мире примерно от 40 до 45 млн человек полностью слепы, 135 млн страдают плохим зрением и 314 млн человек имеют какое-либо нарушение зрения [1]. Заболеваемость и демографические характеристики слепоты значительно различаются в разных частях мира. В большинстве промышленно развитых стран примерно 0,4 % населения слепы, в то время как в развивающихся странах этот показатель увеличивается до 1 %. По оценкам Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) 87 % слепых в мире живут в развивающихся странах.

В результате эффективных международных действий в области здравоохранения наблюдается снижение числа нарушения зрения, вызванных инфекционными заболеваниями, при росте числа ограничений по зрению в связи с заболеваниями центральной нервной системы. Таким образом, остаются актуальными разработки, направленные на оказание помощи людям с ограниченными возможностями по зрению в решении их повседневных задач.

Технологический прогресс и современные модели психофизиологического восприятия человеком окружающего трехмерного мира позволяют разрабатывать информационные системы, обеспечивающие ориентацию в окружающем реальном пространстве на основе создания и анализа виртуальной реальности.

При этом перед слабовидящими и слепыми людьми стоит острая социальная необходимость свободно ориентироваться в виртуальном мире наравне с реальным, так как же они могут свободно пользоваться современными компьютерными технологиями?

По данным издания BBC Future любое современное устройство, будь то компьютер, планшет или смартфон, оснащено специальным программным обеспечением, которое позволяет пользоваться устройством людям с ограничениями по зрению. Такие программы помогают слабовидящему человеку свободно использовать интерфейс устройства, открывать нужные приложения, пользоваться мессенджерами и т.д. В операционной системе Android – это Talk Back, Explore by touch, Vlingo и голосовое управление. В операционной системе iOS – это VoiceOver [2].

Традиционно исследования поддерживающих систем для людей с ограничениями по зрению обычно фокусировались на двух основных сферах: передача информации и помощь в мобильности.

Трудности, связанные с развитием систем поддержки мобильности, как правило, более серьезны. С интернет-революцией последних лет возникли проблемы с доступом к компьютерам для слепых. Восстребованные пути решения проблемы – это синтезаторы голоса, экранные лупы и выходные терминалы Брайля. Синтезаторы голоса практически читают экран компьютера; экранные лупы позволяют увеличивать изображение на экране для людей со слабым зрением, а выходные терминалы Брайля подключаются к компьютеру, поэтому информация на экране отображается шрифтом Брайля.

Рассматриваемые далее устройства являются вспомогательными и различаются между собой фактически своими размерами. Поэтому их смело можно разделить на носимые и просто портативные.

Носимые устройства отличаются от портативных тем, что позволяют взаимодействовать без помощи рук или по крайней мере сводят к минимуму использование рук при работе с ними. Это достигается с помощью устройств, которые фактически носят на теле, таких как приспособления для крепления на голове, браслеты, жилеты, ремни, обувь и т.д. Портативные устройства обычно также компактны, легки, что позволяет без труда переносить их, но они требуют постоянного ручного взаимодействия. Например: тактильные дисплеи, электронные трости, мобильные телефоны, портативные компьютеры и т.д. Область носимых устройств в настоящее время является «горячей» темой исследований при оказании помощи людям с ограниченными возможностями, таким как инвалиды по зрению. Поскольку эта область все еще очень молодая и экспериментальная, существует не так много зрелых коммерческих продуктов с широкой пользовательской базой. В современном мире уже разработан ряд носимых вспомогательных устройств для решения конкретных задач, таких как чтение и передвижение. Исследования слепоты и нейропластичности показали, что нарушения зрения могут изменить способ восприятия и обработки информации в мозге человека. Его организм пытается компенсировать потерю зрения за счет обострения слуха и тактильной восприимчивости, но данный процесс сугубо индивидуален. Отсюда и такое многообразие устройств, которые классифицируются по различным параметрам, таким как используемая техника, вид крепления на человеке, способ обработки информации т.д.

Традиционно слепые и слабовидящие люди используют белую трость, либо собаку поводыря, но ни то, ни другое не дает полной картины окружающей среды. Для того чтобы определять искусственные препятствия или природные объекты на пути следования, можно использовать «умные» трости. Там применяются ультразвуковые датчики для определения окружающих объектов. Однако их цена достаточно велика и к тому же радиус действия таких средств обычно оставляет желать большего. Поэтому актуальна разработка недорогой системы, которая позволит людям с ограничениями зрения определять препятствия, а также проводить анализ особенностей поверхно-

сти, по которой осуществляется передвижение, при этом не сковывая их движение.

В данной работе предлагается система ультразвуковых и эхолокационных датчиков для собак и силиконовых Bluetooth-браслетов для человека (рис. 1). Датчики подключены к браслетам по каналам Bluetooth, что обеспечивает преобразование показаний датчиков в вибро- и звуковые сигналы, передачу этих сигналов в силиконовые браслеты пользователя. Система определяет, когда собака находится близко к препятствию, при этом частота звукового сигнала увеличивается, а также уведомляет человека о нахождении на труднопроходимых поверхностях (лед, камни, грязь). Трекинг геолокации осуществляется по технологиям «Глонасс» и GPS.



Рис. 1. Демонстрация устройства

Стоит отметить, что предлагаемый прототип достаточно дешев в производстве и может быть низок в своей стоимости при розничной реализации, так как фактически его стоимость складывается из стоимости датчиков и корпуса. Ультразвуковые датчики измеряют звуковые волны, не доступные человеческому слуху. Датчик посылает сигнал и ждет его отклик. Если сигнал возвращается без изменений, то препятствий на пути нет. Если же отраженная волна изменилась по частоте или по интенсивности, то система делает вывод, что впереди препятствие, датчик срабатывает и передает сигнал на устройство.

За генерацию ультразвука в датчике обычно отвечает излучатель (кварцевый или керамический пьезоэлектрический) или специальная мембрана, вибрирующая под действием электростатического поля.

Данная разработка поможет лучше взаимодействовать инвалидам по зрению с собаками-поводырями. Система датчиков позволяет человеку ориентироваться и передвигаться, не удерживая собаку-поводыря за шлейку, руки человека остаются абсолютно свободными. Система W.O.O.F\* – это не только высокотехнический девайс, но и умное проектное дизайнерское решение. Дизайн датчиков разработан таким образом, чтобы не мешать собаке при передвижении, а элегантные браслеты только украсят внешний вид пользователя, так как похожи скорее на украшение, а не на высокотехнологичный девайс (рис. 2, 3). За счет гибкой структуры и силиконовой накладке браслет легко настраивается под любой размер руки или лапы.



Рис. 2. Дизайн датчиков. Общий вид



Рис. 3. Дизайн датчиков. Прототип

---

\* W.O.O.F – world opportunity of freedom

Подобранные колористические решения приняты не только, чтобы сделать браслеты яркими и привлекательными, но и для того, чтобы слабовидящие были узнаваемы в толпе, а также было возможным им самостоятельно находить устройство. По данным исследований именно ярко-желтый цвет является последним доступным для слепого сектором цветного спектра.

«Широкий» браслет может использоваться и как самостоятельный девайс для слабовидящих людей. Например, для пожилых граждан в ночное время суток в условиях плохого освещения, где не помогают даже очки, браслет может послужить прекрасной подмогой ориентирования в пространстве.

Наконец, предлагаемое решение может быть, полезно при выполнении спасательных операций и в экстренных ситуациях. Например, при сильном задымлении или в тёмном лесу благодаря браслетам можно найти выход, следуя за собакой, так как она ориентируется в пространстве, опираясь не на зрение, а на другие органы чувств.

Характеристики используемых датчиков могут служить исходными требованиями при реализации доступной безбарьерной среды для инвалидов. Простота дизайна, лаконичная структура браслетов, утонченная форма является хорошим элементом украшения для всех типов людей, и независимо от пола и возраста. А яркие цветовые решения, флуоресцентные элементы способны привлечь к себе внимание, что позволит идентифицировать человека с нарушением зрения в толпе, создавая комфортные и безопасные условия для его перемещения в условиях городского ритма.

### **Библиографический список**

1. Blindness and vision impairment [Электронный ресурс] // World Health Organization. – URL: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs282/en/> (дата обращения: 01.12.2020).

2. Как «видят» мир незрячие люди? [Электронный ресурс] // bbc.com. – URL: [https://www.bbc.com/ukrainian/vert\\_fut\\_russian/2016/08/160821\\_ru\\_s\\_vert\\_fut\\_how\\_it\\_feels\\_to\\_live\\_in\\_darkness](https://www.bbc.com/ukrainian/vert_fut_russian/2016/08/160821_ru_s_vert_fut_how_it_feels_to_live_in_darkness) (дата обращения: 08.12.2020).

3. Датчик движения [Электронный ресурс] // Wikipedia. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki> (дата обращения: 10.12.2020).

## Сведения об авторах

**Борзунов Георгий Иванович** – доктор технических наук, доцент кафедры «Информационные технологии и компьютерный дизайн» Российского государственного университета им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), Москва, e-mail: borzunov-gi@rguk.ru

**Николаева Елизавета Алексеевна** – аспирант Российского государственного университета им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), Москва, e-mail: nikolaeva-ea@rguk.ru

**Ничуразова Анна Алексеевна** – магистр Российского государственного университета им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), Москва, e-mail: melaniney@icloud.com

**Трофимова Маргарита Юрьевна** – магистр Российского государственного университета им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), Москва, e-mail: trofimova.m69@yandex.ru

## About the authors

**Borzunov Georgy Ivanovich** – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information Technologies and Computer Design Russian State University named after A.N. Kosygin (Technology. Design. Art), Moscow, e-mail: borzunov-gi@rguk.ru

**Nikolaeva Elizaveta Alekseevna** – Graduate Student Russian State University named after A.N. Kosygin (Technology. Design. Art), Moscow, e-mail: nikolaeva-ea@rguk.ru

**Nichurazova Anna Alekseevna** – Master Russian State University named after A.N. Kosygin (Technology. Design. Art), Moscow, e-mail: melaniney@icloud.com

**Trofimova Margarita Yuryevna** – Master's Degree Russian State University named after A.N. Kosygin (Technology. Design. Art), Moscow, e-mail: trofimova.m69@yandex.ru

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕАЛИЗАЦИЙ ЭЛЕМЕНТА ФРЕДКИНА НА ОСНОВЕ LUT FPGA

**М.С. Никитин, К.А. Никитина**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

В данной статье рассмотрены варианты реализации обратимого элемента Фредкина на основе LUT FPGA на одну переменную, приведен их анализ.

**Ключевые слова:** элемент Фредкина; моделирование; обратимость; универсальный логический модуль.

## SIMULATION OF FREDKIN GATE IMPLEMENTATIONS BASED ON LUT FPGA

**M.S. Nikitin, K.A. Nikitina**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

This article discusses the options for implementing a reversible Fredkin gate based on a single-variable FPGA LUT, and provides an analysis of them.

**Keywords:** Fredkin gate; simulation; reversibility; universal logic module.

Развитие квантовых вычислений заставляет все больше обращать внимание на исследование обратимой логики. Обратимость позволяет определить однозначное соответствие входов и выходов, что позволяет как возвращать энергию, потраченную на вычисления источнику, так и контролировать правильность вычислений. Также исследуются механизмы, позволяющие реализовать на их основе как отдельные квантовые процессоры, так и целые компьютеры [1–7].

**Реализация элементов Фредкина.** Для выполнения квантовых вычислений разработано множество элементов логики, одним из которых является элемент Фредкина. Элемент Фредкина (также встречается как Вентиль Фредкина) представляет собой обратимый универсальный логический модуль, позволяющий реализовывать квантовые вычисления. Условное обозначение элемента представлено на рис. 1, а на рис. 2 приведена таблица истинности для данного элемента. В таблице истинности наблюдаем биекцию входов-выходов, что и способствует обратимости элемента.

Пример реализации необратимого элемента Фредкина представлен на рис. 3. При моделировании данного элемента наблюдаем прямую (слева направо) передачу сигналов. Для обратимых элементов предложено несколько вариантов реализации. Разберем каждый из предложенных вариантов (рис. 4–6).

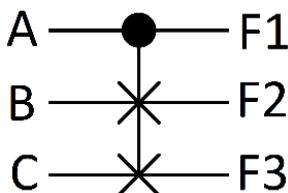


Рис. 1. Условное обозначение вентиля Фредкина в квантовых схемах

№	C	B	A	F1	F2	F3
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	1	0	0	1
2	0	1	0	0	1	0
3	0	1	1	0	1	1
4	1	0	0	1	0	0
5	1	0	1	1	1	0
6	1	1	0	1	0	1
7	1	1	1	1	1	1

Рис. 2. Схема реализации элемента Фредкина

Первый вариант дополнен тристабильными буферами для управления направлением передачи информации, прямой (слева направо) FORWARD=1 и обратной (справа налево) FORWARD=0. Так как инвертор состоит из 2 транзисторов, а тристабильный буфер из 6 транзисторов, в сумме с уже имеющимися транзисторами получаем общее количество задействованных транзисторов, равное 98.

Второй вариант относительно первого, обладает меньшим количеством тристабильных буферов, что способствует упрощению схемы, уменьшению занимаемой ей площади. Общее количество транзисторов в этом варианте составляет 54.

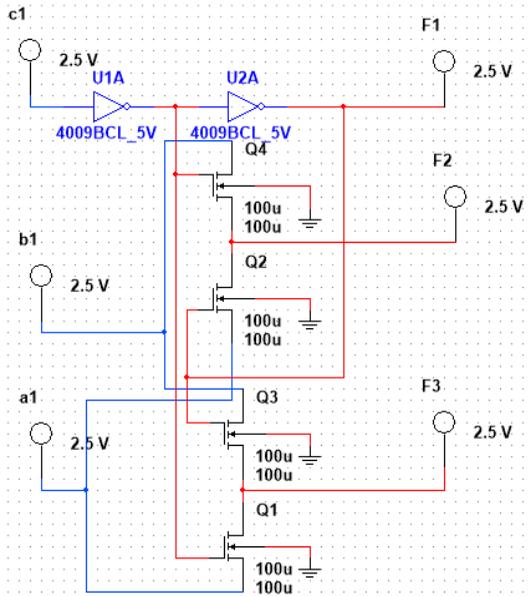


Рис. 3. Схема реализации необратимого элемента Фредкина

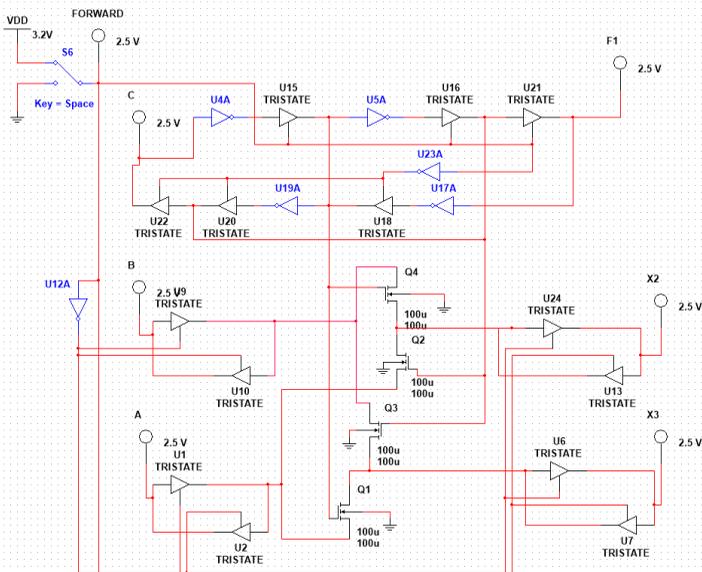


Рис. 4. Схема обратимого элемента Фредкина, версия 1

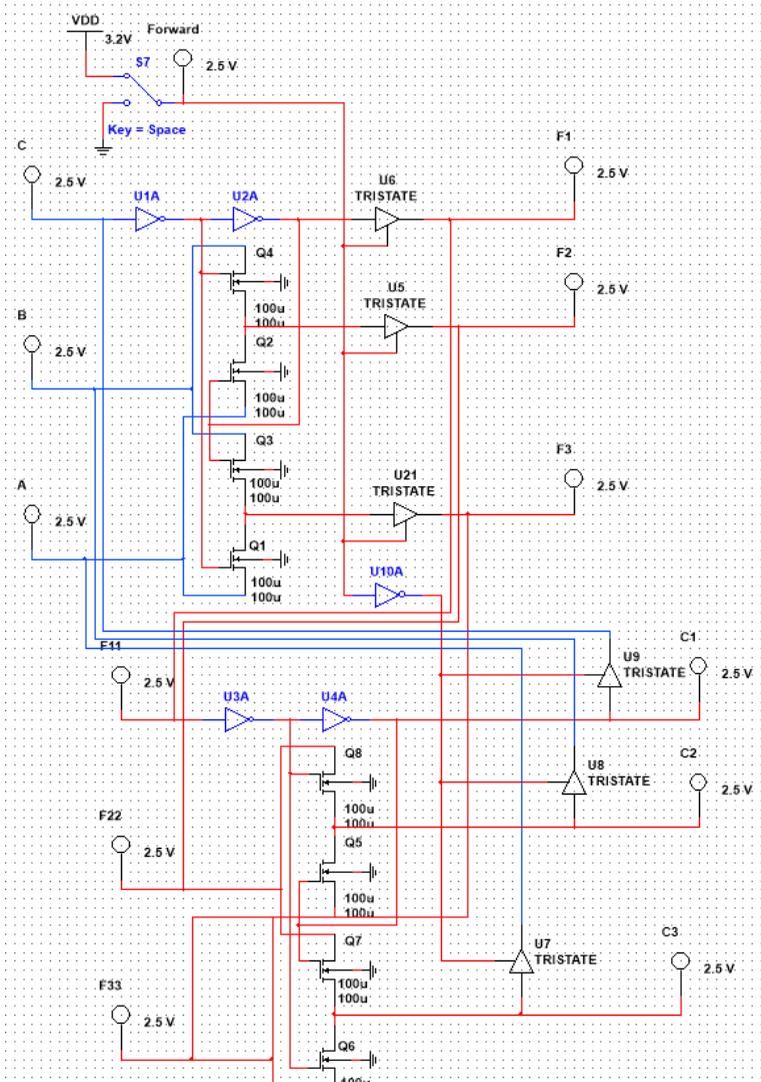


Рис. 5. Схема обратимого элемента Фредкина, версия 2

Третий вариант отличается отсутствием тристабильных буферов, данный вариант будет иметь наименьшую занимаемую площадь, так как общее количество задействованных транзисторов равно 46.

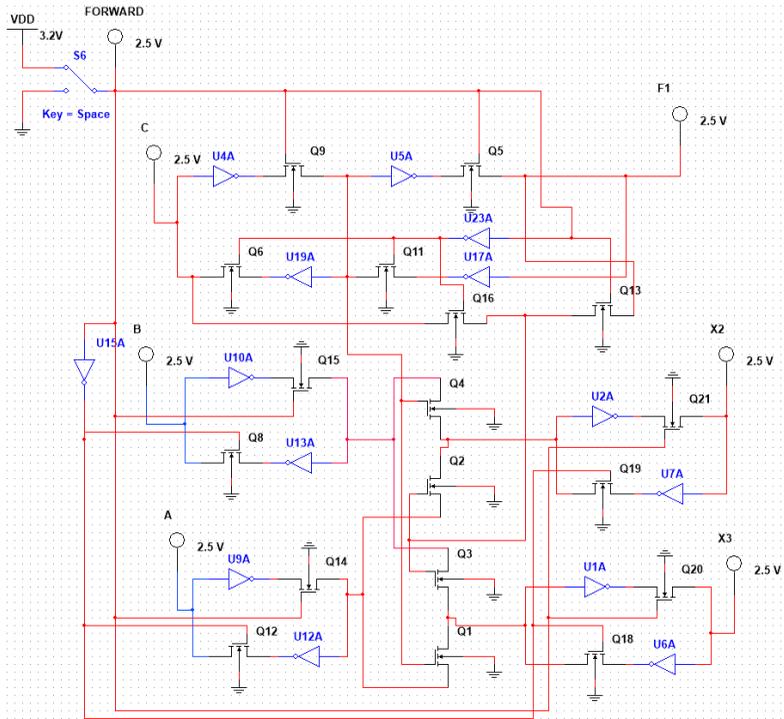


Рис. 6. Схема обратимого элемента Фредкина, версия 3

Моделируя все предложенные варианты, для удобства сводим данные по задержкам в одну таблицу (табл. 1).

Таблица 1

Сводные данные по задержкам

Вариант	$t$ , нс			
	$V$ , В			
	3,2		5	
	Freq, МГц			
	1	10	1	10
0	169,9	169,9	169,9	169,9
1	169,9	179	169,9	179
2	169,9	179	169,9	179
3	169,9	179	169,9	179

Сводные данные по задержкам

Вариант	Количество транзисторов, штук
0	8
1	98
2	54
3	46

По данным, полученным в результате моделирования, показывают схожие характеристики, и различия заключаются в сложности схемы, что выражается в занимаемой ими площади, в количестве используемых элементов.

**Заключение.** Анализируя различные варианты, можем установить, что лучшим вариантом для применения является вариант 3, так как по временным характеристикам не наблюдаются отличия, а общее количество транзисторов меньше чем в остальных.

Для применения вариантов 1 и 2 требуются большие затраты, а результаты не отличаются от 3-го.

### Библиографический список

1. Ismaeel Salman Abu Aballi. Quantum computing [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/338828306\\_Quantum\\_computing](https://www.researchgate.net/publication/338828306_Quantum_computing) (дата обращения: 12.03.2020).
2. Квантовая информатика: обзор основных достижений / А.С. Сигов, Е.Г. Андрианова, Д.О. Жуков, С.В. Зыков, И.Е. Тарасов // Российский технологический журнал. – 2019. – Т. 7, № 1(27). – С. 5–37.
3. A quantum Fredkin gate / R.B. Patel, J. Ho, F. Ferreyrol, T.C. Ralph, G.J. Pryde // Science Advances. – Vol. 2, № 3.
4. Тюрин С.Ф. «Биллиардное» моделирование универсальных логических модулей на основе элемента Фредкина для квантового ютинга // Прикладная математика и вопросы управления. – 2020. – № 2. – С. 55–72.
5. Тюрин С.Ф. LUT based Fredkin gate – Radio Electronics // Computer Science, Control. – 2020. – № 1. – С. 44–53.
6. Hidden faults in FPGA-built digital components of safety-related systems / O. Drozd, V. Antoniuk, V. Nikul, M. Drozd // 14 международная конференция TCSET'2018 Conference «Modern problems of radio

engineering, telecommunications and computer science»”. – Львов, Украина, 2018. – С. 805–809.

7. Formation of the Interval Stego Key for the Digital Watermark Used in Integrity Monitoring of FPGA-based Systems / K. Zashcholkin, O. Drozd, O. Ivanova, P. Bykovyy // CEUR Workshop Proceedings. – 2020. – № 2623. – P. 267–276.

### **Сведения об авторах**

**Никитин Максим Сергеевич** – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: mann1k@yandex.ru

**Никитина Ксения Андреевна** – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: ksu2317@yandex.ru

### **About the authors**

**Nikitin Maksim Sergeevich** – Student Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: mann1k@yandex.ru

**Nikitina Kseniya Andreevna** – Master Student Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: ksu2317@yandex.ru

## ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА КЛАССИФИКАЦИИ КОРОТКИХ СЛАБОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ТЕКСТОВ

**Д.И. Парфёнов, К.А. Лохачева**

Оренбургский государственный университет, Оренбург

В данной статье рассмотрены аспекты классификации коротких слабо-структурированных текстов. Приведены общая постановка задачи, методы векторизации данных и классификации объектов. Описана структура тестовых данных с подробными пояснениями. Сделаны выводы о качестве классификации.

**Ключевые слова:** классификация текстов; обращения пользователей, LR, SVM, RNN, LSTM.

## RESEARCH ON THE QUALITY OF SHORT WEAKLY STRUCTURED TEXTS CLASSIFICATION

**D.I. Parfenov, K.A. Lokhacheva**

Orenburg state university, Orenburg

In this article the aspects of engine test automation are considered (текст аннотации на английском языке). In this article the aspects of short weakly structured texts classification are being discussed. The problem statement, methods of data vectorization and object classification are given. The structure of the test data is described with detailed explanations. Conclusions about the quality of classification are made.

**Keywords:** texts classification; issues; LR; SVM; RNN; LSTM.

Большинство обращений поступают в Service Desk системы в неструктурированном виде, содержат синтаксические и грамматические ошибки, общую лексику, а также не имеют специальных маркеров тематики обращения, либо маркеры носят обобщенный характер. В связи с этим, задача семантического анализа и автоматической классификации обращений пользователей в Service Desk системах представляется актуальной.

Общая постановка задачи звучит следующим образом. Необходимо спроектировать информационную систему для семантического анализа и классификации обращений пользователей в системе Service Desk. Ожидается, что каждая оставленная в системе Service Desk

заявка будет проходить предварительную обработку, прежде чем попадет в список заявок, подлежащих исполнению. При этом сам процесс предварительной обработки будет заключаться в семантическом анализе слабо структурированной информации, полученной из заявки, и классификации заявки по типу запроса. После преобразования, заявка добавляется в список заявок, подлежащих исполнению. Сотрудники могут назначить любую заявку на себя.

Ставится задача выбора оптимального с точки зрения F-меры классификатора.

**Основная часть.** Математическая постановка задачи выглядит следующим образом. Пусть имеется множество обращений пользователей  $R = \{r_1, \dots, r_n\}$  и конечное множество заранее определенных классов типов обращений  $Tp = \{tp_1, \dots, tp_k\}$ . Тогда целевая функция  $\varphi: R \cdot Tp \rightarrow \{0,1\}$ , определяющая, принадлежит ли текстовый документ (то есть обращение пользователя) к данному классу или нет, задается следующим отношением:

$$\varphi(r_j, tp_i) = \begin{cases} 0, & \text{если } r_j \notin tp_i, \\ 1, & \text{если } r_j \in tp_i. \end{cases} \quad (1)$$

Требуется построить классификатор  $\varphi'$ , максимально близкий к  $\varphi$ .

При этом обращения пользователей будут иметь векторное представление

$$r_j = (w_{1j}, \dots, w_{mj}), \quad (2)$$

где  $r_j$  – векторное представление  $j$ -го обращения ( $j = \overline{1, n}$ ),  $w_{ij}$  – вес  $i$ -го термина в  $j$ -м обращении,  $m$  – общее количество различных термов во всех обращениях пользователей.

Под терминами будем понимать слова, из которых состоят тексты обращений пользователей.

На сегодняшний день существует несколько типов классифицирующих алгоритмов [1]:

- 1) вероятностные (наивный Байесовский метод, NB);
- 2) метрические ( $k$ -ближайших соседей, KNN);
- 3) логические (деревья решений, DT);

4) линейные (логистическая регрессия – LR, метод опорных векторов – SVM);

5) методы, основанные на технологии нейронных сетей (рекуррентные нейронные сети – RNN, сверточные нейронные сети – CNN).

У каждой категории методов есть свои плюсы и минусы, подробно описанные в ряде научных работ [1–9].

В рамках нашей модели предполагается исследовать результаты работы следующих моделей: LR, SVM, RNN типа LSTM.

Кроме того, в нашей модели мы рассмотрим 2 метода векторизации пространства:

1. Частота вхождения слова в документе (TF – *term frequency*). Частота вычисляется как отношение числа вхождения слова к общему количеству слов текста:

$$TF(t, r) = \frac{n_t}{\sum_p n_p}, \quad (3)$$

где  $n_p$  – число вхождений термина  $t$  в обращении,  $\sum_p n_p$  – общее число слов в данном обращении.

Как уже отмечалось ранее, недостатком является несоразмерность оценки для текстов разной длины: недооцениваются длинные документы, так как в них больше слов, и средняя частота слов в тексте ниже.

2. TF-IDF – статистическая мера, используемая для оценки важности слова в контексте документа, являющегося частью коллекции документов или корпуса. Вес некоторого слова пропорционален частоте употребления этого слова в документе и обратно пропорционален частоте употребления слова во всех документах коллекции:

$$TF - IDF = TF(t, r) \cdot TF(t, n), \quad (4)$$

где  $IDF(t, n)$ :

$$IDF(t, n) = \frac{n}{\sum_i r_i}, \quad (5)$$

где  $n$  – число обращений пользователей,  $\sum_i r_i$  – число обращений из коллекции, в которых встречается терм  $t$  ( $r_i \in R | t \in r_i$ ).

При этом следует учесть, что LSTM сети принимают на вход данные в TF-векторизации.

$F$ -мера представляет собой гармоническое среднее между точностью и полнотой. Она стремится к нулю, если точность или полнота стремится к нулю

$$F = 2 \frac{\text{Precision} \cdot \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}}. \quad (6)$$

Для проведения эксперимента нами была выбрана среда разработки Python и библиотеки Pandas, Keras, реализующие заявленные методы классификации, ScikitLearn, реализующую заявленные методы векторизации, а также библиотека NLTK для предобработки данных.

Данные обучающей выборки имеют следующую структуру:

- Issue Type (Тип Запроса) – целевой атрибут;
- Issue key (Ключ) – УИ;
- Summary (Краткое описание) – заголовок запроса;
- Assignee (Исполнитель) – сотрудник системы Service Desk, работающий с заявкой;
- Reporter (Автор) – автор заявки в системе Service Desk;
- Priority (Приоритет) – ранг приоритета срочности заявки;
- Created (Создано) – дата создания заявки;
- Description (Описание) – тело заявки.

При этом для решения задачи классификации обращений по типу запроса нам необходимы предварительно объединенные данные полей Summary и Description, а также метки классов – Issue Type. Обучающая и тестовая выборки составляют, соответственно, 80 и 20 %. В таблице представлена информация о результатах моделирования.

#### Результаты моделирования

Комбинация алгоритмов	$F$ -мера
TF + LR	0,69
TF-IDF + LR	0,70
TF + SVM	0,68
TF-IDF + SVM	0,70
TF + LSTM	0,38
TF + 2 уровня LSTM	0,324

Исходя из данных таблицы, можно заключить, что более простые методы классификации работают лучше, чем более сложные на слабоструктурированных коротких текстах. Кроме того, использование метрики TF-IDF способно хоть и незначительно, но повышать качество классификации.

### **Библиографический список**

1. Батура Т.В. Методы автоматической классификации текстов // Программные продукты и системы. – 2017. – Т. 30, № 1. – С. 85–99.

2. Епрев А.С. Автоматическая классификация текстовых документов // Математические структуры и моделирование. – 2010. – № 21. – С. 65–81.

3. Мбайкоджи Э. Метод автоматической классификации коротких текстовых сообщений / Э. Мбайкоджи, А.А. Драль, И.В. Соченков // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2012. – №3. – С. 93–102.

4. Осипова Ю.А., Лавров Д.Н. Применение кластерного анализа методом k-средних для классификации текстов научной направленности // Математические структуры и моделирование. – 2017. – №3(43). – С. 108–121.

5. Отрадных К.К., Жуков Д.О., Новикова О.А. Модель кластеризации слабоструктурированных текстовых данных // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2017. – Т. 13, № 3. – С. 100–113.

6. Шаграев А.Г., Бочаров И.А., Фальк В.Н. Трансдуктивное обучение логистической регрессии в задаче классификации текстов // Программные продукты и системы. – 2014. – № 2. – С. 114–118.

7. Medhat W., Hassan A., Korashy H. Sentiment analysis algorithms and applications: a survey // Ain Shams Eng. Jour. – 2014. – № 5. – P. 1093–1113.

8. Tarasov D.S. Deep recurrent neural networks for multiple language aspect-based sentiment analysis // Computational Linguistics and Intellectual Technologies. In Proc. Annual Intern. Conf. «Dialogue-2015». – 2015. – № 2, 14 (21). – P. 65–74.

9. Xiang Zhang, Junbo Zhao, Yann LeCun. Character-level convolutional networks for text classification // Proc. Neural Inform. Processing Systems Conf. (NIPS 2015). – Montreal, Canada, 2015.

### **Сведения об авторах**

**Парфёнов Денис Игоревич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Прикладная математика» Оренбургского государственного университета, Оренбург, e-mail: parfenovdi@mail.ru

**Лохачева Ксения Алексеевна** – магистрант Оренбургского государственного университета, Оренбург, e-mail: ksenia.lohacheva.97@mail.ru

### **About the authors**

**Parfenov Denis Igorevich** – Ph. D., Associate Professor of the Applied Mathematics department Orenburg state university, Orenburg, e-mail: parfenovdi@mail.ru

**Lokhacheva Ksenia Alekseevna** – Student of Orenburg State University, Orenburg, e-mail: ksenia.lohacheva.97@mail.ru

**Секция 2**

**АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ  
ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ**

## СОЗДАНИЕ СИНТЕТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЗАЛЕЖИ УГЛЕВОДОРОДОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ ПРИ АВТОАДАПТАЦИИ

**Г.А. Еремян**

Национальный исследовательский Томский  
политехнический университет, Томск

Данная статья посвящена созданию численной трехмерной синтетической модели нефтяной залежи. Процесс построения модели включает в себя этапы геологического моделирования, гидродинамического моделирования, а также ее подготовку к экспериментам по адаптации модели. Построенная модель предназначена для дальнейшего использования в вычислительных экспериментах по исследованию эффективности целевой функции в процессе автоматизированной адаптации модели.

**Ключевые слова:** геологическое моделирование; гидродинамическое моделирование; целевая функция; автоадаптация модели; оптимизационный алгоритм.

## THE CONSTRUCTION OF THE HYDROCARBON RESERVOIR SYNTHETIC MODEL FOR OBJECTIVE FUNCTION EFFICIENCY STUDY IN AUTOMATED HISTORY MATCHING

**G.A. Eremyan**

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk

This article is devoted to the construction of 3D numerical model of synthetic oil reservoir. Modeling process includes stages of geological modeling, hydrodynamic modeling, and model preparation for history matching experiments. The constructed model is designed for further use in the study of objective function efficiency in automated history matching.

**Keywords:** geologic modeling; reservoir simulation; objective function; automated history matching; optimization algorithm.

Геолого-гидродинамические модели используются в нефтяной отрасли как прогностический инструмент, помогающий в принятии решений по разработке нефтяных и газовых месторождений. Модель месторождения углеводородов включают в себя множество разнородных данных о пласте во взаимосвязи с системой разработки месторождения. Исходным данным, характеризующим геологические,

геофизические, фильтрационно-емкостные и прочие важные параметры пласта, присущи неопределенности. В точках бурения скважин геолого-геофизические исследования позволяют с высокой достоверностью оценить параметры пласта. Однако в межскважинном пространстве неопределенности в распространении свойств коллектора обычно высоки вследствие неоднородности природного резервуара.

После построения первого варианта модели результаты ее расчета сопоставляются с фактическими показателями работы скважин. Как правило, совпадения не происходит, в первую очередь по причине различных неопределенностей в параметрах модели. Далее начинается процесс адаптации модели, который заключается в модификации ее параметров в пределах присущих им неопределенностей с целью добиться близкого воспроизведения исторических показателей работы скважин и месторождения. Данное условие является обязательным для применимости модели в целях прогноза разработки пласта. В последние 10 лет активно развиваются способы автоматизированной адаптации (автоадаптации), при которых параметры модели настраиваются не «вручную» инженером по моделированию разработки месторождений, а с помощью оптимизационного алгоритма. Для возможности проведения автоадаптации выбираются параметры модели, которые будут варьироваться, целевая функция и оптимизационный алгоритм. Целевая функция представляет собой функцию нескольких переменных, которая подлежит минимизации в процессе адаптации модели. В состав целевой функции входят расхождения между расчетными и историческими показателями работы скважин. Как правило, чем ниже данное расхождение, тем лучше модель воспроизводит историю работы месторождения.

Целевая функция важна, поскольку является ориентиром для алгоритма оптимизации, который на основании значения целевой функции выбирает значения параметров адаптации для следующей итерации. Проблема выбора целевой функции изучалась разными исследователями. Однако на данный момент не представлено рекомендаций, каким образом следует подходить к выбору каждого аспекта формулировки целевой функций.

Целью данной работы является построение и подготовка к расчетам синтетической геолого-гидродинамической модели для численных экспериментов по исследованию эффективности разных формулировок целевой функции. Потребность создания синтетиче-

ской модели, то есть основанной на гипотетических данных, диктуется следующими преимуществами перед моделями реальных нефтяных месторождений:

1. Высокая скорость расчета, что делает возможным множественные вычислительные эксперименты.

2. Известность «истинных» параметров пласта в каждой ячейке модели, что делает возможным объективную оценку результатов автоадаптации.

3. Отсутствие грубых ошибок в исходных данных и недочетов в модели.

Синтетическая модель существенно меньше и проще моделей большинства реальных месторождений. В то же время она состоит из тех же элементов и подчиняется тем же законам фильтрации флюида в пористой среде, как и модели реальных месторождений углеводородов. Разработанная синтетическая модель создана в одном из широко используемых в нефтяной индустрии коммерческом программном комплексе.

Построение геолого-гидродинамической модели является комплексной задачей, состоящей из множества этапов [1–3].

Опишем этапы построения статической геологической модели, которая создается в первую очередь и является основой для фильтрационной модели.

Задаются границы модели, имеющие прямоугольную форму размером 1800 м с севера на юг и 2400 м с запада на восток. Структурная поверхность кровли пласта представляет собой типичную куполообразную антиклинальную складку, построенную на основе точек в пространстве, через которые проходит поверхность.

После этого создается 6 вертикальных скважин, три из которых будут добывать нефть, остальные 3 нагнетать воду для вытеснения нефти к добывающим скважинам и поддержания пластового давления. В роли геофизических каротажей для созданных скважин выступают каротажи самопроизвольной поляризации, основанные на реальных каротажах нефтяного месторождения, расположенного в Сибири [4–6]. Данные каротажи будут основой для расчета фильтрационно-емкостных свойств целевого пласта. Стоит отметить, что в модели заложена прибрежно-морская обстановка осадконакопления, о чем можно судить по форме и выдержанности каротажей. Далее производится интерпретация каротажей, по результатам которой вы-

деляются границы целевого пласта. Толщина пласта варьируется от 11 до 14 м. Структурная поверхность подошвы пласта проводится через отбивки подошвы во всех 6 скважинах.

На следующем этапе создается разлом в направлении с юга на север, а также геометрический каркас модели (3D грид). Модель разбивается на ячейки размером 100 на 100 м в плане и средней толщиной 0,8 метров при разбиении пласта на 15 слоев по вертикали.

Большинство реальных месторождений содержат не только углеводороды, но и воду, осложняющую выработку ценных запасов сырья. В синтетической модели задан уровень зеркала свободной воды, а также водонефтяной контакт, смоделированный на основе J-функции, характеризующей капиллярные свойства и определяющей уровень капиллярного поднятия воды над уровнем зеркала свободной воды [7].

На основе имеющихся каротажей и заданных петрофизических зависимостей рассчитываются пористость, проницаемость, водонасыщенность и другие свойства пласта по скважинам (рис. 1). Рассчитанные свойства переносятся на ячеистую модель с помощью дискретизации, далее свойства распространяются по всему объему 3D-модели.

Следующим этапом является насыщение модели коллектора пластовыми флюидами посредством задания их термодинамических свойств. Использована модель черной нефти, то есть флюид состоит из двух свободных фаз – нефти и воды. Наличие растворенного газа учитывается параметром газосодержания. Для корректного учета двухфазной фильтрации задается модель относительной фазовой проницаемости в зависимости от водонасыщенности коллектора.

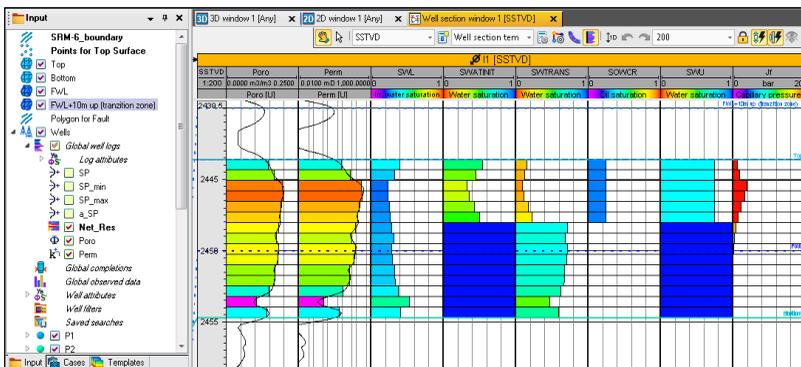


Рис. 1. Окно программы с петрофизическими свойствами пласта для скважины II

Построение геологической основы завершается заданием типа заканчивания для скважин. В данном случае выбран наиболее распространенный вариант – цементированная и перфорированная обсадная колонна.

После создания геостатической модели задаются технологические режимы работы скважин, начальное пластовое давление и прочие динамические параметры, описывающие разработку залежи. Результаты первого расчета, такие как дебиты, приемистости, забойные и пластовые давления, выгружаются и сохраняются в качестве «истинных» значений показателей, являясь аналогом исторических данных для синтетической модели. Они будут использоваться как ориентир при автоадаптации. Изображение построенной модели в 3D-окне представлено на рис. 2.

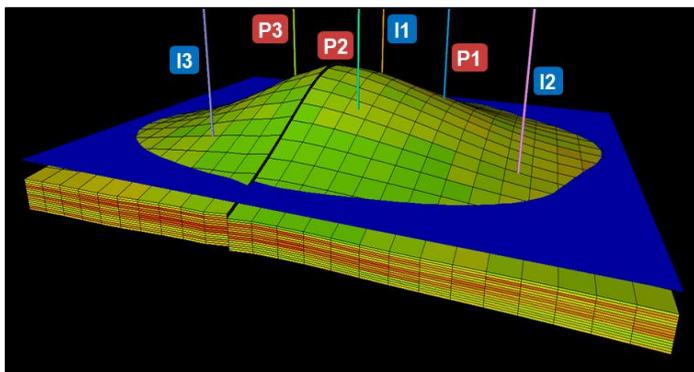


Рис. 2. Синтетическая модель нефтяной залежи SRM-6 в 3D-окне

Таким образом, создана синтетическая геолого-гидродинамическая модель залежи углеводородов для последующих вычислительных экспериментов по исследованию эффективности целевой функции в процессе автоадаптации. В модели имитируется разработка залежи методом заводнения с 7 годами истории. Пригодность созданной модели для множественных вычислительных экспериментов подтверждается скоростью расчета одной итерации, которая составляет в среднем 24 с. Для сравнения расчет модели реального месторождения при одинаковых вычислительных мощностях требует от нескольких часов до нескольких дней.

*Работа выполнена при поддержке ООО «Газпромнефть-НТЦ».*

## Библиографический список

1. Азиз Х., Сеттари Э. Математическое моделирование пластовых систем. – М.: Недра, 1982. – 416 с.
2. Закревский К.Е. Практикум по геологическому 3D-моделированию. Построение тестовой модели в Petrel 2011. – М., 2012. – 114 с.
3. Каневская Р.Д. Математическое моделирование гидродинамических процессов разработки месторождений углеводородов. – Москва; Ижевск. Институт компьютерных исследований, 2002. – 140 с.
4. Геологически обоснованная автоматизированная адаптация гидродинамических моделей на примере реального месторождения / Г.Ю. Шишаев, И.В. Матвеев, Г.А. Еремян, В.В. Демьянов, С.В. Кайгородов // Нефтяное хозяйство. – 2020. – № 6. – С. 58–61.
5. How does the definition of the objective function influence the outcome of history matching? / G. Eremyan, I. Matveev, G. Shishaev, V. Rukavishnikov, V. Demyanov // Conference Proceedings, ECMOR XVII. – Sep 2020. – Vol. 2020. – P. 1–14.
6. Geology realism control in automated history matching / I. Matveev, G. Shishaev, G. Eremyan, D. Konoshonkin, V. Demyanov, S. Kaygorodov // Conference Proceedings, ECMOR XVII. – Sep. 2020. – Vol. 2020. – P. 1–9.
7. Михайлов А.Н. Основные представления о переходных зонах и водяных контактах в неоднородных пластах // Георесурсы. Геоэнергетика. Геополитика. – 2012. – № 1(5). – С. 150–160.

## Сведения об авторе

**Еремян Грачик Араикович** – инженер-исследователь Центра подготовки и переподготовки специалистов нефтегазового дела Национального исследовательского Томского политехнического университета, Томск, e-mail: eremyanga@hw.tpu.ru

## About the author

**Eremyan Grachik Araikovich** – Research Engineer Petroleum Learning Centre of National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: eremyanga@hw.tpu.ru

## **АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ВЫБОРУ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ АДАПТАЦИИ МОДЕЛЕЙ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ**

**Г.А. Еремян**

Национальный исследовательский Томский  
политехнический университет, Томск

В данной статье представлен сравнительный анализ существующих подходов к выбору целевой функции для автоматизированной адаптации геолого-гидродинамических моделей месторождений углеводородов. Рассмотрены и проанализированы особенности подходов, их преимущества и недостатки, а также их опыт применения. Сделаны выводы относительно использования предпочтительного подхода.

**Ключевые слова:** геолого-гидродинамическое моделирование; авто-адаптация модели; целевая функция; оптимизационный алгоритм.

## **ANALYSIS OF APPROACHES TO THE OBJECTIVE FUNCTION SELECTION FOR AUTOMATED HISTORY MATCHING**

**G.A. Eremyan**

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk

This article is devoted to the comparative study of existing approaches to the objective function selection for automated history matching of hydrocarbon reservoir models. The features of the approaches, their advantages and disadvantages, as well as their application experience are considered and analyzed. Conclusions are drawn regarding the use of the preferred approach.

**Keywords:** hydrocarbon reservoir simulation; automated history matching; objective function; optimization algorithm.

В настоящее время разработка месторождений углеводородного сырья сопровождается геологическим и фильтрационным моделированием. Созданные модели природных резервуаров позволяют свести воедино комплексные данные о пласте, а также позволяют моделировать различные сценарии по дальнейшей разработке месторождения. Данный инструмент призван минимизировать риски, рационализировать схемы разработки залежей, способствовать максимизации извлечения запасов и прибыли недропользователя. В моделировании месторождения можно выделить 3 этапа: создание геологической модели, построение на ее основе фильтрационной модели, а также итеративный процесс адаптации созданной геолого-гидродинамической модели (ГГДМ).

Роль адаптация заключается в приведении расчетных показателей разработки месторождения в соответствие с наблюдаемыми (историческими). Адаптация модели производится путем варьирования параметров модели в пределах их неопределенностей. Широкое распространение получили способы автоматизированной адаптации или автоадаптации, когда параметры модели итерационно подбираются оптимизационным алгоритмом на основе значений целевой функции. В свою очередь целевая функция включает в себя расхождения расчетных и исторических показателей, таким образом характеризуя точность воспроизведения моделью истории работы скважин месторождения. Роль оптимизационного алгоритма – минимизировать значение целевой функции. Успешность адаптации зависит в том числе от выбора вида целевой функции.

Целью данной работы является сравнительный анализ подходов к выбору целевой функции для автоадаптации, который позволит сделать обоснованный выбор в пользу более предпочтительного подхода. В общем случае в состав целевой функции входят расхождения по нескольким разным показателям (целям) работы скважин: дебит нефти, дебит воды, забойное давление, пластовое давление и прочие. Подходы к заданию целевой функции условно разделены на две группы, показанные в таблице.

#### Существующие подходы к выбору целевой функции

Подход Описание	Однокритериальная оптимизация	Многокритериальная оптимизация
Количество ЦФ	Одна	Несколько
Математическое выражение невязки	Наиболее используемы выражения в виде МНК и СКО, единых требований нет	
Настройка влияния целей	За счет весов внутри ЦФ	За счет выбора и группирования ЦФ
Учет погрешности разных типов данных	Возможен посредством нормировки невязок на погрешности измерений	
Преимущества	Простота, гибкость за счет весовых коэффициентов, реализован в большинстве программ для ГГДМ	Гибкость за счет свободы вы- бора целей и их групп, не требуются весовые коэффи- циенты, нахождение Парето- оптимальных решений
Недостатки	Нет единого подхода к выбору компонент, способа нормировки, способов взвешивания	Нет единого подхода к выбору целей, проклятие размерности, отсутствует в большинстве программ для ГГДМ

Группа подходов, при которой все компоненты включаются в единую целевую функцию, на выходе давая одно суммарное значение, называется однокритериальной оптимизацией. Настройка влияния компонентов целевой функции производится с помощью весовых коэффициентов. Часто данные коэффициенты выбираются специалистом на основе доверия к имеющимся измерениям, их достоверности и точности. Характерной чертой однокритериального подхода является простота, так как одно число характеризует качество адаптации для всей модели. Применение весовых коэффициентов обеспечивают гибкость формулировки целевой функции, позволяющей учесть особенности исходных данных истории. Однокритериальный подход является наиболее распространенным среди программ для геолого-гидродинамического моделирования. Недостатком подхода является отсутствие единой методики и набора рекомендаций по выбору компонентов целевой функции, способов взвешивания и нормировки невязок. Примеры применения однокритериального подхода к выбору целевой функции продемонстрированы в работах [1–5].

Вторая группа подходов, при которой создается несколько отдельных целей для оптимизации, называется многокритериальной оптимизацией. В данном подходе производится поиск Парето-оптимальных решений (рис. 1).

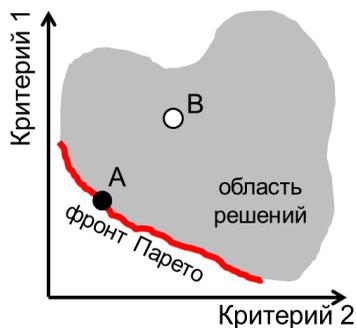


Рис. 1. Фронт Парето при многокритериальной оптимизации

Парето-оптимальные решения невозможно улучшить относительно любой из целей, не ухудшив результат по крайней мере для одной из других целей [6]. Множество Парето-оптимальных решений называется фронтом Парето. Основными целями многокритериальной оптимизации являются:

1. Нахождение решений, ближайших к фронту Парето,
2. Нахождение максимально разнообразных решений (вдоль фронта).

Важными для качественного прогноза по модели являются как близость к фронту Парето, так и наличие разнообразия решений для характеристики неопределенности полученного прогноза. При задании целевой функции в случае многокритериальной адаптации не требуется присвоения весовых коэффициентов. Гибкость обеспечивается свободой выбора и группирования целей (рис. 2).

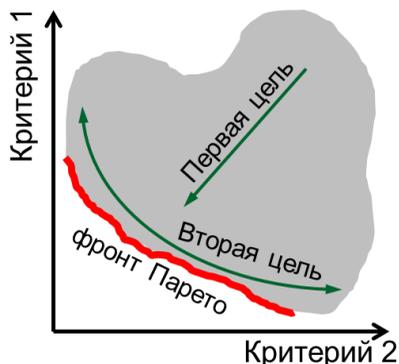


Рис. 2. Цели многокритериальной оптимизации

К ограничениям многокритериального подхода в первую очередь относится «проклятие размерности» в случаях, когда целей много. Проклятие размерности – экспоненциальный рост количества данных из-за увеличения размерности пространства. В публикации [7] отмечено, что эффективность исследования фронта Парето резко снижается при увеличении числа целей больше трех. В многомерном пространстве поиск решений имеет тенденцию сводиться к стохастическому перебору параметров, при этом расходуя вычислительные мощности в ущерб сходимости к Парето-оптимальным решениям. Основным способом борьбы с многомерностью являются способы понижения размерности, одним из примеров которой является группирование целей. Однако не существует универсального метода группирования. Кроме описанных недостатков подхода многокритериальной оптимизации, данный метод не реализован в большинстве современных широко распространенных программ для построения и автоматизированной адаптации моделей месторождений углеводородов.

Подробное описание примеров применения многокритериальной оптимизации дано в работах [8–10].

Таким образом, на основе анализа подходов и публикаций по выбору целевой функции для автоадаптации можно сделать вывод, что на данный момент не представлен в той или иной степени единый универсальный способ для выбора целевой функции, который бы обеспечивал гибкость, простоту и практичность с инженерной позиции. Среди имеющихся подходов предпочтение отдается однокритериальной оптимизации, которая является более простой и не так подвержена проблеме «проклятия размерности». Гибкость данному подходу обеспечивает возможность задания трех видов весовых коэффициентов: для скважин, компонентов и временных шагов. Подход единой целевой функции реализован в большинстве широко распространенных программ для моделирования месторождений углеводородов, используется в проектных институтах и компаниях-недропользователях.

Выбор оптимальных параметров целевой функции является задачей дальнейших исследований. Предстоит определить рекомендации для выбора компонентного состава целевой функции, способов нормировки и взвешивания.

*Работа выполнена при поддержке ООО «Газпромнефть-НТЦ».*

### **Библиографический список**

1. Геологически обоснованная автоматизированная адаптация гидродинамических моделей на примере реального месторождения / Г.Ю. Шишаев, И.В. Матвеев, Г.А. Еремян, В.В. Демьянов, С.В. Кайгородов // Нефтяное хозяйство. – 2020. – № 6. – С. 58–61.

2. Bertolini A.C., Schiozer J.D. Influence of the objective function in the history matching process // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2011. – Vol. 78, iss. 1. – P. 32–41.

3. How does the definition of the objective function influence the outcome of history matching? / G. Eremyan, I. Matveev, G. Shishayev, V. Rukavishnikov, V. Demyanov // Conference Proceedings, ECMOR XVII. – 2020. – Vol. 2020. – P. 1–14.

4. Geology realism control in automated history matching / I. Matveev, G. Shishayev, G. Eremyan, D. Konoshonkin, V. Demyanov, S. Kaygorodov // Conference Proceedings, ECMOR XVII. – 2020. – Vol. 2020. – P. 1–9.

5. Rwechungura R.W., Dadashpour M., Kleppe J. Advanced History Matching Techniques Reviewed // SPE-142497-MS. – 2011.
6. Лотов А.В., Поспелова И.И., Многокритериальные задачи принятия решений: учеб. пособие. – М.: МАКС Пресс, 2008. – 197 с.
7. Hutahaean J.J., Demyanov V.V., Christie M.A. On Optimal Selection of Objective Grouping for Multiobjective History Matching // SPE-185957-PA. – 2017.
8. Almeida F.L.R., Davolio A., Schiozer D.J. A New Approach to Perform a Probabilistic and Multi-objective History Matching // SPE-170623-MS. – 2014.
9. Ding Y.D., McKee F. Using partial separability of the objective function for gradient-based optimizations in history matching // SPE-140811-MS. – 2011.
10. Multiobjective Optimization with Application to Model Validation and Uncertainty / R.W. Schulze-Riegert, M. Krosche, A. Fahimuddin, S.G. Ghedan // SPE-105313. – 2007.

#### **Сведения об авторе**

**Еремян Грачик Араикович** – инженер-исследователь Центра подготовки и переподготовки специалистов нефтегазового дела Национального исследовательского Томского политехнического университета, Томск, e-mail: eremyanga@hw.tpu.ru

#### **About the author**

**Eremyan Grachik Araikovich** – Research Engineer Petroleum Learning Centre of National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: eremyanga@hw.tpu.ru

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В ЭНЕРГЕТИКЕ**

**Э.С. Рассаднев, А.А. Осипенко**

Пермский военный институт войск национальной гвардии  
Российской Федерации, Пермь

Современная среда экономических преобразований обеспечивается за счёт инновационного прогресса, что объясняется достижением успеха в применении современных технологий. Автоматизация стала совершенством для развития научных идей, а также научной деятельности, что связано, прежде всего, с развитием энергетической промышленности. В данной статье будет рассмотрена автоматизация производственных процессов в сфере энергетической промышленности.

**Ключевые слова:** автоматизация; энергетика; производство; технологии; оборудование; производственный процесс; инновационные технологии.

## **AUTOMATION AND CONTROL OF TECHNOLOGICAL PROCESSES IN POWER ENGINEERING**

**E.S. Rassadnev, A.A. Osipenko**

Perm Military Institute of National Guard Troops  
of the Russian Federation, Perm

The modern environment of economic transformation is provided by innovative progress, which is explained by the achievement of success in the application of modern technologies. Automation has become a perfection for the development of scientific ideas, as well as scientific activities, which is primarily associated with the development of the energy industry. This article will discuss the automation of production processes in the energy industry.

**Keywords:** automation; power engineering; production; technology; equipment; production process; innovative technologies.

Под автоматизацией подразумевается процесс развития производства, где выполняемые ранее функции человека передаются автоматическими устройствами. Однако управление автоматизацией остается за человеком. Данный автоматизированный процесс создаётся при помощи АСУТП, который представляет полноценный автоматизированный комплекс программ, предназначенный для управления оборудованием. Под данным процессом управления, как правило,

понимается комплексное решение, обеспечивающее автоматизацию производства [1, с. 87].

Научные труды исследователей в данной сфере выделяют следующие направления: использование аппаратуры по управлению и контролю техники с автоматизацией работы, где главной целью, прежде всего, является повышение эффективности и безопасности производственного процесса.

Поставленные цели достигаются решением следующих задач:

- развитием и совершенствованием качества процесса;
- совершенствованием готовности данного автоматизированного процесса и оборудования;
- совершенствованием производственного процесса.

Решение поставленных задач осуществляется, в первую очередь, при внедрении инновационных методов данного процесса, которое требует точной четкости в производственной деятельности всех звеньев производственного процесса. В энергетической отрасли, несмотря на существующую неоднородность рынка автоматизации, востребованы решения, направленные на повышение бесперебойности и производительности энергетического комплекса [2].

В данной отрасли внедряются и совершенствуются традиционные продукты автоматизации, такие как системы электронного документооборота, или бизнес-анализа, так и инновационные инструменты: аналитика на базе алгоритмов или искусственный интеллект для оптимизации производства. Существуют три основных направления деятельности электросетевых компаний по автоматизации передачи и распределения электроэнергии. Это – специальные решения АСДУ, условно говоря, это диспетчерский зал с видеостеной. Вторым немаловажным направлением автоматизации стало управление транспортом электроэнергии, где решаются задачи технического учета, расчет отпуска энергии и потерь. Для данных целей используются системы АСТУЭ и АСКУЭ. Среди других трендов можно выделить развитие SmartGrid.

Энергетические предприятия с интересом следят за инновационными ИТ, хотя и осваивают их пока с крайней осторожностью. В ближайшие годы будут востребованы конвергентные решения, например VI+ГИС или VI + технологические данные. Для энергетики большое значение отведено безопасности, в связи с этим облачные технологии оцениваются с большей осторожностью. Основной при-

чиной данной предосторожности является боязнь за сохранность данных. ИТ-инфраструктура является важнейшей составляющей, так, к примеру, биллинговую систему внедрили «Энергетические системы Востока (РАО ЭС Востока)», в основе которой лежит отраслевое решение компании Ferranti для предприятий ЖКХ и энергетики.

Системы PLM используются с меньшей эффективностью, в отличие от машиностроения. САПР востребован немного больше, например, имеются продукты трёхмерного проектирования и автоматического формирования в начертательном формате. С применением ГИС-направления можно прогнозировать местоположение новых подстанций. PLM-системы приобретают все большее распространение в электроэнергетике, которые позволяют вести паспорта оборудования компаний на протяжении долгого времени. Элементами систем являются также решения, основанные на геоинформации, например решение на базе GE SmallWorld. Благодаря поддержке со стороны государства, широкое распространение получили системы глобального позиционирования («ГЛОНАСС»).

Предприятия энергетики продолжают развивать, модернизировать, расширять функциональность, менять «старое на новое», появляются также модифицированные решения, которые адаптированы под отрасль. Однако данные преобразования происходят в отношении автоматизации основной деятельности предприятий, которые требуют более глубокого погружения в специфику данной отрасли [3]. Например, энергетической отрасли пришлось разобраться с физикой гидродинамических процессов, происходящих в Волжско-Камском каскаде гидроэлектростанций – прежде, чем энергетика смогла применить нейронные сети для автоматизации технологических процессов диспетчерского центра. На основе приобретённых знаний энергетическая отрасль разработала систему, позволяющую рассчитывать плановый режим работы объекта. Другой же задачей стала автоматизация планирования производственных программ для «РусГидро», которая также потребовала от сотрудников полнейшего погружения в производственный процесс организации, а также работу систем и оборудования.

Проблемой автоматизации является, прежде всего, «технологическая безработица», представляющая собой потерю рабочих мест, которая обуславливает негативные мнения в отношении введения данного процесса. Также острой проблемой является недостаток

«профессионалов» в данной отрасли. Однако автоматизация технологического процесса имеет больше положительных сторон, так как она позволяет увеличить производительность более чем в три раза. Автоматизация является необходимым решением вопроса в отношении низкой производительности труда и улучшения качества продукции в отношении данной отрасли. На сегодняшний день предлагается большой выбор программ для осуществления производства и, конечно же, видится надежда на то, что интеллектуальные АСУ займут, пусть не первое, но достойное место.

### **Библиографический список**

1. Хлебенских Л.В., Зубкова М.А., Саукова Т.Ю. Автоматизация производства в современном мире // Молодой ученый. – 2017. – № 16(150).
2. Селевцов Л.И. Автоматизация технологических процессов. – М.: Академия, 2014. – 352 с.
3. Цветаев С.С., Логачев К.И. Актуальные проблемы автоматизации промышленных предприятий // Вестник Белгород. гос. технол. ун-та им. В.Г. Шухова. – 2012. – № 9.

### **Сведения об авторах**

**Рассаднев Эдуард Сергеевич** – кандидат философских наук, преподаватель кафедры «Связь» Пермского военного института войск национальной гвардии Российской Федерации, Пермь, e-mail: [www.ross@mail.ru](mailto:www.ross@mail.ru)

**Осипенко Андрей Анатольевич** – заместитель начальника кафедры «Связь» Пермского военного института войск национальной гвардии Российской Федерации, Пермь.

### **About the authors**

**Rassadnev Eduard Sergeevich** – Ph. D. in Philology Sciences, lectures at the Department of Communications Perm Military Institute of National Guard Troops of the Russian Federation, Perm, e-mail: [www.ross@mail.ru](mailto:www.ross@mail.ru)

**Osipenco Andrey Anatolevich** – Deputy head of the communication department of Perm Military Institute of National Guard Troops of the Russian Federation, Perm.

## ОРГАНИЗАЦИЯ РЕМОНТА ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

**К.И. Яцкевич, Т.Ф. Манцерова**

Белорусский национальный технический университет,  
Минск, Республика Беларусь

В данной статье рассмотрены основные виды ремонтов теплотехнического оборудования. Акцентируется внимание на преимуществах автоматизации управления системой ремонтов на примере «1С:ERP Энергетика 2». Выполнен анализ работы специализированного предприятия по ремонту оборудования Белорусской энергосистемы.

**Ключевые слова:** теплотехническое оборудование; виды ремонтов; организация; автоматизация; анализ.

## ORGANIZATION OF REPAIR OF HEATING EQUIPMENT

**K.I. Yatskevich, T.F. Mancerova**

Belarusian national Technical University,  
Minsk, Republic of Belarus

This article describes the main types of repairs of heating equipment. Attention is focused on the advantages of automation of repair system management on the example of 1С: ERP Energetika 2. The analysis of the work of a specialized enterprise for the repair of equipment of the Belarusian power system was performed.

**Keywords:** heat engineering equipment; types of repairs; organization; automation; analysis.

Энергетика является стратегическим сектором национальной экономики республики, стабильная и надежная работа которой обеспечивает эффективность всех видов экономической деятельности. Так, удельный вес энергетики в общем объеме промышленного производства Республики Беларусь составлял в 2015 г. 10 % и в 2019 г. 8,3 %. Бесперебойное и качественное снабжение энергией потребителей обеспечивается надежной работой энергетического оборудования\*. В связи с этим особое внимание на предприятиях энергетики

---

\* Боровков В.М., Калотик А.А., Сергеев В.В. Ремонт теплотехнического оборудования и тепловых сетей: учебник для образоват. учреждений среднего проф. образования. – 2-е изд., стер. – М.: Академия, 2012. – 208 с.

республики уделяется системе технического обслуживания и ремонта оборудования.

Наравне с повышением надежности, а также безопасности энергоснабжения основной целью ремонтного обслуживания считается усовершенствование либо стабилизация технико-экономических характеристик оборудования. Различают следующие виды ремонтов, которые представлены в табл. 1

Таблица 1

Краткая характеристика основных видов ремонтов оборудования

Вид ремонта	Краткая характеристика ремонта
Текущий	Предполагает ликвидацию недостатков в работе оборудования, обнаруженных в день остановки агрегата с целью ремонтных работ; смену быстроизнашивающихся частей; обнаружение деталей, которые требуется заменить либо отремонтировать при среднем или капитальном ремонте; осуществление профилактических работ по графику ППР
Средний	Выполняется неполный разбор оборудования; замена изношенных деталей; проверка, а также очистка деталей; тестирование и установление работ, необходимых при следующем капитальном ремонте
Капитальный	Отличается от текущего ремонта большим межремонтным циклом; включает полную разборку оборудования; обследование всех элементов; замену единичных элементов и узлов; предотвращение повреждений; испытание и пробный пуск
Восстановительный	Выполняется после стихийных бедствий и чрезвычайных ситуаций и в иных форс-мажорных обстоятельствах
Аварийный	Осуществляется после аварии(катастрофы) оборудования

Сейчас крупнейшими предприятиями по ремонту теплотехнического оборудования в белорусской энергосистеме являются ОАО «Центрэнергомонтаж», ОАО «Белэнергоремналадка» и другие. В целом такие организации представлены по всем РУП-облэнерго и занимаются специализированными ремонтными работами.

Портфель услуг филиала «Белоозёрскэнергоремонт» РУП «Брестэнерго» включает: монтаж и ремонты котельного оборудования любой сложности, ремонт генераторов, трансформаторов, масляных выключателей, электрических двигателей, изготовление запасных частей нестандартного оборудования энергетических котлов, монтаж тепловых

сетей, диагностику технологического оборудования, котлоочистительные и обмуровочные работы, виброналадку и вибродиагностику турбин и вращающихся механизмов. Рассмотрим перечень отремонтированного филиалом оборудования за период 2018–2020 гг. для основных филиалов.

Таблица 2

Перечень отремонтированного оборудования филиалом за 2018 г.

Филиал	Ремонты			
	всего	капитальные	средние	текущие
<b>Брестские ТС</b>				
Котлы	8	2	6	0
Турбины	1	0	0	1
Генераторы	0	0	0	0
<b>Барановичские ТС</b>				
Котлы	1	1	0	0
Турбины	1	1	0	0
Генераторы	1	1	0	0
<b>Пинские ТС</b>				
Котлы	5	3	2	0
Турбины	1	1	0	0
Генераторы	1	1	0	0
<b>Березовская ГРЭС</b>				
Котлы	0	0	0	0
Турбины	3	0	1	2
<b>Всего по филиалам</b>				
Котлы	14	6	8	0
Турбины	6	2	1	3
Генераторы	2	2	0	0

Можно сделать вывод, что в 2018 г. в структуре заказов и выполненных работ по региональной энергосистеме наибольший удельный вес (63,3 %) занимает ремонт котлов. Следует также заметить, что это были средние ремонты этого оборудования (57,1 %). По турбинам выполнялись в основном текущие ремонты. Основные заказчики филиал «Брестские тепловые сети» (более 57 %), для которых выполнялся преимущественно средний ремонт котлов. Для объектов генерации, в частности филиала «Березовская ГРЭС2» выполнялся в основном текущий ремонт турбин.

Таблица 3

## Перечень отремонтированного оборудования филиалом за 2019 г.

Филиал	Ремонты			
	Всего	Капитальные	Средние	Текущие
<b>Брестские ТС</b>				
Котлы	6	2	4	0
Турбины	1	1	0	0
Генераторы	2	1	0	1
<b>Барановичские ТС</b>				
Котлы	1	1	0	0
Турбины	0	0	0	0
Генераторы	0	0	0	0
<b>Пинские ТС</b>				
Котлы	6	2	3	1
Турбины	3	1	0	2
Генераторы	1	1	0	0
<b>Березовская ГРЭС</b>				
Котлы	0	0	0	0
Турбины	5	0	2	3
Генераторы	0	0	0	0
<b>Пружанские ЭС</b>				
Котлы	2	0	1	1
Турбины	0	0	0	0
Генераторы	1	0	0	1
<b>Всего по филиалам</b>				
Котлы	15	5	8	2
Турбины	9	2	2	5
Генераторы	4	2	0	2

В 2019 г., как и в 2018 г., наибольший удельный вес в структуре заказов и выполненных работ занимает ремонт котлов. Анализ данных показал, что это были средние ремонты этого оборудования (57,7 %). Основные заказчики ремонта котлов – филиалы «Брестские тепловые сети» и «Пинские тепловые сети» (80 %), для которых выполнялся преимущественно средний ремонт котлов.

Таблица 4

## Перечень отремонтированного оборудования филиалом за 9 месяцев 2020 г.

Филиал	Ремонты			
	Всего	Капитальные	Средние	Текущие
<b>Брестские ТС</b>				
Котлы	8	1	6	0
Турбины	0	0	0	0
Генераторы	0	0	0	0
<b>Барановичские ТС</b>				
Котлы	1	1	0	0

Филиал	Ремонты			
	Всего	Капитальные	Средние	Текущие
Турбины	0	0	0	0
Генераторы	0	0	0	0
<b>Пинские ТЭС</b>				
Котлы	5	0	4	1
Турбины	1	1	0	0
Генераторы	1	1	0	0
<b>Березовская ГРЭС</b>				
Котлы	0	0	0	0
Турбины	2	0	0	2
Генераторы	2	0	0	2
<b>Пружанские ЭС</b>				
Котлы	0	0	0	0
Турбины	0	0	0	0
Генераторы	0	0	0	0
<b>Всего по филиалам</b>				
Котлы	12	2	9	1
Турбины	3	1	0	2
Генераторы	3	1	0	2

В целом эта тенденция прослеживается и в 2020 г. Как видно на рис. 1, наибольший удельный вес (67 %) занимает ремонт котлов.

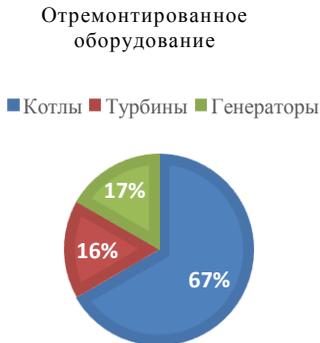


Рис. 1. Виды оборудования

Для повышения эффективности использования энергетического оборудования, снижения затрат по организации и проведению ремонтов, получения достоверной и оперативной информации о причинах отказа и дефектов оборудования сегодня уже необходимо внедрение автоматизированных решений для организации системы технического обслуживания и ремонта оборудования.

На текущий момент разработаны несколько ПО для решения комплекса задач для предприятий энергетики. Анализ рынка ПО позволил сделать вывод, что наиболее полно все указанные функции реализованы в программе «1С:ERP Энергетика 2», которая специально разработана для автоматизации процедуры проведения ремонта основного оборудования энергетических предприятий.

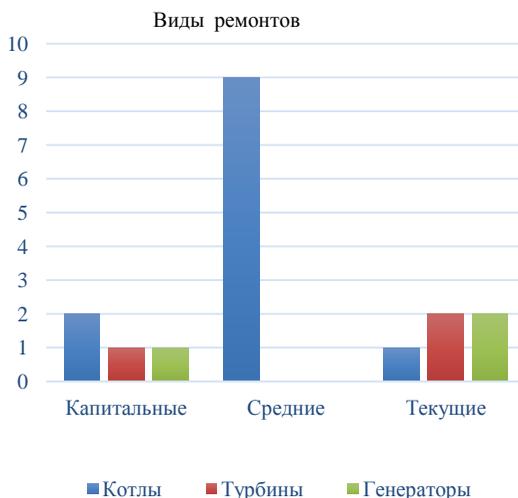


Рис. 2. Виды выполненных ремонтов

«1С:ERP Энергетика 2» направлена на решение следующих основных задач:

- пообъектное ведение учета ремонта;
- классификация объектов ремонта по признакам общности состава паспортных характеристик, показателей наработки, видов ремонта, режимов эксплуатации;
- диагностика состояния отремонтированного оборудования, а также его принадлежность и расположение;
- ввод данных об оборудовании в ходе эксплуатации в систему о наработке на отказ и обнаруженных дефектах;
- регистрация дефектов позволяет производить анализ и организовывать проведение плановых и внеплановых ремонтных мероприятий.

В Республике Беларусь на энергетических предприятиях и их филиалах пока эта программа не используется, хотя есть отдельные

АРМы для автоматизации основных бизнес-процессов. Масштабные инвестиционные проекты в энергетике направлены на решение, прежде всего, вопросов повышения эффективности основных технологических циклов производства энергии – генерации, передачи и распределения энергии. Это может быть достигнуто как за счет проведения технического перевооружения, так и за счет ввода (установки) нового оборудования. В свою очередь техническое перевооружение обеспечивает продление сроков эксплуатации основного энергетического оборудования и восстановление мощности. Продление сроков эксплуатации оборудования достигается за счет проведения модернизации действующего оборудования. Восстановление же мощности оборудования возможно в том числе при условии замены неэффективного по различным параметрам оборудования на новое. В условиях недостаточного финансирования инвестиционных проектов наиболее привлекательным является вариант модернизации оборудования, так как является менее затратным.

#### **Сведения об авторах**

**Яцкевич Карина Ивановна** – студентка Белорусского национального технического университета, Минск, e-mail: karinav19817@gmail.com

**Манцорова Татьяна Феликсовна** – кандидат экономических наук, доцент, заведующая кафедрой «Экономика и организация энергетики» Белорусского национального технического университета, Минск, e-mail: mantf@mail.ru

#### **About the authors**

**Yatskevich Karina Ivanovna** – Student Belarusian National Technical University, Minsk, e-mail: karinav19817@gmail.com

**Mantserova Tatyana Feliksovna** – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Economics and Organization of Energy Belarusian National Technical University, Minsk, e-mail: mantf@mail.ru

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ LTSPICE ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА (BJT)

**А.В. Шевкунова**

Ростовский государственный университет  
путей сообщения, Ростов-на-Дону

В данной статье рассмотрены некоторые функциональные особенности программного продукта LTSpice XVII. В качестве рассматриваемого объекта за основу был взят биполярный транзистор NPN-типа. В результате были получены входная характеристика и семейство выходных характеристик.

**Ключевые слова:** биполярный транзистор; моделирование; программа LTSpice; входные и выходные характеристики.

## USING LTSPICE TO PLOT THE CHARACTERISTICS OF A BIPOLAR TRANSISTOR (BJT)

**A.V. Shevkunova**

Rostov State Transport University, Rostov-on-Don

This article discusses some of the functional features of the LTSpice XVII software product. As the object under consideration, an NPN-type bipolar transistor was taken as the basis. As a result, an input characteristic and a family of output characteristics were obtained.

**Keywords:** bipolar transistor; simulation; LTSpice program; input and output characteristics.

Транзистор является основным компонентом преобразовательной техники. Как известно, транзистор – это управляемый полупроводниковый прибор, усиливающий электрические сигналы. Данные свойства широко используются в электронной промышленности, без которой невозможно представить работу ни одной отрасли промышленности развитых стран. Главной составляющей проектирования какого-либо технического устройства является компьютерное моделирование, которое при корректном использовании позволяет учитывать и оптимизировать результаты предварительных теоретических расчетов. Также оно дает возможность итерационным методом в интерактивном режиме подбирать определенные параметры и следить за работой проектируемого устройства на каждом шаге.

В настоящее время в сфере конструкторского проектирования среди разработчиков электронных устройств довольно большую популярность приобрели так называемые SPICE-программы. Одна из таких программ – LTSpice, представляющая собой симулятор, результатом моделирования которого являются корректные и высокоточные модели [1–3]. Данный программный продукт позволяет моделировать цифровые, аналоговые и смешанные схемы за достаточно короткое время. Для более детального изучения программного продукта LTSpice можно воспользоваться следующими учебными пособиями [4, 5], в которых подробно описаны вопросы работы со схемным редактором, моделирования электронных схем и электротехнических устройств, а также работа в графическом постпроцессоре. Целью данной статьи является ознакомление с основами работы в программе LTSpice на примере построения схемы с биполярным транзистором и последующим получением и анализом входной и выходных характеристик рассматриваемого объекта.

В данной статье рассмотрен пример включения биполярного транзистора NPN-типа с тремя общими выводами (соответственно коллектор (collector), база (base), эмиттер (emitter)) по схеме с общим эмиттером. Наибольшее распространение этого варианта подключения транзистора получено за счет усиления по току, напряжению и мощности, а также за счет наличия высокого входного и низкого выходного сопротивления. В данной программе используется математическая модель биполярного плоскостного транзистора Гуммеля – Пуна, которая за исключением некоторых параметров упрощается к модели Эберса – Молла. В качестве исследуемого объекта был выбран биполярный транзистор 2N222, Spice-модель которого выглядит следующим образом: `.model 2N222 NPN (Is=1E-14 VAF=100 BF=200 IKF=0.3 XTB=1.5 BR=3 CJC=25E-12 TR=100E-9 TF=400E-12 ITF=1 VTF=2 XTF=3 RB=10 RE=.2 Vceo=30 Icrating=800m mfg=NXP`. Наименование некоторых параметров:  $I_c$  – ток коллектора;  $V_{ceo}$  – напряжение коллектор-эмиттер;  $I_s$  – ток насыщения при 27 °C;  $BF$  – коэффициент усиления тока в нормальном режиме в схеме с общим эмиттером (токи утечки не учитываются), а наиболее полное описание параметров представлено в учебно-научной литературе [4, 5].

На первом этапе была построена схема с биполярным транзистором для получения входной характеристики. Данная схема в окне

программы изображена на рис. 1, на котором номера соответствуют следующим элементам: 1 – источник напряжения задаваемой формы; 2 – биполярный транзистор NPN типа; 3 – источник напряжения с постоянным значением 10 В; 4 – нулевой провод или «земля» (данный элемент является обязательным и относительно него производится расчет узловых потенциалов схемы).

Входные характеристики биполярного транзистора представляют собой экспоненциальную зависимость тока базы ( $I_B$ ) от напряжения между базой и эмиттером ( $U_{БЭ}$ ) при постоянном напряжении на коллекторе ( $U_{КЭ}$ ), и они мало зависят от напряжения на коллекторе. Именно поэтому в данной статье приведена одна кривая при  $U_{КЭ} = 10$  В. Таким образом, источник напряжения V1 (рис. 1) настроен на постоянное напряжение 10 В, а источник V2 на изменение напряжения от – 1 до 5 В с шагом 100 мВ.

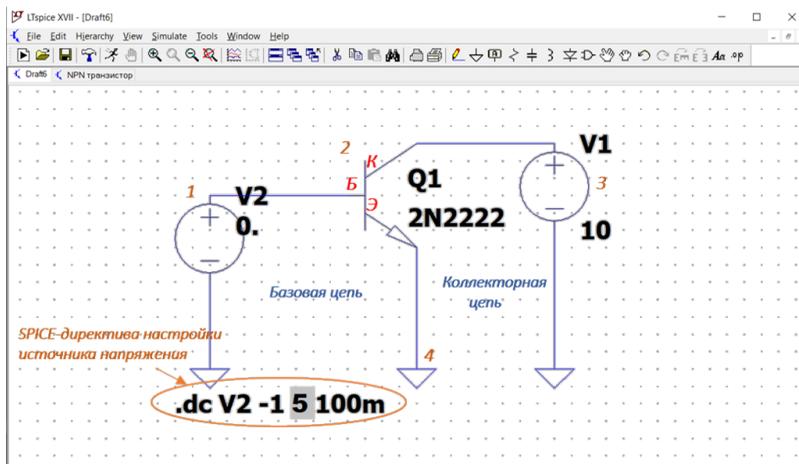
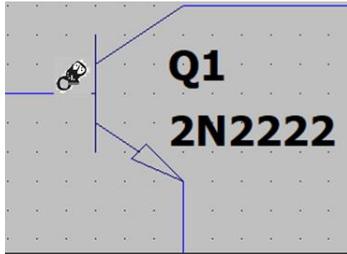


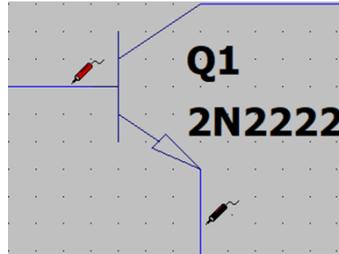
Рис. 1. Схема в программе LTSpice для снятия входной характеристики биполярного транзистора

В общем LTSpice позволяет проводить шесть видов анализа собранных схем. Для данного примера был проведен анализ «DC sweep – по постоянному току при вариации источников», который дает возможность в результате получить необходимые статические характеристики. Таким образом, была получена входная характеристика транзистора 2N2222 (рис. 2, в), и для визуализации процессов, а также

ознакомления с интерфейсом на рис. 2, *з*, представлено напряжение между базой и эмиттером с графическим обозначением координат, а на рис. 2, *а* и *б*, инструменты, посредством которых измеряются различные электрические величины.



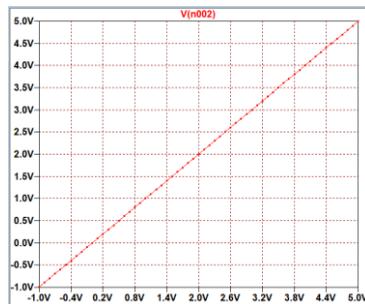
*а*



*б*



*в*



*г*

Рис. 2. Токовые клещи (*а*), щуп (*б*), входная характеристика транзистора 2N2222 (*в*) и напряжения между базой и эмиттером (*г*)

Выходные характеристики биполярного транзистора отображают зависимость тока коллектора ( $I_K$ ) от напряжения между коллектором и эмиттером ( $U_{КЭ}$ ), при постоянном значении тока базы ( $I_B$ ). Количество выходных характеристик в справочниках обычно приводится не менее чем для пяти значений тока базы. В настоящем исследовании был произведен расчет для десяти фиксированных значений  $I_B$  с шагом 2 мкА. Схема для снятия выходных характеристик приведена на рис. 3, где под номером 1 – источник тока, а выделенная Spice-директива обозначает следующее: источник напряжения V1 настроен на изменение напряжения от 0 до 1 вольта с шагом 10 мВ, а источник тока I1 – на изменение тока от 0 до 20 мкА с шагом 2 мкА.

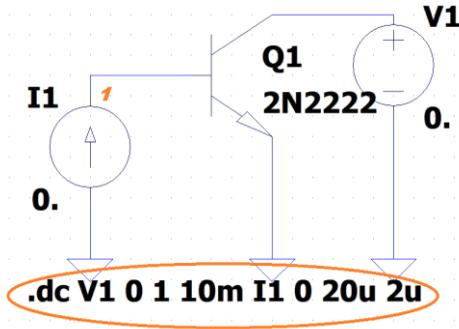


Рис. 3. Схема в программе LTSpice для снятия выходных характеристик биполярного транзистора

После окончания моделирования при активации кнопки «Run» выводится окно плоттера, в котором семейство выходных характеристик транзистора 2N2222 выглядят следующим образом (с применением масштабирования) (рис. 4). Таким образом, получено 11 кривых при фиксированном  $\Delta I_B = 2 \text{ мкА}$ .

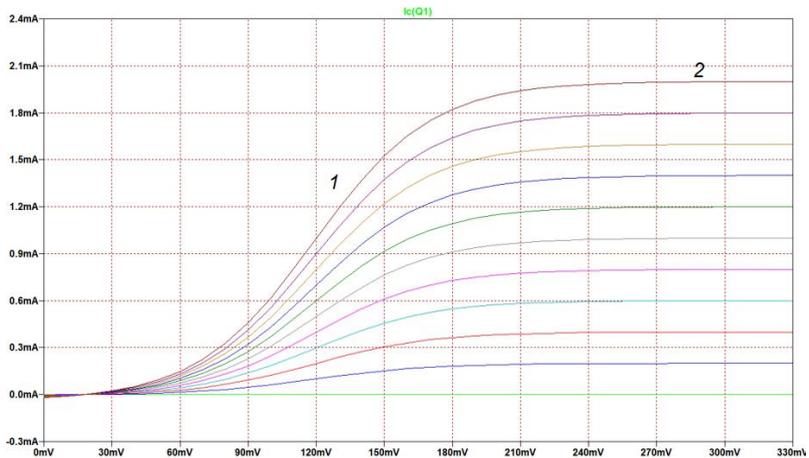


Рис. 4. Выходные характеристики транзистора 2N2222

Из полученной выходной характеристики можно выделить следующее: область, расположенная под первой характеристикой, соответствует режиму глубокой отсечки ( $U_{бэ} < 0$ ), при котором эмиттерный

и коллекторный переходы заперты. При  $I_b = 0$  мкА характеристика соответствует режиму с оторванной базой, т.е. при данном режиме из коллектора в эмиттер течет только сквозной ток. На выходных характеристиках условно можно выделить три области. Первая область – это нелинейная область с ярко выраженной зависимостью  $I_k$  от  $U_{кз}$ , что является режимом насыщения. Вторая область характеризуется линейными участками (почти горизонтальными), на которых прослеживается очень слабая зависимость тока коллектора от напряжения коллектора-эмиттера. Малый подъем объясняется эффектом модуляции базы. В таком режиме, т.е. активном режиме, биполярный транзистор ведёт себя как источник тока, управляемый током базы. Третья область (на рис. 4 не изображена) – область пробоя, зачастую не используемая в качестве рабочей.

С помощью выходных характеристик можно определить различные производные параметры, например дифференциальное сопротивление коллектора, коэффициент передачи базового тока в цепь коллектора и т.д.

Таким образом, на примере построения схемы с биполярным транзистором с последующей визуализацией его характеристик, а также исходя из многочисленных научных публикаций, можно утверждать, что программный продукт LTSpice достаточно универсален. Его функционал позволяет пользователю проводить моделирование электрических цепей и электронных схем с последующей визуализацией результатов.

### Библиографический список

1. Кукушкин Ф.А., Майорова Л.С., Куликов К.В. Применение средств моделирования LTSpice IV при проектировании инверторных источников питания // Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии (XIX Бенардосовские чтения): материалы международной научно-технической конференции, посвященной 175-летию со дня рождения Н.Н. Бенардоса. – 2017. – С. 29–32.

2. Parametric optimization subsystem in Itspice environment of analog microcircuits for operation at low temperatures / M.V. Liashov, N.N. Prokopenko, A.A. Ignashin [et al.] // 2019 IEEE East-West Design and Test Symposium, EWDTs 2019. – 2019. – P. 8884446.

3. Белый А.В., Гурбанов Э.Р., Сотникова С.Ю. Сравнительный анализ теплового моделирования электронных средств с помощью программ LTSPICE и АСОНИКА-Т // Инновационные, информационные и коммуникационные технологии. – 2016. – № 1. – С. 180–182.

4. Володин В.Я. LTSpice: компьютерное моделирование электронных схем. – СПб.: БХВ-Петербург, 2010. – 400 с.

5. Сохор Ю.Н. Моделирование устройств в LTSpice: учебно-метод. пособие. – Псков: Изд-во ППИ, 2008. – 165 с.

### **Сведения об авторе**

**Шевкунова Анастасия Владимировна** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Тяговый подвижной состав» Ростовского государственного университета путей сообщения, Ростов-на-Дону, e-mail: nastya3051990@mail.ru

### **About the author**

**Shevkunova Anastasia Vladimirovna** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Traction Rolling Stock, Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, e-mail: (hidden)

## **СОЗДАНИЕ ЕДИНОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНО-ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОДЗЕМНЫМ РУДНИКОМ**

**Р.Р. Алибаев, П. Ю. Худяков**

Технический университет УГМК, Верхняя Пышма

В данной статье рассмотрены вопросы по созданию автоматизированной системы оперативно-диспетчерского управления (АСОДУ) подземным рудником. Описана область применения единой диспетчеризации в подземных рудниках, где на сегодняшний день отсутствуют данные технические решения. Предложено использование данной системы на предприятиях со схожими технологическими процессами. В работе приведены основные задачи создания автоматизированной системы для диспетчера подземного рудника и энергодиспетчера предприятия. Представлена структурная схема системы диспетчерского управления подземным рудником, с возможностью удаленного управления инженерными системами объектов рудника. Описаны основные цели и ожидаемые результаты от создания диспетчерского управления на производстве. Рассмотрен экономический эффект от внедрения автоматизированной системы оперативно-диспетчерского управления подземным рудником в действующее производство.

**Ключевые слова:** автоматизированные системы; диспетчерское управление; подземный рудник; снижение простоев; экономический эффект.

## **CREATION OF A UNIFIED AUTOMATED SYSTEM FOR OPERATIONAL AND DISPATCHING CONTROL OF AN UNDERGROUND MINE**

**R.R. Alibaev, P.Yu. Khudyakov**

UMMC Technical University, Verkhnyaya Pyshma

This article discusses the issues of creating an automated system of operational and dispatching control (ASODU) of an underground mine. The scope of application of unified dispatching in underground mines, where currently there are no such technical solutions, is described. The use of this system in enterprises with similar technological processes is proposed. The paper presents the main tasks of creating an automated system for the underground mine dispatcher and the energy dispatcher of the enterprise. A block diagram of the dispatching control system for an underground mine is presented, with the possibility of remote control of the engineering systems of the mine facilities. The main goals and expected results from the creation of dispatching control in production are described. The economic effect of

the introduction of an automated system of operational and dispatching control of an underground mine in the current production is considered.

**Keywords:** automated systems; dispatch control; underground mine; downtime reduction; economic effect.

Если провести анализ в крупных организациях по добыче и разработке полезных ископаемых, то во многих существующих подземных рудниках наблюдается большое количество автоматизированных систем, не интегрированных в единое оперативно-диспетчерское управление предприятием. К сожалению, такие технические решения при разработке и добыче руды на месторождениях приводят к большим затратам и нерациональному использованию трудовых ресурсов, по сравнению с рудниками, где применяются современные методы дистанционного управления инженерными сетями и оборудованием.

Целью создания единой диспетчеризации является сбор данных и визуализация информации о функционировании технологического процесса и предоставление диспетчеру возможности удаленного управления оборудованием предприятия.

На сегодняшний день во многих промышленных организациях при создании диспетчеризации разрабатываются автоматизированные системы управления с применением современных технологий известных производителей. Многие поставщики (заводы-изготовители) оборудования предлагают технические решения для создания диспетчерских служб предприятия с использованием микропроцессорных систем и сетевых телекоммуникационных устройств.

Единая система АСОДУ позволит осуществлять удаленное управление одними или несколькими инженерными объектами на подземном руднике (рисунок):

- объекты энергоснабжения;
- технический учет всех видов потребляемых энергоресурсов;
- комплекс главной вентиляторной установки;
- главный шахтный водоотлив;
- система управления безопасностью работ (СУБР) и позиционирование;
- технологическое видеонаблюдение;
- охранно-пожарная сигнализация;
- теплоснабжение промышленной площадки;
- воздухообеспечение (блочно-модульная компрессорная);
- хозяйственно-питьевое и противопожарное водоснабжение объектов.

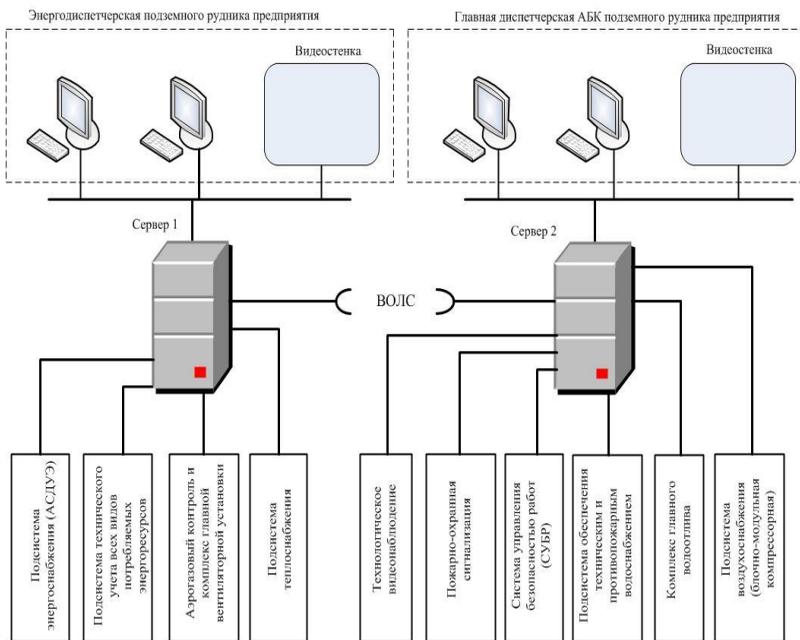


Рис. Структура АСОДУ подземным рудником

Основные задачи создания единой диспетчеризации:

- это сбор и хранение информации по состоянию инженерных сетей и оборудования;
- снижение количества аварий на руднике;
- оперативное управление объектами энергохозяйства;
- контроль ведения работ по добыче руды;
- визуализация технологического процесса;
- оптимизация персонала.

Интеграция инженерных систем также необходима для обеспечения безопасности в горных выработках. Сюда можно отнести позиционирование рабочего персонала и СУБР.

С экономической точки зрения, при создании единой АСОДУ в действующие технологические процессы будут модернизированы новые устройства и средства, с помощью которых будет передаваться информация о состоянии оборудования, за счет чего снизятся простои и затраты на эксплуатацию.

Модернизация автоматизации в технологических процессах позволит существенно повысить производительность труда и оптимизировать рабочие места на данных объектах.

Также за счет получения детальной информации о техническом состоянии оборудования и инженерных систем на объектах рудника можно сократить количество приобретаемого для ремонта материала и запасных частей.

### **Библиографический список**

1. Ицкович Э.Л. Особенности внедрения систем класса MES на предприятиях технологических отраслей // Автоматизация и ИТ в энергетике. – 2015. – № 4. – С. 15–22.

2. ГОСТ Р МЭК 62264. Интеграция систем управления предприятием [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200118645> (дата обращения: 28.10.2019).

3. Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых»: приказ Ростехнадзора № 599 от 11.12.2013 [Электронный ресурс]. – URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=330414> (дата обращения: 28.10.2019).

### **Сведения об авторах**

**Алибаев Рифат Ришатович** – магистрант Технического университета УГМК, Верхняя Пышма, e-mail: 1107.85@mail.ru

**Худяков Павел Юрьевич** – кандидат физ.-мат. наук, заведующий кафедрой «Механика и автоматизация технологических процессов и производств» Технического университета УГМК, Верхняя Пышма.

### **About the authors**

**Alibayev Rifat Rishatovich** – Master Student of UMMC Technical University, Verhnyaya Pyshma, e-mail: 1107.85@mail.ru

**Khudyakov Pavel Yuryevich** – candidate of physical and mathematical Sciences, head of the Department "Department of mechanics and automation of technological processes and production" UMMC Technical University, Verhnyaya Pyshma.

## ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПЕЧАТАЮЩИХ УЗЛОВ СТРУЙНЫХ ПРИНТЕРОВ

**М.В. Годунов Р.Е. Перов**

Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина  
(Технологии. Дизайн. Искусство), Москва

В данной статье рассмотрены конструктивные особенности печатающих узлов различных принтеров и МФУ, проанализированы результаты их тестирования.

**Ключевые слова:** термоструйная печать; тестирование; печатающая головка.

## RESEARCH OF RELIABILITY OF PRINTING UNITS OF INKJET PRINTERS

**R.E. Perov M.V. Godunov**

Russian State University named after A.N. Kosygin  
(Technology. Design. Art), Moscow

In this article, the design features of the printing units of various printers and MFPs are considered, and the results of their testing are analyzed.

**Keywords:** thermal jet printing; testing; print head.

В настоящее время не убывает потребность в печати на бумаге, будь то документ, чертеж или фото. И все также актуален вопрос ресурса устройств, которые и дают возможность в домашних условиях или в условиях небольшого офиса получить качественные отпечатки. На данный момент наиболее популярна и универсальна термическая струйная печать по нескольким причинам:

1. Устройства печати (принтеры и МФУ) с термоструйной технологией печати могут быть дешевле устройств с пьезоструйной и лазерной технологиями.

2. На данный момент эта технология позволяет печатать с разрешением вплоть до 9600×2400 точек на дюйм, в отличие от пьезоструйной и лазерной технологии.

3. Технология является энергоэффективной, так как устройства потребляют в работе не более 50 Вт.

Технология основана на свойстве чернил увеличиваться в объеме при нагревании.

Нагревательный элемент в печатающей головке разогревает чернила (рис. 1, *а*). Температура чернил в соплах головки увеличивается, и образуется пузырек (рис. 1, *б*).

Пузырек, увеличиваясь в объёме, выталкивает в сопла печатающей головки принтера микроскопические чернильные капли, которые формируют изображение на бумаге (рис. 1, *в*, *г*).

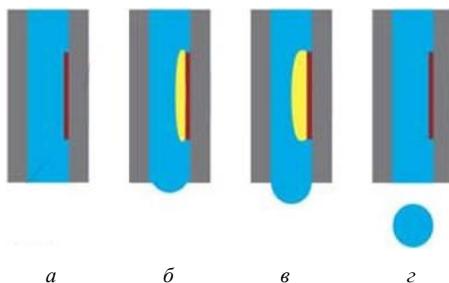


Рис. 1. Упрощенная схема устройства термоструйной печатающей головки

Недостатком термической струйной технологии печати является вероятность перегрева нагревательного элемента в дюзах головки и выхода его из строя, в результате печатающая головка становится неисправной. Перегрев происходит по причине того, что сам элемент является тонкопленочным резистором, который рассеивает тепло по жидким чернилам. В случае если чернила в головке отсутствуют или засохли, вероятность выхода из строя резистора резко увеличивается.

Также перегрев может произойти из-за непрерывной работы элемента, чрезмерной нагрузки. В таком случае нагревателю недостаточно отведения тепла чернилами, находящимися в камере.

Для снижения нагрузки на отдельную дюзу применяют такие методы как увеличение количества дюз в печатающей головке и уменьшение скорости печати. Таким образом, в черном картридже принтера HP deskjet 5150 416 дюз (картридж С6656А (№56)) (рис. 2), а в HP deskjet 6943 уже 672 дюза (картридж С8767НЕ (№130)). В обоих случаях печатающая головка находится снизу картриджа с чернилами. Сами картриджи очень похожи.

Для удешевления производства таких картриджей со временем используются нагревательные элементы с меньшим ресурсом. Также такой маркетинговый ход заставляет пользователей чаще покупать

новые картриджи по причине быстрого выхода из строя старых. Например, печатающая головка картриджа С6656А (№56, может использоваться в принтере HP deskjet 5150, производства 2002–2004 гг.) может выработать более 50 мл черных пигментных чернил и напечатать более 1000 страниц с заполнением 5 % (текст, графика) с учетом правильной дозаправки картриджа.

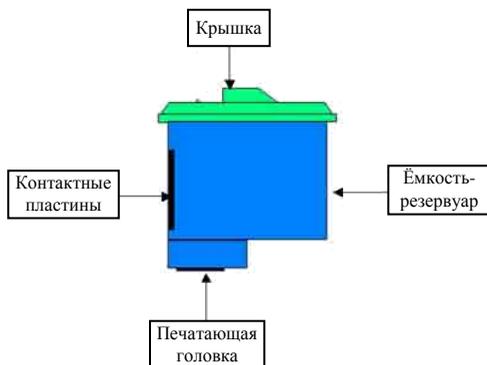


Рис. 2. Устройство струйного картриджа С6656А (№56)

На данный момент максимальное примерное количество страниц, отпечатанное таким картриджем: 2760. Печатающая головка вышла из строя. Такой результат сравним с результатом картриджа, совмещенного с фотобарабаном лазерного принтера среднего ценового сегмента (например Canon LBP-2900).

Печатающая головка картриджа С8767HE (№130, может использоваться в принтере HP deskjet 6943, производства 2005–2007 гг.) может выработать более 80 мл черных пигментных чернил и напечатать более 2000 страниц с заполнением 5 %. Максимальное количество страниц, которое удалось напечатать: 3250. Печатающая головка еще не вышла из строя, печать удовлетворительного качества.

В то же время головка картриджа F6V16A (№123, может использоваться в МФУ HP deskjet 2130, производства 2015–2020 гг.) имеющая около 336 дюз, не вырабатывает в среднем и 10 мл. Таким образом, максимальное примерное количество страниц с 5 % заполнением, которое было напечатано: 400–550. После этого печатающая головка выходит из строя.

При этом можно заметить, что нагрузка на отдельное сопло головки в случаях с HP deskjet 5150 и HP deskjet 2130 почти одинаковое.

Эксперимент, описанный выше, проходил в следующих условиях: печать на HP deskjet 5150, HP deskjet 6943 и HP deskjet 2130 производилась при стандартной для устройств скорости не более 200 страниц в день, через каждые напечатанные 20 страниц печатающие головки простаивали не менее 5 мин. Чернила использовались одинакового качества. Печатающая головка считается вышедшей из строя, если отпечатки перестают быть приемлемыми (появление полос при печати).

Таким образом, можно подвести вывод о том, что ресурс печатающих узлов в устройствах вывода информации (принтер, МФУ) зависит от количества сопел печатающей головки, качества чернил, скорости заданной печати и нагрузки. Однако этот ресурс весьма ограничен особенно у более современных моделей.

### **Библиографический список**

1. Аванесов В.А., Москалева Е.М. Работа с принтером hp designjet серии 500: учеб. пособие. – Ухта: УГТУ, 2005. – С. 116–121.
2. Kevin Bruce, Trudy Benjamin, Joe Torgerson. Fluid Ejection Device. Пат. US20090244132A1.
3. Синдеев Ю.Г. Принтеры: ремонт, обслуживание. – Ростов н/Д: Феникс, 2001. – С. 58–81.

### **Сведения об авторах**

**Перов Роман Евгеньевич** – студент Российского государственного университета им. А.Н. Косыгина, Москва, e-mail: roman4116@yandex.ru

**Годунов Михаил Викторович** – кандидат технических наук, доцент, преподаватель кафедры «Автоматика и промышленная электроника» Российского государственного университета им. А.Н. Косыгина, Москва, e-mail: m\_godunov59@mail.ru

### **About the authors**

**Perov Roman Evgenievich** – Student of the Kosygin Russian State University, Moscow, e-mail: roman4116@yandex.ru

**Godunov Mikhail Viktorovich** – Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor, Lecturer of the Department of Automation and Industrial Electronics of the Kosygin Russian State University, Moscow, e-mail: m\_godunov59@mail.ru

## АВТОМАТИЗАЦИЯ МЕЛЬНИЦ ПОМОЛА ДЛИННОГО ВОЛОКНА

**М.А. Марьин**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

В данной работе рассматривается совершенствование системы помола длинного волокна макулатурной массы при производстве бумаги и картона с целью повышения качества обработки вторсырья.

**Ключевые слова:** автоматизация; мельница; длинное волокно.

## LONG FIBER MILL AUTOMATION

**M.A. Marin**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

This paper discusses the improvement of the system for grinding long fibers of waste paper in the production of paper and cardboard in order to improve the quality of processing of recyclable materials.

**Keywords:** automation; mill; long fiber.

Процесс производства бумаги и картона состоит из многих этапов. Один из них – подготовка сырья. Для производства бумаги и картона на бумагоделательной машине (далее БДМ) и картоноделательной машине (далее КДМ) используется целлюлоза и переработанная макулатура. Производительность машин и качество готовой продукции напрямую зависит от используемого сырья [1].

Использование макулатуры в качестве сырья целесообразно по ряду причин:

1. Переработка макулатуры позволяет снизить объем вырубki лесов, замена одной тонны целлюлозного волокна макулатурой сохраняет до 4 м<sup>3</sup> древесины.
2. Снижение загрязнения воздуха и воды при производстве целлюлозы.
3. При переработке макулатуры затраты электроэнергии значительно ниже, чем при подготовке древесной целлюлозы.

Для увеличения объема использования макулатуры в качестве сырья при производстве бумаги и картона необходимо совершенст-

вывать качество её переработки, поэтому требуется разработка системы, которая позволит улучшить качество подготовки макулатурной массы, что в свою очередь обеспечит повышение качества производимой продукции и производительности КДМ и БДМ.

Макулатурное волокно, в отличие от свежих полуфабрикатов из древесины, характеризуется пониженными бумагообразующими свойствами и наличием большого количества разнообразных загрязнений, что приводит к ухудшению качества продукции, а также к преждевременному износу оборудования. В соответствии с этим главными целями подготовки макулатурной массы являются восстановление бумагообразующих свойств волокон и удаление загрязнений [2].

Процесс переработки макулатуры состоит из роспуска и нескольких степеней очистки и сортировки [3]. В результате переработки макулатуры получают две фракции (два вида макулатурной массы) – короткое и длинное волокно. При дальнейшем производстве бумаги и картона в зависимости от пропорции короткого и длинного волокна можно получить требуемые параметры качества: прочность, плотность, сопротивление излому.

Для решения проблемы повышения качества макулатурной массы предлагается система размола длинного волокна, которая позволит повысить качество подготовки макулатурной массы, а также отслеживать и регулировать технологические параметры процесса подготовки массы.

Разработанная система размола длинного волокна состоит из двух мельниц Valmet Conflo JC-02, работающих параллельно, бассейна длинного волокна, а также узла рециркуляции массы в этом бассейне. Внедрение системы обеспечит возможность регулирования следующих параметров: расход, концентрация и давление макулатурной массы, а также позволит отслеживать давление и температуру масла в двигателе и редукторе, нагрузку на двигатель и проток уплотнительной воды. На рис. 1 представлена технологическая схема размола длинного волокна.

Основная регулируема величина в системе – расход массы. Технология производства картона предусматривает стабильный расход на выходе системы, для чего создана линия рециркуляции, с помощью которой можно будет ограничить расход массы и отправлять излишки обратно в бассейн. На выходе из бассейна установлен насос для создания движения массы. Расход измеряется двумя электромаг-

нитными расходомерами: 07FV09, установленном на выходе системы, и 07FV07, установленном на линии рециркуляции. В зависимости от заданного значения расхода и его текущего значения, полученного с расходомеров, происходит управление регулируемыми клапанами DN200 в линии рециркуляции. Они установлены рядом с расходомерами и имеют аналогичное обозначение. Таким образом, в системе регулируется расход длинного волокна.

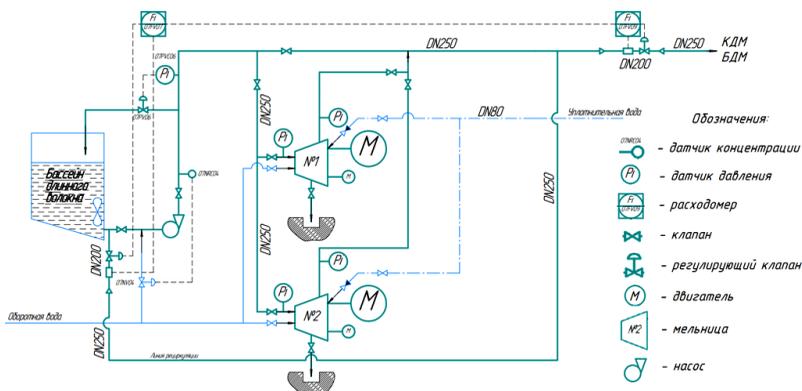


Рис. 1. Технологическая схема размола длинного волокна

На последующих этапах производства бумаги и картона необходима поддержка заданного давления, поэтому в системе предусмотрено регулирование давления массы. С помощью датчика давления 07PVC06 определяем текущее значение давления в трубе после рециркуляции, и при отклонении текущего значения от заданного отправляется управляющее воздействие на регулирующий клапан рециркуляции 07PV06: при превышении уставки клапан открывается, а при недостаточном давлении – закрывается. Поддержание заданного давления необходимо для сохранения технологии производства картона, так как некорректное значение давления может негативно повлиять на функционирование других узлов в процессе производства.

Концентрация макулатурной массы на выходе системы важна так же, как давление и расход. Нестабильность значения концентрации может повлиять на характеристики бумажного полотна при дальнейшем производстве и повысить вероятность получения брака, а значительные отклонения концентрации могут привести к обрывам и простоям оборудования, что в свою очередь недопустимо. Регулирование

концентрации производится путем разбавления массы оборотной водой. Текущее значение концентрации показывает датчик 07NRC04 и в случае отклонения от установленного задается управляющее воздействие на регулирующий клапан подачи оборотной воды 07NV04.

В системе также предусмотрены байпасные клапаны на участке с мельницами для обеспечения бесперебойной подачи массы, что позволяет вывести мельницы из работы в случае аварии, ремонта, или обслуживания, не останавливая при этом процесс подачи массы путем пуска ее в обход мельниц. Каждая мельница оснащена собственными запорными клапанами на входе и выходе для распределения потока в случае вывода из работы одной из мельниц.

Для контроля процесса установлены датчики давления массы на входе и выходе каждой мельницы, что обеспечивает технологический персонал большим объемом информации о процессе и в свою очередь позволит облегчить пусконаладочные работы, а также ускорит поиск неисправности в случае техобслуживания или аварии.

Контроллерный уровень системы управления размолом длинного волокна реализован на оборудовании фирмы Siemens. Выбор в пользу оборудования Siemens обоснован его надежностью, широким функционалом и высокой степенью интеграции в текущее производство. В качестве головного устройства выбран контроллер Siemens SIMATIC S7-1200 CPU 1214C DC/DC/DC, который обладает достаточной вычислительной мощностью и относительно невысокой стоимостью. Модульная конструкция контроллера предусматривает использование модулей ввод-вывода информации, при этом в контроллере предусмотрены встроенные каналы дискретного ввода – вывода, что позволяет сократить количество дополнительных модулей [4].

Для коммутации всех сигналов системы потребовалась установка дополнительных модулей ввода-вывода:

1. SM1221 DC – дискретный ввод, 8 каналов.
2. SM 1231 AI – аналоговый ввод, 8 каналов, 3 шт.
3. SM 1232 AQ – аналоговый вывод, 4 канала, 2 шт.

Общий вид контроллера с модулями представлен на рис. 2.

Для операторского управления к контроллеру подключена стационарная панель оператора Simatic HMI KTP 900 Basic, на которой отображены необходимые параметры системы и функциональные элементы для управления системой. Пример экрана оператора представлен на рис. 3.

PLC\_1  
 DI 8x24VDC\_1  
 AI 8x138BIT\_1  
 AI 8x138BIT\_2  
 AI 8x138BIT\_3  
 AQ 4x14BIT\_1  
 AQ 4x14BIT\_2

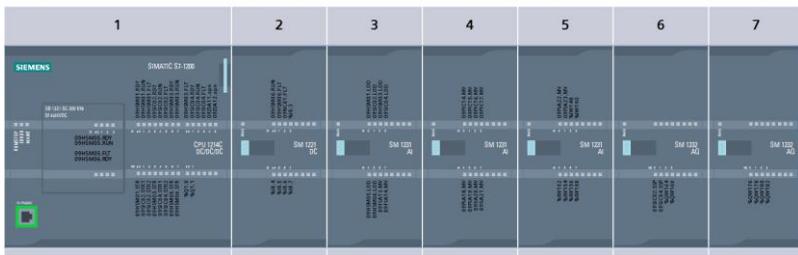


Рис. 2. Общий вид контроллера

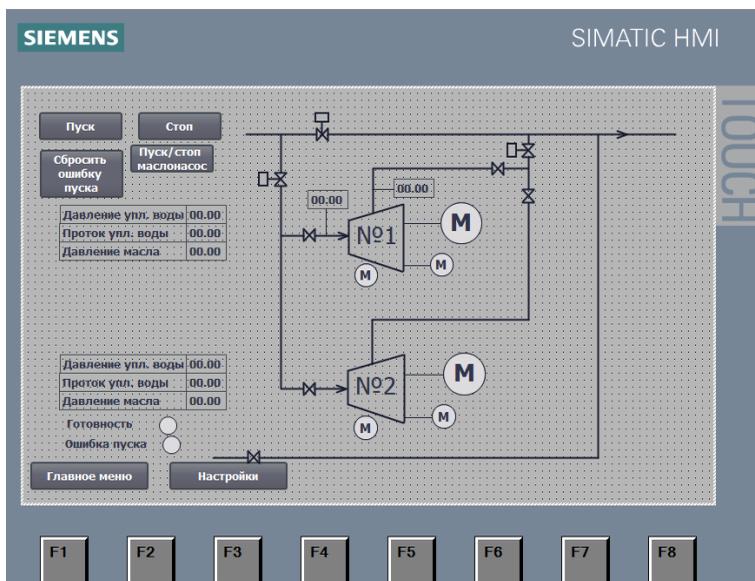


Рис. 3. Панель оператора

При конфигурации контроллера, написания программных блоков и разработки экрана оператора используется интегрированная среда разработки программного обеспечения для систем автоматизации технологических процессов TIA Portal, соответствующая концепции комплексной автоматизации (англ. Totally Integrated Automation).

Использование предложенной системы размола длинного волокна позволяет повысить качество производимой продукции и производительность бумагоделательной машины, сократить долю использования целлюлозы при производстве бумаги и картона, а также увеличивает объем информации о технологическом процессе для персонала.

### **Библиографический список**

1. Шитов Ф.А. Технология бумаги и картона: учебник для средних проф.-техн. училищ. – 2-3-е изд., перераб и доп. – М.: Высшая школа, 1978. – 378 с.
2. Ванчков М.В., Кулешов А.В., Коновалова Г.Н. Технология и оборудование для переработки макулатуры: учеб. пособие. – 2-е изд-е, испр. и доп. – СПб.: СПбГТУРП, 2011. – Ч. I. – 99 с.
3. Технология и оборудование переработки макулатуры: учебное пособие / М.В. Ванчков, А.В. Кулешов, А.В. Александров, А.А. Гаузе / ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб., 2019. – Ч. I. – 107 с.
4. Программируемые контроллеры S7-1200 [Электронный ресурс]. – URL: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:2961db0147fb92fd02cb65dea800734f8a911ac5/st70-simatic-s7-1200.pdf> (дата обращения: 10.11.2020).

### **Сведения об авторе**

**Марьин Максим Андреевич** – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: superelmarin@yandex.ru

### **About the author**

**Maryin Maksim Andreevich** – Student Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: (hidden)

## **ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В КОНТЕКСТЕ ПРОВЕРКИ ПОДЛИННОСТИ ДОКУМЕНТОВ**

**В.С. Костенков, В.В. Данилов, Н.А. Тимошенко**  
Донецкий национальный университет, Донецк

В данной статье приводится анализ эффективности использования электронной цифровой подписи в Российской Федерации при проверке подлинности документов. Проанализированы преимущества и недостатки различных технологий обработки информации при построении единой информационной системы. Данная система рассматривается авторами как альтернативный подход к обеспечению контроля подлинности документов.

**Ключевые слова:** информационные системы; технологии обработки информации; подлинность документов; электронная цифровая подпись; мошенничество.

## **FEATURES OF CONSTRUCTION OF INFORMATION SYSTEMS IN THE CONTEXT OF CHECKING THE AUTHENTICITY OF DOCUMENTS**

**V.S. Kostenkov, V.V. Danilov, N.A. Timoshenko**  
Donetsk National University, Donetsk

This article provides an analysis of the effectiveness of using an electronic digital signature in the Russian Federation when verifying the authenticity of documents. The advantages and disadvantages of various information processing technologies in the construction of a unified information system are analyzed. This system is considered by the authors as an alternative approach to ensure control of the authenticity of documents.

**Keywords:** information systems; information processing technologies; document features; electronic digital signature; fraud.

Эффективность эксплуатации систем электронного документооборота во многом зависит от совершенствования механизмов по обеспечению информационной безопасности. Важную роль в подобных системах занимает процедура электронной цифровой подписи (далее – ЭЦП). Она ориентирована на подтверждение авторства того или иного электронного документа с помощью криптографических методов. Однако в связи с участвовавшими фактами мошенничества

в сфере ЭЦП [1–3] актуальность приобретают вопросы не отдельного использования процедуры цифровой подписи, а разработки специализированной информационной системы (далее – ИС) по обеспечению проверки подлинности документов.

**Анализ исследований.** Исследованием вопросов, связанных с построением систем по контролю подлинности документов, занимались учёные: Т.Ф. Моисеева, Е.В. Востречева, С.С. Хачатурова [4] и другие. Вместе с тем многоаспектность проблем, касающихся разработки информационных систем в контексте проверки подлинности документов, обуславливает насущную потребность в дальнейших исследованиях по данному направлению.

**Целью** данной работы выступает исследование и обобщение научных положений о построении информационных систем по проверке подлинности документов. В соответствии с поставленной целью необходимо решить следующие задачи: 1) анализ тенденций развития электронной цифровой подписи; 2) анализ тенденций развития информационных систем; 3) разработка возможных направлений развития при построении информационных систем в контексте проверки подлинности документов.

**Основной материал.** Основным стимулом к написанию данной статьи послужила публикация новостного агентства РБК [5] информации о планах правительства РФ о запуске масштабного эксперимента по выдаче облачной ЭЦП. Как отмечает представитель Минкомсвязи, программа рассчитана на два года, и проект постановления правительства на момент написания статьи находится в стадии обсуждения с заинтересованными ведомствами.

В указанной программе разработан порядок выдачи и контроля за использованием электронной цифровой подписи. Отмечается, что цифровая подпись выдается после процедуры авторизации в одной из следующих автоматизированных информационных системах:

1. Единой системе идентификации и аутентификации (далее – ЕСИА).
2. Единой биометрической системе.

Комбинированное использование двух упомянутых систем применяется банками для оформления процедуры удаленного управления вкладами. Представители компании Cisco Systems отмечают, что основным преимуществом разрабатываемой облачной ЭЦП является отсутствие необходимости использования на стороне пользователей

специализированного настольного программного обеспечения (далее – ПО). В свою очередь, это исключает возможность утери компонентов, необходимых для формирования ЭЦП, которые хранятся на съемных носителях информации. Авторами данной программы отмечается, что распространение усиленной квалифицированной цифровой подписи предоставит возможность удаленного проведения юридических операций по присвоению или отчуждению каких-либо прав между организациями и гражданами. Разрабатываемый механизм предоставит широкие полномочия и станет аналогом собственноручной подписи. Типичными угрозами при использовании ЭЦП являются:

1. Оформление и подача документов на регистрацию сделок с недвижимостью в электронном виде. Вследствие незаконного использования ЭЦП пострадавшая сторона может лишиться как денег, так и жилплощади. Попадают в эту категорию: процедура дарения и купли-продажи.

2. Области кредитования. Мошенники оформляют на имя потерпевшего поддельные документы и получают деньги удалённым способом. Эта схема востребована в процессе оформления займов онлайн.

3. Регистрация бизнеса. В этом случае пострадавшая сторона может лишиться собственного дела или стать владельцем фирмы-однодневки. В результате владельца ЭЦП могут обвинить в «отмывании» денег, если будет установлен данный состав преступления.

По состоянию на октябрь 2020 г. на территории Российской Федерации действуют 506 аккредитованных удостоверяющих центров. Однако с каждым годом увеличивается количество правонарушений с применением цифровых подписей, которые были выданы указанными центрами. Одним из преступлений, получившим огласку во втором полугодии 2020 г., является факт удаленной регистрации мошенниками таксопарка по реквизитам случайной компании [3]. Анализ приведенных ситуаций показывает, что основной причиной данных правонарушений являются недоработка нормативной правовой базы и проблема в разграничении прав доступа к информации. Более детальное изучение особенностей научно-технологического развития Российской Федерации в контексте проверки подлинности документов, их авторства и состояния законодательной базы РФ было проведено в статье [6].

В соответствии с федеральным законом РФ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» под понятием «информационная система» подразумевается некий, хранящийся

в базе данных объем данных, который обрабатывается с помощью специализированных технологий и технических средств. М.Р. Кога-ловский [7] в своей работе уточняет, что в понятие входят не только данные, но и человеческие и информационные ресурсы, лингвисти-ческие средства, программно-аппаратное обеспечение и коммуника-ционное оборудование. Все это обеспечивает «динамичность инфор-мационной модели выбранной части реального мира». На наш взгляд, подобное понимание термина является достаточно широким и будет более целесообразным дать более узкую его трактовку. В ГОСТ Р 53622-2009 под ним подразумевается некий набор баз данных, систе-мы управления и ПО, которые функционируют на вычислительных средствах как единое целое для выполнения определенной цели.

Подобная информационная система должна включать в себя специализированную подсистему, обеспечивающую непрерывное накопление данных о пользователях и истории их взаимодействий с различного рода документами. На основании анализа полученных данных представляется возможным обеспечить механизм неотказуе-мости от авторства. Данная подсистема может состоять из:

1. Периферийной части, сопровождающей пользователей в мо-мент заключения электронных договоров. Подобное сопровождение может обеспечиваться с помощью централизованной, децентрализо-ванной или распределенной обработок информации.

2. Базы данных, в которой производится накопление всех данных.

3. Дополнительной подпрограммы, обеспечивающей аналитиче-скую обработку данных.

4. Операционной части, предоставляющей процедуры авториза-ции проводимых операций и оперативного взаимодействия с другими подсистемами.

5. Распределенной системы, обеспечивающей механизм синхро-низации информации между подобными подсистемами. Примерами реализации подобной системы являются RAID-технология и отече-ственная система хранения данных TATLIN [8].

Централизованная система предполагает прямое взаимодействие множества клиентских узлов с определенным сервером. преимуще-ствами данной технологии являются: 1) простота в обслуживании вычислительной системы; 2) простота внедрения новых методологи-ческих решений. К недостаткам данной технологии относят: 1) низкая отказоустойчивость; 2) низкая производительность;

3) функциональная ограниченность. Указанные преимущества и недостатки такого типа систем влекут следующие ограничения: 1) сложность вертикального масштабирования; 2) наличие узких мест при увеличении нагрузки на информационную систему.

Децентрализованная технология предполагает независимость принятия решений на уровне узла системы. Конечное поведение всей системы зависит от общей согласованности между собой решений каждого узла. Преимуществами данной технологии являются: 1) низкая вероятность появления узких мест при увеличении нагрузки на информационную систему; 2) высокая доступность; 3) автономность работы отдельного узла. К недостаткам данной технологии относят: 1) отсутствие контролирующих узлов; 2) сложность общего обслуживания системы; 3) сложность прогнозирования поведения отдельного узла. Указанные преимущества и недостатки такого типа систем влекут следующие ограничения: 1) сложность в регулировании отдельного узла системы; 2) сложность в решении коллективной задачи.

Ключевыми преимуществами распределенной технологии обработки информации являются: 1) масштабируемость; 2) оперативность выполнения задач; 3) многопользовательский доступ к информационному ресурсу; 4) высокая отказоустойчивость; 5) функциональная дифференциация; 6) оптимизация затрат на аппаратное обеспечение. К недостаткам данной технологии относят: 1) сложность в координации решений, принимаемых узлами системы; 2) сложность регистрации событий, происходящих в системе. Указанные преимущества и недостатки такого типа систем влекут следующие ограничения: 1) сложность во внедрении и обслуживании алгоритмов. Данное ограничение связано с отсутствием общих часов между всеми элементами; 2) сложность в принятии обоснованного решения на уровне узла связи, в связи с отсутствием представлений о деятельности других узлов; 3) сложность упорядочивания проводимых транзакций между терминалами различных узлов связи. Связано с отсутствием общих часов между всеми элементами. В результате анализа преимуществ и недостатков технологий обработки информации наиболее приоритетным является комбинирование распределенного и централизованного типов систем. Каждый субъект информационной системы действует в соответствии с действующими полномочиями. Отметим, что более детальный анализ разрабатываемой информационной системы в статье не рассматривается.

Образующим элементом всей системы является сеть передачи данных (далее – СПД). Подобные СПД состоят из центрального узла (далее – ЦУ), узлов (далее – УС) и каналов связи. В задачи ЦУ входят: 1) разработка и совершенствование нормативной правовой основы деятельности субъектов информационной системы; 2) контроль за выполнением нормативных документов; 3) организация и осуществление мер по предупреждению, пресечению, выявлению и устранению правонарушений в действующей информационной системе; 4) выявление и устранение нерегламентированных возможностей информационной системы; 5) координация действий между УС; 6) распределение привилегий между всеми участниками информационной системы. В задачи УС входят: 1) прием и последующая передача пакетов в направлениях, которые обеспечивают оптимальную доставку данных; 2) контроль за выполнением нормативных документов; 3) организация и осуществление мер по предупреждению, пресечению, выявлению и устранению правонарушений в подотчетной системе. Совокупность объединенных сетью передачи данных локальных серверов (далее – ЛС), подключаемых к узлам связи, образуют сеть локальную вычислительную сеть. Множество терминалов (Т) и средств связи (далее – СС), обеспечивающих подключение терминалов к ЛС, образует терминальную сеть. Принципиальная схема информационной системы представлена на рисунке.

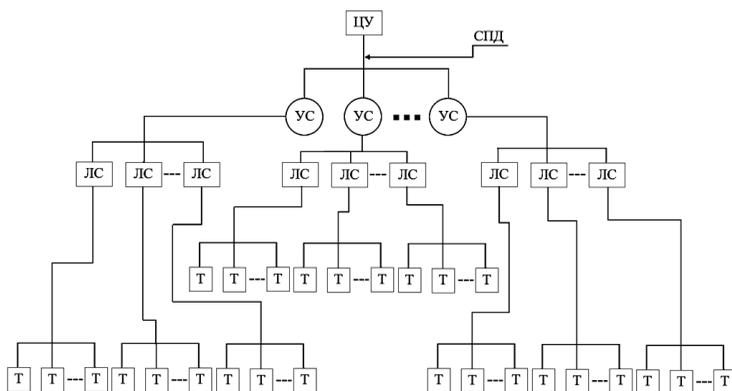


Рис. Принципиальная схема информационной системы

Отметим, что пользовательское взаимодействие в данной информационной системе осуществляется с помощью электронно-вычислительных машин (далее – ЭВМ), подключаемых через обще-

доступные каналы связи. Данные передаются в форме блоков, в которых также содержится служебная информация, необходимая для управления процессами передачи и защиты данных.

#### **Выводы:**

1. Проведен анализ недостатков использования электронной цифровой подписи в Российской Федерации при проверке подлинности документов.

2. Исследованы преимущества и недостатки различных технологий обработки информации при построении единой информационной системы по проверке подлинности документов.

3. Предложен альтернативный подход к построению системы по контролю подлинности документов.

#### **Библиографический список**

1. Новый вид мошенничества: Подделка электронной подписи [Электронный ресурс] // Комсомольская правда: сетевое издание (сайт). – URL: <https://www.donetsk.kp.ru/daily/26979/4038526/> (дата обращения: 03.10.2020).

2. Продаём под электронный ключ правительство, коммерсантов, квартиры [Электронный ресурс] // 47 news: сетевое издание (сайт). – URL: <https://47news.ru/articles/156549/> (дата обращения: 05.10.2020).

3. На московскую семью тайно зарегистрировали таксопарк и повесили долги [Электронный ресурс] // ВестиRU: сетевое издание (сайт). – URL: <https://www.vesti.ru/article/2478767> (дата обращения: 07.10.2020).

4. Хачатурова С.С. Электронная цифровая подпись – удостоверение подлинности документа. – Наука, техника и образование. – 2016. – № 9(27).

5. Власти проведут эксперимент с дистанционной выдачей электронной подписи [Электронный ресурс] // РБК: сетевое издание (сайт). – URL: [https://www.rbc.ru/technology\\_and\\_media/18/10/2019/5da876a89a79472c0bcd51a3](https://www.rbc.ru/technology_and_media/18/10/2019/5da876a89a79472c0bcd51a3) (дата обращения: 07.10.2020).

6. Костенков В.С., Тимошенко Н.А. Особенности проверки подлинности документов и их авторства в контексте научно-технологического развития РФ // Актуальные эколого-политологические аспекты современности: сб. науч. тр. II науч.-практ. конф., 3 марта 2020. – Донецк: ГОУВПО «ДОННТУ», 2020. – С. 52–55.

7. Глоссарий по информационному обществу / О.Н. Вершинская, М.Р. Когаловский, Т.В. Ершова [и др.]; под общ. ред. Ю.Е. Хохлова. – М.: Институт развития информационного общества, 2009. – 160 с.

8. Костенков В.С., Данилов В.В. Особенности научно-технологического развития Российской Федерации в контексте проверки подлинности документов и их авторства // Вестник ДонНУ. Серия Г: Технические науки. – 2020. – № 3. – С. 38–42.

### **Сведения об авторах**

**Костенков Владислав Сергеевич** – аспирант кафедры «Радиофизика и инфокоммуникационные технологии» Донецкого национального университета, Донецк, e-mail: vlad.kostenkov2016@yandex.ru

**Данилов Владимир Васильевич** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Радиофизика и инфокоммуникационные технологии» Донецкого национального университета, Донецк, e-mail: ut5iv@mail.ru

**Тимошенко Нина Александровна** – кандидат юридических наук, доцент кафедры «Уголовное право и процесс» Донецкого национального университета, Донецк, e-mail: n.timowenko@gmail.com

### **About the authors**

**Kostenkov Vladislav Sergeevich** – Graduate Student of the Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies Donetsk National University, Donetsk, e-mail: vlad.kostenkov2016@yandex.ru

**Danilov Vladimir Vasilievich** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies Donetsk National University, Donetsk, e-mail: ut5iv@mail.ru

**Tymoshenko Nina Aleksandrovna** – Candidate of Legal Sciences, Associate Professor of the Department of Criminal Law and Procedure Donetsk National University, Donetsk, e-mail: n.timowenko@gmail.com

## **СИМУЛЯЦИЯ РАБОТЫ ЗАРЯДНОГО УСТРОЙСТВА НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА В PROTEUS VSM**

**И.Н. Носов, В.Н. Зеров**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

В данной статье рассмотрен процесс симуляции работы схемы силовой и управляющей частей автоматизированного зарядного устройства для свинцово-кислотных аккумуляторов в среде Proteus VSM, а также проанализированы основные показания с датчиков тока и осциллограммы, снимаемые с пинов микроконтроллера в процессе симуляции. Указаны основные недочеты схемы на момент проектирования, которые удалось выявить с помощью симуляции в Proteus VSM.

**Ключевые слова:** PROTEUS; симуляция; микроконтроллер; синусоида; аппаратные прерывания.

## **SIMULATING THE OPERATION OF A MICROCONTROLLER- BASED CHARGER IN PROTEUS**

**I.N. Nosov, V.N. Zerov**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

This article discusses the process of simulating the operation of the power and control circuit of the automated charging device for lead-acid accumulators in Proteus VSM. The main readings from current sensors and oscillograms taken from the pins of the microcontroller during simulation are also analyzed. The main defects of the circuit at the time of design, which were identified using simulation in Proteus VSM, are indicated.

**Keywords:** PROTEUS; simulation; microcontroller; sinusoid; hardware interrupts.

При проектировании сложных принципиальных схем различных электронных устройств, в частности схем, содержащих микроконтроллеры, часто возникает потребность в проверке или же отладке их работы еще до сборки тестового образца устройства. Поэтому, когда перед нами была поставлена задача: разработать автоматизированное энергоэффективное зарядное устройство для свинцово-кислотных аккумуляторов, мы также столкнулись с необходимостью проведения испытаний отдельных блоков устройства.

Для разработки принципиальной схемы устройства и поэтапного запуска симуляции работы была выбрана система автоматизированного проектирования электронных схем (САПР), именуемая Proteus, разработанная компанией Labcenter Electronics (Великобритания).

Пакет представляет собой систему схемотехнического моделирования, базирующуюся на основе моделей электронных компонентов, принятых в PSpice. Отличительной чертой пакета PROTEUS VSM является возможность моделирования работы программируемых устройств: микроконтроллеров, микропроцессоров, DSP. Пакет Proteus состоит из двух частей, двух подпрограмм: ISIS – программа синтеза и моделирования непосредственно электронных схем, которую мы и будем использовать, и ARES – программа разработки печатных плат [1].

Примечательной особенностью является то, что в ARES можно увидеть 3D-модель печатной платы, что позволяет разработчику оценить своё устройство ещё на стадии разработки, чем в дальнейшем мы и воспользуемся. А на данный момент времени устройство собирается на макетной плате, где важнее будет отрисовать все соединения на схеме так, чтобы они легко воспринимались с визуальной точки зрения с целью исключения ошибок при монтаже деталей.

Основными этапами стали написание и проверка алгоритмов управления силовой частью, а также корректировка считываемых значений с датчиков тока, поэтому в данной статье будет продемонстрировано, как это реализуется с применением программного обеспечения Proteus. Принципиальная электрическая схема зарядного устройства для проверки алгоритмов управления одним симистором без питающего блока микроконтроллера представлена на рис. 1.

В данной схеме применяется источник синусоидального переменного напряжения с позиционным обозначением  $V1$ , амплитудное значение напряжения которого составляет 26 В, а частота – 50 Гц. Для обеспечения гальванической развязки низковольтной (управляющей) и высоковольтной (управляемой) части используются оптопары с позиционным обозначением  $U1$ ,  $U2$  и  $U3$ , соответственно. Причем две оптопары  $PC817A$  необходимы для корректной детекции перехода синусоиды через ноль, а оптопара  $МОС3053$  предназначена для передачи управляющих импульсов на открытие и закрытие симистора с платы Arduino UNO, позиционное обозначение которой  $DUINO1$ . В качестве силового элемента установлен бесснабберный

симистор с позиционным обозначением  $U4$ , а также последовательно с ним подключены два датчика тока с позиционным обозначением  $U6$ ,  $U7$ , которые, в свою очередь, соединяются с модулем аналого-цифрового преобразователя с позиционным обозначением  $U5$ .

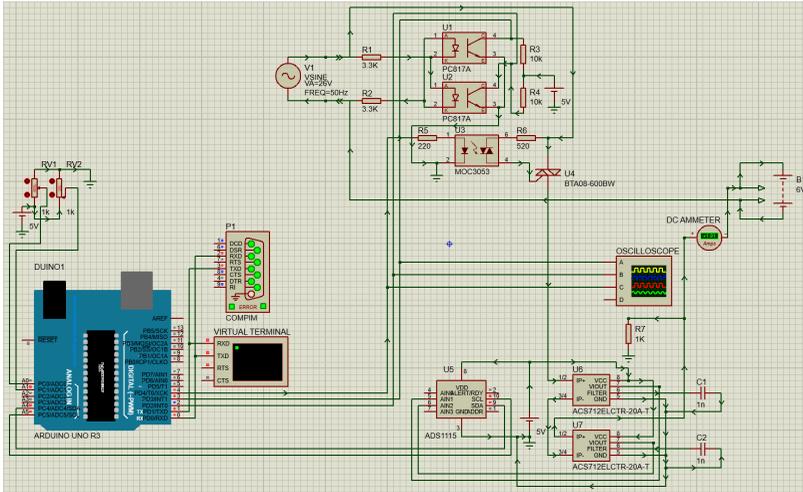


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема зарядного устройства

В качестве элементов, задающих время импульса управляющего сигнала на открытие симистора, в схеме применены два переменных резистора с позиционным обозначением  $RV1$  и  $RV2$ , каждый из которых корректирует нижнюю и верхнюю полуволны синусоиды отдельно друг от друга. Для обеспечения тестовой нагрузки к выводам схемы подключена аккумуляторная батарея с позиционным обозначением  $B1$ , напряжение и внутреннее сопротивление которой настраивается в любых пределах. А для проведения отладочных работ к выводам контроллера подсоединены: виртуальный терминал, осциллограф и виртуальный COM-порт из библиотеки COMPIM.

Прошивка для микроконтроллера была написана в специальной среде Arduino IDE на языке программирования Wiring, основанном на C/C++. После успешной компиляции HEX-файл прошивки экспортируется в среду Proteus для последующего запуска симуляции работы схемы. Запустив симуляцию работы алгоритма, можно сни-

мать показания с осциллографа и видеть изменения в виртуальном терминале практически в режиме реального времени. Осциллограмма в момент симуляции представлена на рис. 2.

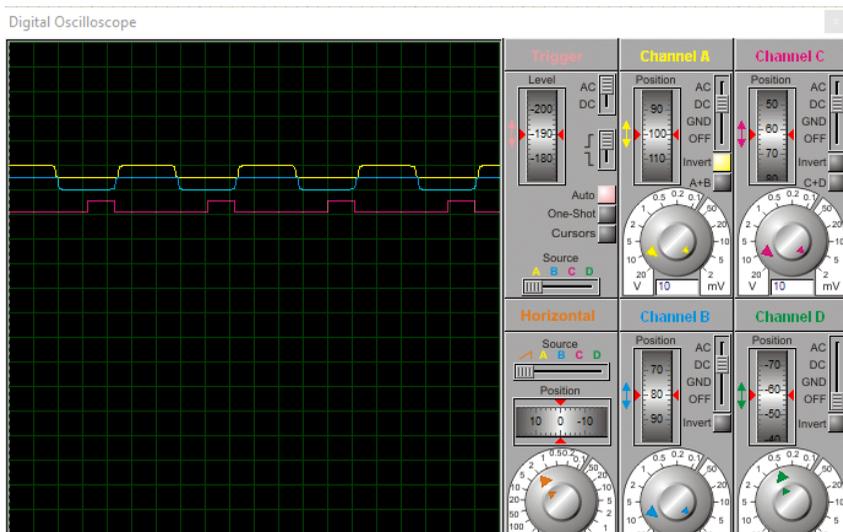


Рис. 2. Осциллограмма в момент симуляции

Окно виртуального осциллографа с осциллограммой демонстрирует подачу импульсов на открытие симистора в моменты перехода синусоиды в отрицательную область

В данном случае с помощью переменного резистора с позиционным обозначением *RV1* было установлено время импульса на открытие симистора в пределах 5 мс, причем именно в те моменты времени, когда синусоида находится в отрицательной области, о чем свидетельствует график подачи импульсов розового цвета. Таким образом симистор откроется не в начале отрицательной полуволны, а через определенный промежуток времени, вследствие чего ток и напряжение на выходе симистора уменьшатся.

Можно пронаблюдать, что оптопары с позиционным обозначением *U1* и *U2* корректно детектируют переход синусоиды через ноль (графики желтого и синего цвета). Оптопара *U1* фиксирует переходы в положительную область (график желтого цвета), а оптопара *U2* – в отрицательную (график синего цвета).

Также в прошивке микроконтроллера был задействован монитор порта, с помощью которого в виртуальный терминал Proteus выводились суммарные показания с датчиков тока и усредненное значение. Переменная Current – это текущее суммарное значение тока с двух датчиков, а Average – усредненный показатель, который рассчитывается с помощью нескольких алгоритмов фильтрации. Окно виртуального терминала показано на рис. 3.



Рис. 3. Окно виртуального терминала

Видно, что мгновенные показания с датчиков тока снимаются даже в те моменты времени, когда симистор закрыт, о чем свидетельствуют нулевые значения тока в терминале, в то время как усреднённые показания практически всегда стабильны и не равны нулю. В дальнейшем, для более точной настройки алгоритмов фильтрации и подстройки калибровочных коэффициентов датчиков, будет использоваться амперметр из библиотеки Proteus, который обозначен на схеме как *DC AMMETER*. Но этот материал будет удостоен отдельной статьи.

Может показаться, что все работает идеально, и запуск симуляции был излишним, но это не так. Изначально планировалось использовать всего лишь одну оптопару *PC817A* для детекции перехода синусоиды через ноль, как в схеме классического диммера. После того как схема была смоделирована, стало понятно, что одна оптопара не позволит управлять открытием симистора на разных полуволнах синусоиды, хотя исходный код прошивки был оптимизирован под работу именно с одной оптопарой для детекции нуля. Как оказалось, при работе схемы управляющие импульсы на открытие симистора могли подаваться

даже в те моменты времени, когда синусоида переходила в отрицательную область значений, хотя установленный параметр был на открытие симистора в положительной полуволне. Для зарядного устройства такие моменты недопустимы. А также если переходить к реализации аппаратной части тестового образца, проблема корректной детекции перехода синусоиды через ноль может усугубиться еще и тем, что пины прерывания на плате Arduino могут собирать различные наводки. Для диммера это не критично, так как симистор в этом случае пропускает как нижнюю, так и верхнюю полуволны синусоиды. Применение в схеме одной оптопары и считывание сигнала с одного пина скажутся на работе устройства таким образом, что при попытках управления нижней или верхней полуволнами наводки на пин прерывания сделают невозможным вывод напряжения нужной полярности [2].

### Библиографический список

1. Labcenter Electronics [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.labcenter.com/index.cfm> (дата обращения: 25.11.2020).

2. Носов И.Н, Зеров В.Н. Разработка энергоэффективного зарядного устройства для свинцово-кислотных аккумуляторов на микроконтроллере // Сборник / ООО НИЦ Вестник науки. – Уфа, 2019. – 137 – 150 с.

### Сведения об авторах

**Носов Илья Николаевич** – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: [ilyanosov@mail.ru](mailto:ilyanosov@mail.ru)

**Зеров Владимир Николаевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Микропроцессорные средства автоматизации» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: [zvn@msa.pstu.ru](mailto:zvn@msa.pstu.ru)

### About the authors

**Nosov Ilya Nikolaevich** – Master Student Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: [ilyanosov@mail.ru](mailto:ilyanosov@mail.ru)

**Zerov Vladimir Nikolaevich** – Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Microprocessor Automation Means, Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: [zvn@msa.pstu.ru](mailto:zvn@msa.pstu.ru)

## **КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОЛНЫ ДАВЛЕНИЯ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ УТЕЧКИ ИЛИ НЕСАНКЦИОНИРОВАННОЙ ВРЕЗКИ В НЕФТЕПРОВОДЕ**

**В.В. Бараков, К.С. Резанов**

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

В данной статье рассматривается программный комплекс, написанный автором для моделирования волны давления, возникшей в результате образования утечки или несанкционированной врезки на участке нефтепровода, одной из главных особенностей которого является учет распада волны давления на стыке трубопроводов с различным диаметром. Благодаря этому данная программа позволяет произвести моделирование в реальном времени изменения параметров нефти с графической визуализацией и сравнить их с реальными данными, получаемыми с производственных объектов.

**Ключевые слова:** волна давления; утечка или несанкционированная врезка; компьютерное моделирование.

## **COMPUTER SIMULATION OF PRESSURE WAVE PROPAGATION IN THE EVENT OF A LEAK OR UNAUTHORIZED TIE-IN IN AN OIL PIPELINE**

**V.V. Barakov, K.S. Rezanov**

Russian State University Oil and Gas (NRU)  
named after I.M. Gubkina, Moscow

This article discusses a software package written by the author for modeling a pressure wave that occurred as a result of the formation of a leak or unauthorized tie-in on an oil pipeline section, one of the main features of which is to take into account the decay of a pressure wave at the junction of pipelines with different diameters. thanks to this, this program allows you to perform real-time modeling of changes in oil parameters with graphical visualization and compare them with real data obtained from production facilities.

**Keywords:** pressure wave; leak or unauthorized insertion; computer simulation.

В процессе эксплуатации любого трубопровода, в том числе и нефтепровода, стандартно работающего в установившемся режиме, существует вероятность происхождения тех или иных технологических операций, а также нештатных ситуаций, приводящих к переходу

режима работы трубопровода в неустановившийся [1]. Нестационарный (переходный) процесс характеризуется изменением основных параметров течения жидкости не только от сечения к сечению, но и в каждом сечении в зависимости от времени, и генерирует волну давления, распространяющуюся вверх и вниз по течению нефти [2].

Одной из распространенных причин возникновения в трубопроводе неустановившихся процессов являются различные аварийные ситуации, в частности появление утечки или несанкционированной врезки, которые нарушают безопасность и бесперебойность работы трубопровода, а также могут привести к нарушению его конструкции и даже разрыву за счет колебаний давлений [3, 4].

Поэтому исследование и компьютерное моделирование данных технологических процессов является важной задачей не только трубопроводного транспорта, но и нефтегазовой отрасли в целом [5].

Для определения параметров нефти в  $m$ -й момент времени в  $k$ -м сечении (данные параметры составляют двумерные массивы) при возникновении утечки или несанкционированной врезки в  $k^*$ -м сечении вводится система координат относительного трубопровода с началом координат в начале исследуемого линейного участка. Рабочей зоной перекачки нефти считаются координаты  $x_k \in [0, L]$ .

Для проведения расчетов пользователю необходимо начать работу в программе с ввода ряда характеристик трубопровода и нефти, который можно осуществлять как вручную, так и с помощью таблиц Excel:

- 1) профиль трассы трубопровода  $\{x_k, z_k\}$  ( $x_k$  – координата, м;  $z_k$  – высотная отметка, м);
- 2)  $\rho$  – плотность, кг/м<sup>3</sup>;
- 3)  $\nu$  – кинематическая вязкость, м<sup>2</sup>/с;
- 4)  $K_p$  – модуль упругости нефти, Па;
- 5)  $E$  – модуль упругости 1-го рода материала трубопровода, Па;
- 6)  $D_k$  – внешний диаметр участка, мм;
- 7)  $p_n$  – начальное давление, МПа;
- 8)  $L$  – длина трубопровода, км;
- 9)  $\delta_k$  – толщина стенки участка, мм;
- 10)  $\Delta$  – абсолютная шероховатость стенки, мм;
- 11)  $Q$  – расход, м<sup>3</sup>/ч;

12)  $x_{k^*}$  – координата утечки или несанкционированной врезки, м;

13)  $S$  – площадь сечения, через которое происходит течение нефти, м<sup>2</sup>.

При первоначальном расчете вычисляется ряд вспомогательных параметров для моделирования, а именно:

– внутренний диаметр трубопровода:

$$d_k = D_k - 2 \cdot \delta_k; \quad (1)$$

– скорость распространения волны давления:

$$c_k = \frac{1}{\sqrt{\frac{\rho}{K_p} + \frac{\rho \cdot d_k}{E \cdot \delta_k}}}; \quad (2)$$

– средняя скорость движения потока в начальный момент времени:

$$u_{0,k} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d_k^2}; \quad (3)$$

– число Рейнольдса в начальный момент времени:

$$\text{Re}_{0,k} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d_k \cdot \nu}. \quad (4)$$

Затем производится базовый гидравлический расчет нефтепровода в начальный момент времени. Исходя из чисел Рейнольдса для каждого сечения, в начальный момент времени определяется коэффициент гидравлического сопротивления –  $\lambda_{0,k}$  по классическим формулам гидравлики [6] или по формулам [7].

Далее рассчитывается гидравлический уклон в каждом сечении в начальный момент времени с учетом усредненных потерь на местные сопротивления:

$$i_{0,k} = 1,02 \cdot \lambda_{0,k} \cdot \frac{1}{d_k} \cdot \frac{u_{0,k}^2}{2 \cdot g}. \quad (5)$$

Вычисляется давление в каждом сечении в нулевой момент времени, учитывая, что  $p_{0,0} = p_n$ :

$$p_{0,k+1} = p_{0,k} + \rho \cdot g \cdot \left( \frac{u_{0,k}^2 - u_{0,k+1}^2}{2 \cdot g} + z_k - z_{k+1} - i_{0,k} \cdot (x_{k+1} - x_k) \right). \quad (6)$$

Основной расчет – вычисление давлений и скоростей, а соответственно и расходов в каждом сечении в каждый момент времени при

возникновении утечки или криминальной врезки производится с помощью метода характеристик, который можно представить в виде системы из двух рекуррентных формул:

$$\begin{cases} P_{m+1,k} = \frac{P_{m,k-1} + P_{m,k+1}}{2} + \rho \cdot c \cdot \frac{u_{m,k-1} - u_{m,k+1}}{2} + (\varphi_{m,k+1} - \varphi_{m,k-1}) \cdot \frac{(x_{k+1} - x_k)}{2} \\ u_{m+1,k} = \frac{P_{m,k-1} - P_{m,k+1}}{2 \cdot \rho \cdot c} + \frac{u_{m,k-1} + u_{m,k+1}}{2} - (\varphi_{m,k+1} + \varphi_{m,k-1}) \cdot \frac{(x_{k+1} - x_k)}{2 \cdot \rho \cdot c} \end{cases}, \quad (7)$$

где

$$\varphi_{m,k} = \lambda_{m,k} \cdot \frac{\rho \cdot u_{m,k}^2}{2 \cdot d_{m,k}} + \rho \cdot g \cdot \frac{z_k - z_{k-1}}{x_k - x_{k-1}}. \quad (8)$$

Однако данный метод не позволяет определять в следующий момент времени давления и скорости в начальном и конечном сечениях, чтобы это исправить, требуется ввести граничные условия:

— давление и средняя скорость в начале участка в любой момент времени принимаем:

$$\begin{cases} P_{m,0} = P_n; \\ u_{m,0} = u_{0,0} \end{cases}; \quad (9)$$

— в конце участка принимаем, что давление и средняя скорость остаются постоянными:

$$\begin{cases} P_{m,N} = P_{0,N}; \\ u_{m,N} = u_{0,N} \end{cases}, \quad (10)$$

где индекс  $N$  – номер последнего сечения нефтепровода ( $x_N = L$ ).

Для сечения нефтепровода, в котором происходит непосредственно истечение нефти, дополнительно к системе (7) накладываются условия сопряжения:

$$\begin{cases} P_{m,k}^- = P_{m,k}^+ \\ Q_{m,k}^- - Q_{m,k}^+ = q = \mu_0 \cdot s \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{P_{m,k}^- - P_{амм}}{\rho}} \end{cases}, \quad (11)$$

где  $\mu_0$  – коэффициент расхода (для тонких стенок обычно принимают  $\mu_0 = 0,62$ ),  $P_{амм}$  – атмосферное давление (примем, что грунт рыхлый и давление снаружи нефтепровода равно атмосферному). Индекс «-» показывает, что данный гидродинамический параметр определяется до места утечки, а индекс «+», что после.

Результаты расчета моделирования распространения волны давления, произведенного с помощью ранее описанного алгоритма, удобнее всего представить в виде графика распределения давления по длине нефтепровода в реальном времени. На рисунке представлен данный график для нефтепровода, имеющего две вставки различных диаметров и утечку нефти в середине участка.

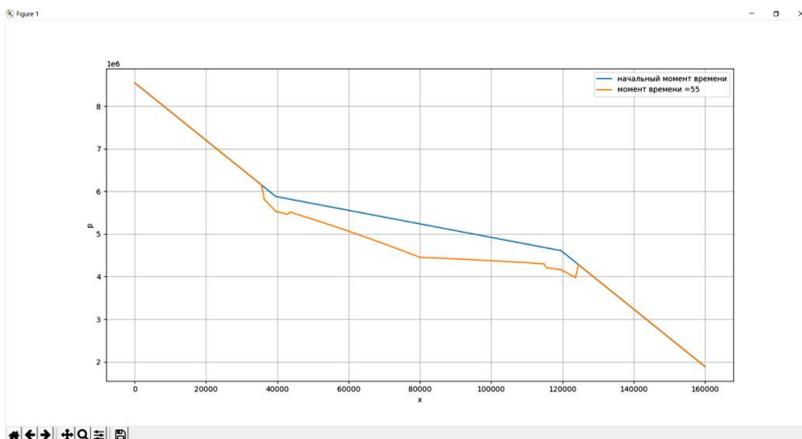


Рис. 1. Окно с графиком распределения волны давления по длине нефтепровода в реальном времени

Как видно из графика, в месте утечки происходит распространение волны давления, которая идет как по течению нефти, так и против него, а в местах, где находятся вставки, происходит не только прохождение, но и отражение волны давления в обратную сторону, то есть ее распад на волну сжатия и волну разрежения. Также стоит отметить, что волна отражения имеет более высокую амплитуду по сравнению с падающей волной.

Таким образом, автором был разработан программный комплекс, моделирующий возникновение и распространение волны давления по длине нефтепровода, проанализирован и исследован феномен отражения волны давления от вставок.

### Библиографический список

1. Лурье М.В., Мастобаев Б.Н., Ревель-Муроз П.А., Сощенко А.Е. Проектирование и эксплуатация нефтепроводов: учебник для нефтегазовых вузов. – М.: Недра. – 2019. – 434 с.

2. Поляков В.А., Шестаков Р.А. Расширение параметрических методов обнаружения утечек и несанкционированных врезок на магистральных нефтепроводах // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2016. – № 3. – С. 57–59.

3. Уланов В.В., Яцкевич Д.А., Филиппов С.А. К вопросу о моделировании гидравлического удара в трубопроводах // Промышленный сервис – 2015. – № 4. – С. 33–39.

4. Поляков В.А., Шестаков Р.А. Системный подход к проектированию трубопроводов [Электронный ресурс]: учеб. пособие. – М.: РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина. – 2018. – URL: <http://elibr.gubkin.ru/content/22990> (дата обращения: 29.06.2020).

5. Дейнеко С.В., Алихашкин А.С., Шестаков Р.А., Уланов В.В. Основное технологическое оборудование и процессы транспорта нефти и нефтепродуктов [Электронный ресурс]: учебное пособие – М.: РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина. – 2018. – URL: <http://elibr.gubkin.ru/content/23045> (дата обращения: 28.06.2020).

6. Лурье М.В. Теоретические основы трубопроводного транспорта нефти, нефтепродуктов и газа. – М.: Недра, 2017. – 477 с.

7. РД 24.040.00-КТН-062-14. Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Магистральные нефтепроводы. Нормы проектирования. – М.: ОАО «АК «Транснефть», 2014. – 165 с.

### Сведения об авторах

**Бараков Владислав Витальевич** – студент Российского государственного университета нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, Москва, e-mail: [vlad-barakov2014@yandex.ru](mailto:vlad-barakov2014@yandex.ru)

**Резанов Константин Сергеевич** – студент Российского государственного университета нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, Москва, e-mail: [rezanov\\_ks@mail.ru](mailto:rezanov_ks@mail.ru)

### About the authors

**Barakov Vladislav Vitalievich** – Student Russian State University of Oil and Gas (NRU) named after I.M. Gubkina, Moscow, e-mail: [vlad-barakov2014@yandex.ru](mailto:vlad-barakov2014@yandex.ru)

**Rezanov Konstantin Sergeevich** – Student Russian State University of Oil and Gas (NRU) named after I.M. Gubkina, Moscow, e-mail: [rezanov\\_ks@mail.ru](mailto:rezanov_ks@mail.ru)

## **ВЛИЯНИЕ ПРИСУТСТВИЯ НЕСКОЛЬКИХ КЛАССОВ ОБЪЕКТОВ НА РЕЗУЛЬТАТЫ КЛАССИФИКАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ СВЕРТОЧНЫМИ НЕЙРОННЫМИ СЕТЯМИ**

**Н.В. Смирнов, А.С. Трифонов**  
Петрозаводский государственный  
университет, Петрозаводск

Человеческий фактор обуславливает риск возникновения ошибки распознавания изображения. Автоматизация процесса классификации фотографий объектов, приходящих на перерабатывающий завод, уменьшает риск возникновения ошибки классификации и соответствующие финансовые затраты. Создан собственный набор изображений, объекты на которых аналогичны оригинальным. На изображениях с объектами целевого класса также может присутствовать некоторое количество объектов нецелевого класса. В работе приведены результаты классификации фотографий, содержащих два класса объектов одновременно.

**Ключевые слова:** классификация изображений; сверточные нейронные сети; глубокое обучение.

## **INFLUENCE OF SEVERAL CLASSES OBJECTS PRESENCE ON THE RESULTS OF IMAGE CLASSIFICATION BY CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS**

**N.V. Smirnov, A.S. Trifonov**  
Petrozavodsk State University, Petrozavodsk

The human factor causes the risk of image recognition error. Automating the process of classifying photographs of materials coming to a processing plant reduces the risk of errors and the corresponding financial costs. The authors created their own dataset of images, the objects on which are similar to the original. Images with objects of the target class may also contain a number of objects of the non-target class. The paper presents the results of classification of photographs containing two classes of objects simultaneously.

**Keywords:** image classification; convolutional neural networks; deep learning.

Задачи классификации изображений и распознавания объектов часто появляются в различных сферах человеческой деятельности. Рассмотрим перерабатывающий завод, на который в железнодорожных вагонах поступают заранее отсортированные по категориям объекты (металлолом). Человек может допускать ошибки при распознавании

образов, поэтому возможным решением задачи классификации фотографий вагонов является применением методов машинного и глубокого обучения. При решении задачи классификации часто возникает проблема отсутствия необходимого количества изображений для обучения нейронных сетей. Также довольно часто в вагон с объектами одного типа попадает некоторое количество объектов другого типа, что затрудняет задачу классификации изображения.

Чтобы решения проблемы недостаточного количества исходных изображений в тренировочной выборке, была предпринята попытка создать дополнительные изображения. Изображения, полученные с использованием различных электронных средств [1], не содержат искажений изображения, которые получаются при фотографировании, поэтому в подавляющем большинстве не обеспечивают приемлемую точность классификации на реальных фотографиях. Авторами был создан набор фотографий, имитирующих объекты, которые в большой степени совпадают с объектами в настоящем наборе фотографий по форме, цвету, размерам.

**Набор изображений.** Созданные фотографии (рис. 1) можно рассматривать как текстурные изображения. Фотографии были нарезаны на необходимый для применения рассмотренных сверточных нейронных сетей размер, и для повышения степени схожести с настоящими изображениями было применено размытие путем свертки с матрицей из единиц размером  $5 \times 5$ . Полученный набор изображений [2], содержащий 6 классов был разбит на: тренировочную, валидационную, и тестовую, соответствующие размеры которых составляют 840, 105, 105 изображений каждого класса объектов.



Рис. 1. Пример исходной фотографии, класс обрезки

Для проведения классификации фотографий вагонов по преобладающему (целевому) классу объектов был сформирован набор смешанных изображений. Этот набор создавался путем наложения фрагментов фотографий нецелевого класса объектов на фотографии с объектами целевого класса, так что объекты целевого и нецелевого классов находятся в соотношении: 90/10, 80/20, 70/30, 60/40 % соответственно (рис. 2).

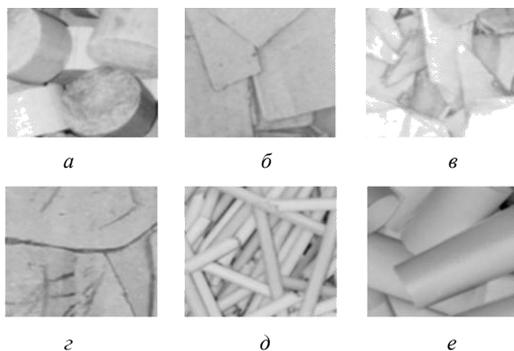


Рис. 2. Типы объектов

**Результаты классификации.** Общепринятыми метриками в задаче классификации изображений являются:

1. Точность (*precision*) – отношение количества объектов целевого класса, которые классифицированы как объекты этого класса, к общему количеству объектов, которые классифицированы как объекты этого класса.

2. Recall (*полнота*) – отношение количества объектов, которые классифицированы как объекты целевого класса, к общему количеству объектов этого класса,

3. Среднее гармоническое *f1*:

$$f1 = \frac{2(\textit{precision} \cdot \textit{recall})}{\textit{precision} + \textit{recall}}$$

В качестве метрики выбора наилучшего классификатора выбрано среднее значение *f1*:

$$\textit{avg\_f1} = \sum_i^n f1_i, \textit{avg\_f1} \rightarrow \max,$$

где *n* – количество классов в тестовом наборе, *f1<sub>i</sub>* – *f1* *i*-го класса, *i* = 1, 2, ..., *n*.

Сверточные нейронные сети Xception, ResNet50, InceptionV3 [3] на тестовой выборке сформированного набора данных показали значения точности, полноты и метрики f1, равные 0,99 [2]. Эти нейронные сети были выбраны для классификации смешанного набора изображений. Результаты классификации представлены в таблице и для сети Xception на тепловых картах (рис. 3–6). У каждой нейронной сети при увеличении процента присутствия объектов нецелевого класса на изображениях с объектами целевого класса происходит уменьшение процента верно распознанных изображений.

### Результаты классификации изображений

Название нейронной сети	Процент верно классифицированных изображений целевого класса, при заданных пропорциях площади фотографии, занимаемой объектами целевого класса/нецелевого класса, %				
	100/0	90/10	80/20	70/30	60/40
ResNet50	99,00	99,37	98,41	93,17	87,94
InceptionV3	99,00	99,68	97,78	92,54	72,54
Xception	99,00	99,04	98,25	96,50	88,57

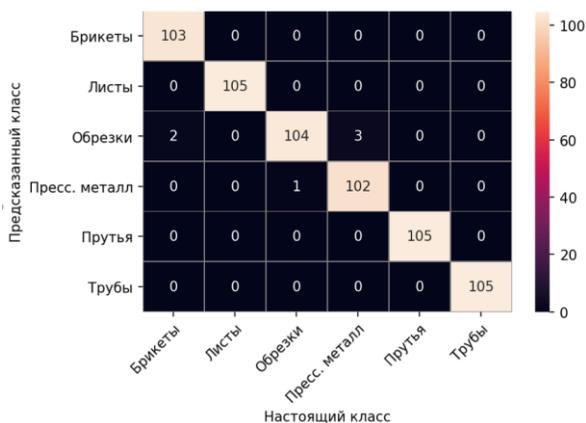


Рис. 3. Тепловая карта смешивания классов 90/10

**Заключение.** Нейронные сети показали довольно высокую точность классификации на созданном тестовом наборе изображений, содержащих два класса объектов: целевого и нецелевого. Наибольшее количество верно классифицированных изображений были получены при применении нейронных сетей ResNet50, Xception.

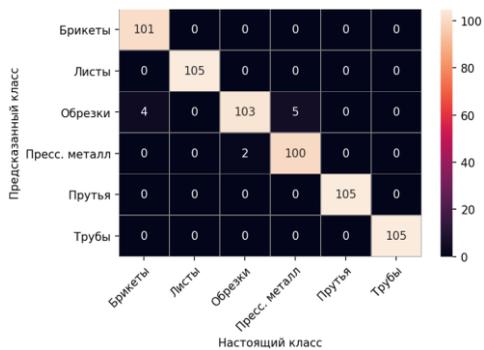


Рис. 4. Тепловая карта смешивания классов 80/20

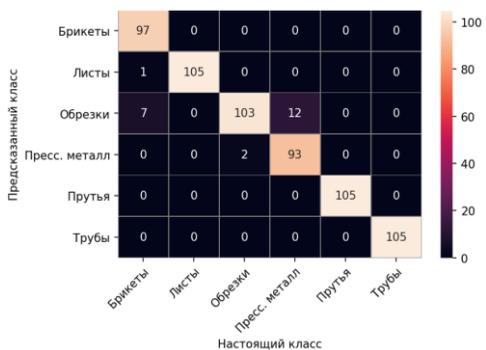


Рис. 5. Тепловая карта смешивания классов 70/30

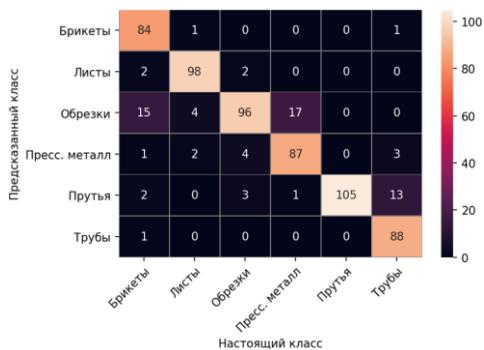


Рис. 6. Тепловая карта смешивания классов 60/40

## Библиографический список

1. Смирнов Н.В., Рыбин Е.И. Исследование влияния смешивания различных классов объектов на результаты классификации изображений // Шаг в будущее: искусственный интеллект и цифровая экономика. Революция в управлении: новая цифровая экономика или новый мир машин: материалы II Междунар. науч. форума. – М.: Издательский дом ФГБОУ ВО ГУУ, 2018. – С. 111–116.

2. Смирнов Н.В., Трифонов А.С. Применение сверточных нейронных сетей в задаче классификации текстурных изображений. [Электронный ресурс] // Цифровые технологии в образовании, науке, обществе: материалы XIV Всерос. науч.-практ. конф. – Петрозаводск, 2020. – С. 146–149. – URL: <https://it2020.petrso.ru/doc/it2020.pdf> (дата обращения: 06.12.2020).

3. Keras Applications [Электронный ресурс]. – URL: <https://keras.io/api/applications/>

## Сведения об авторах

**Смирнов Николай Васильевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Теория вероятностей и анализа данных» Петрозаводского государственного университета, Петрозаводск, e-mail: [smirnovn@petrsu.ru](mailto:smirnovn@petrsu.ru)

**Трифонов Алексей Сергеевич** – студент Петрозаводского государственного университета, Петрозаводск, e-mail: [lexa.2tri@yandex.ru](mailto:lexa.2tri@yandex.ru)

## About the authors

**Smirnov Nikolai Vasilievich** – Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Probability and Data Analysis Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, e-mail: [smirnovn@petrsu.ru](mailto:smirnovn@petrsu.ru)

**Trifonov Alexey Sergeevich** – Student of Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, e-mail: [lexa.2tri@yandex.ru](mailto:lexa.2tri@yandex.ru)

## **КОНЦЕПЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО ДИСПЕТЧЕРСКОГО КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ СЫРЬЕВЫМИ ПОТОКАМИ НА ПРИМЕРЕ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ АО «СВЯТОГОР»**

**В.Р. Гайнутдинов**

Технический университет УГМК, Верхняя Пышма

В данной статье рассмотрены проблемы управления материальными потоками на предприятиях горнодобывающей и металлургической промышленности. Описан прототип автоматизированной системы учёта сырья и управления процессами транспортировки и распределения потоков руд – от поступления на предприятие до выгрузки во вторичные бункера обогатительной фабрики. Основной проблемой в развитии горнодобывающей и металлургической промышленности является высокий уровень операционных затрат. Одним из путей повышения оперативности управления и контроля, снижения себестоимости выпускаемой продукции может стать цифровая трансформация производства.

**Ключевые слова:** система автоматизации; обогатительное производство; управление материальными потоками; учет сырья; диспетчеризация предприятия.

## **THE CONCEPT OF THE AUTOMATED SYSTEM OF OPERATIONAL DISPATCHING CONTROL AND CONTROL OF RAW FLOWS ON THE EXAMPLE OF THE CONCENTRATING FACTORY OF JSC “SVYATOGOR”**

**V.R. Gainutdinov**

UMMC Technical University, Verkhnyaya Pyshma

This article discusses the problems of material flow management at the enterprises of the mining and metallurgical industries. A prototype of an automated system for accounting for raw materials and managing the processes of transporting and distributing ore flows from entering the enterprise to unloading into the secondary bunkers of the processing plant is described. The main problem in the development of the mining and metallurgical industries is the high level of costs. One of the ways to increase the efficiency of management and control, reduce the cost of production can be a digital transformation of production.

**Keywords:** automation system; enrichment production; material flow management; raw materials accounting; enterprise dispatching.

В настоящее время уровень автоматизации технологических процессов на обогатительной фабрике АО «Святогор» позволяет контролировать практически все технологические параметры процессов обогащения. Однако для оптимизации расходов, повышения качества и оперативного планирования будет эффективным решением создание системы мониторинга и управления материальными потоками на этапе доставки сырья в дробильное отделение и интеграция полученных массивов данных с данными отделения измельчения и флотации. Кроме того, система предполагает наличие специального интерфейса для оформления заявок в железнодорожный и автотранспортный цеха на поставку партии руды с регистрацией времени оформления заявки и её выполнения [1–5].

На обогатительной фабрике АО «Святогор» перерабатываются медные и медно-цинковые руды Ново-Шемурского месторождения, медные руды Волковского, Сафьяновского месторождения, промсырьё и конвертерный шлак. Весь ассортимент сырья, поступаая на предприятие, проходит процедуру взвешивания на автомобильных или железнодорожных весах, в зависимости от способа доставки. После взвешивания сырьё разгружается в специально отведенных местах для временного хранения (Рудный двор). Результаты взвешивания хранятся в специальной СУБД.

В соответствии с суточным графиком переработки руд оператор дробильного отделения по телефону осуществляет заявку на поставку руды. Дежурный по станции «Рудная» согласно заявке руководит погрузкой, определением массы сырья и доставкой в дробильное отделение. После выгрузки думпкаров в бункера дробильного отделения руда проходит стадии грохочения, дробления и по системе конвейеров поступает в отделение измельчения. Учет переработанного сырья осуществляется после определения массы тары думпкаров.

Рассматриваемая в статье модель системы предполагает внедрение следующих программно-аппаратных компонентов:

1. Оснащение думпкаров железнодорожного цеха RF-метками для оперативного контроля и учета транспортируемых грузов.
2. Оснащение вагонных весов считывателями радиометок для расширения функционала АРМ весовщика.
3. Оснащение корпуса приема руды считывателями радиометок и системой контроля выгрузки думпкаров.
4. Оснащение погрузочных путей рудного двора светофорами и считывателями радиометок думпкаров для осуществления мониторинга перемещения сырьевых потоков.

5. Разработка программно-аппаратного комплекса и пользовательского интерфейса системы мониторинга запасов сырья и оформления заявок на поставку руды в дробильное отделение.

На рис. 1 представлена схема материальных и информационных потоков в рассматриваемой модели.

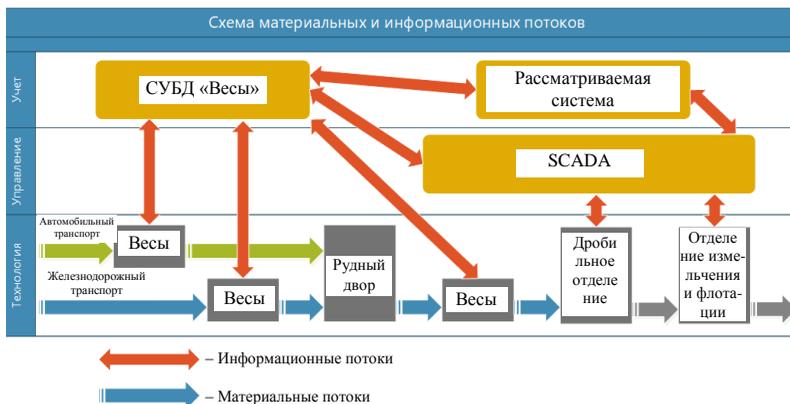


Рис. 1. Схема материальных и информационных потоков

### Краткое описание модели системы и алгоритм её работы.

Поступающее на предприятие сырьё проходит процедуру взвешивания на автомобильных или железнодорожных весах, в зависимости от способа доставки. Результаты взвешивания сохраняются в базе данных весов. На основании полученных результатов взвешивания система производит математические операции для определения количества запасов сырья на рудном дворе. Оператор дробильного отделения в специальной программе на своем АРМ оформляет заявку на поставку определенного количества руды одного из сортов. В заявке указывается сорт руды, её количество, время составления заявки и желаемое время доставки в дробильное отделение. После заполнения формы и нажатия кнопки «Отправить» (рис. 2), заявка поступает на АРМ дежурного по станции. Дежурный по станции принимает заявку в работу, нажав кнопку «Принять», автоматически формируется сообщение о поступившей заявке и отправляется руководителю краново-экскаваторного участка цеха автомобильного транспорта.

Мастер краново-экскаваторного участка получает сообщение, отвечает на него, выдает задание экскаваторщику, статус заявки переходит в состояние «Выполнения». На погрузочном пути в месте хранения того сорта руды, на доставку которого была оформлена заявка, загорается световая индикация для обозначения места погрузки машинисту тепловоза и экскаваторщику. Система определяет с помощью считывателей радиометок, установленных на погрузочных путях и весах, номера думпкаров, время их поступления на погрузку, время окончания погрузки, количество загруженного сырья. При поступлении состава в корпус приема руды дробильного отделения система определяет номера думпкаров, регистрирует время их выгрузки, примерное количество поступившего сырья. После взвешивания «тары» вагонов значения количества поступившего в дробильное отделение сырья корректируются и сохраняются в таблицах SCADA-систем дробильного отделения и отделения измельчения и флотации.

**Заявки** | Заявка 11 | Заявка 12 | 26.04.2020 18:41:00

**Заявки за сутки**

№ п/п	Время	Руда	Количество	Статус
12	17:34:54	Волковская	418,55	В очереди
11	16:56:03	Волковская	388,45	Выполняется
10	16:21:54	Волковская	390,50	Выполняется
9	15:35:00	Н-Шемур Меди/Цинк	420,15	Выполнена
8	14:55:21	Н-Шемур Меди/Цинк	405,25	Выполнена
7	14:10:16	Н-Шемур Меди/Цинк	413,35	Выполнена
6	12:45:40	Н-Шемур Меди/Цинк	378,98	Выполнена
5	12:00:20	Волковская	356,55	Выполнена
4	10:50:15	Волковская	401,35	Выполнена
3	10:20:00	Волковская	400,25	Выполнена
2	9:35:34	Волковская	305,60	Выполнена
1	8:20:50	Н-Шемур Меди/Цинк	402,52	Выполнена

**Новая заявка**

Руда	Количество, т.	Время поставки
Н-Шемур Меди/Цинк	600	21 : 10

**Заявки в работе**

№ заявки	Руда	Процесс
12	Волковская	В очереди
11	Волковская	Погрузка
10	Волковская	Взвешивание

**Остаток сырья на рудном дворе**

№ п/п	Дата/время	Руда	Количество	Примечание
1	24.04.20/16:21	Волковская	12 366,55	В очереди
2	26.04.20/15:19	Н-Шемур Медная	7 988,25	
3	26.04.20/13:54	Н-Шемур Меди/Цинк	8 864,50	
4	25.04.20/22:35	Сафьяновская	6 520,15	
5	25.04.20/12:37	Прокимсьев	1 205,25	
6	24.04.20/19:21	Шлак конвертерный	2 063,40	
7	24.04.20/18:16	Другая	3 021,55	

**Весы**

**ТЕХНОЛОГИЯ**

- КПР
- КСМД
- ОПСИШ
- УСиРР
- ЖД составы

**Контакты**

Мастер КСМД	27-2-32
Оператор ОФ	27-3-56
Мастер ОПСИШ	27-3-48
Ст. "Рудная"	27-1-14
Мастер Р.Д.	28-8-18
Мастер ОТК	27-0-22
Диспетчер	28-8-96

Диспетчер Фамилия И. О.

Рис. 2. Модель окна интерфейса формы создания заявок

Также производится расчет оставшегося сырья на основании полученных результатов взвешивания (рис. 3).



Рис. 3. Алгоритм системы управления сырьевыми потоками

Кроме приведенного в данной статье функционала система интегрируется с существующими на предприятии SCADA системами дробильного отделения и отделения измельчения и флотации обогатительной фабрики.

### Библиографический список

1. Ицкович Э.Л. Особенности внедрения систем класса MES на предприятиях технологических отраслей // Автоматизация и ИТ в энергетике. – 2015. – № 4. – С. 15–22.
2. ГОСТ Р МЭК 62264. Интеграция систем управления предприятием. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200118645> (дата обращения: 28.10.2019).
3. Рыжко А.Л., Рыбников А.И., Рыжко Н.А. Информационные системы управления производственной компанией: учебник для академического бакалавриата. – Юрайт, 2019.

4. Рудычева Н. Российская промышленность 4.0: как не опоздать на поезд в будущее // ИТ в промышленности. – 2018. – URL: [http://www.cnews.ru/reviews/it\\_v\\_promyshlennosti\\_2018/articles/rossijskaya\\_promyshlennost\\_40\\_kak\\_ne\\_opozdat\\_na\\_poezd\\_v\\_budushchee](http://www.cnews.ru/reviews/it_v_promyshlennosti_2018/articles/rossijskaya_promyshlennost_40_kak_ne_opozdat_na_poezd_v_budushchee) (дата обращения: 27.02.2020).

5. Цифровое предприятие: трансформация в новую реальность / В.И. Ананьин [и др.] // Бизнес-информатика. – 2018. – № 2(44). – С. 45–52.

#### **Сведения об авторе**

**Гайнутдинов Валиахмет Ренатович** – магистрант Технического университета УГМК, Верхняя Пышма, e-mail: vrg@66.ru

#### **About the author**

**Gainutdinov Valiakhmet Renatovich** – Student of the UMMC Technical University, Verkhnyaya Pyshma, e-mail: vrg@66.ru

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДИСКОВЫХ НОЖНИЦ ПРОДОЛЬНОЙ РЕЗКИ ЛЕНТЫ ИЗ МЕДИ И ЕЕ СПЛАВОВ**

**В.В. Сосунов**

Технический университет УГМК, Верхняя Пышма

В данной статье рассмотрена модернизация электропривода дисковых ножниц линии продольной резки ленты из меди и сплавов на ее основе. Оценено сегодняшнее состояние системы управления линии продольной резки и предложена замена тиристорного электропривода постоянного тока на частотно-регулируемый электропривод в узел линии продольной резки, что позволит значительно снизить потери электроэнергии в переходных процессах, обеспечить наилучшие эксплуатационные показатели, а также снизить эксплуатационные издержки.

**Ключевые слова:** линия продольной резки; электропривод; система управления; экономия электрической энергии.

## **MODERNIZATION OF THE ELECTRIC DRIVE OF DISC SHEARS OF THE SLITTING LINE OF A STRIP OF COPPER AND ITS ALLOYS**

**V.V. Sosunov**

UMMC Technical University, Verhnyaya Pyshma

This article discusses the modernization of the electric drive of disk shears of the slitting line of a strip of copper and alloys based on it. The current state of the control system for the slitting line is considered and the introduction of a frequency-controlled drive in the mechanism of the slitting line is proposed, which will significantly reduce energy losses in transients, ensure the best performance, as well as reduce operating costs.

**Keywords:** slitting line; electric drive; control system; energy saving.

ОАО «Кировский завод по обработке цветных металлов» (г. Киров, Кировская область) – одно из самых современных предприятий в отечественной металлообработке. За более чем полувековую историю своего развития предприятие накопило богатейший опыт производства плоского и круглого проката из меди и медных сплавов.

Линия продольной резки ленты «Шкода-73» находится в конце технологической цепочки около зоны отгрузки готовой продукции и предназначена для продольной резки ленты из меди и сплавов на ее основе толщиной до 1,00 мм. На рис. 1 представлена функциональная схема технологического процесса линии продольной резки ленты.

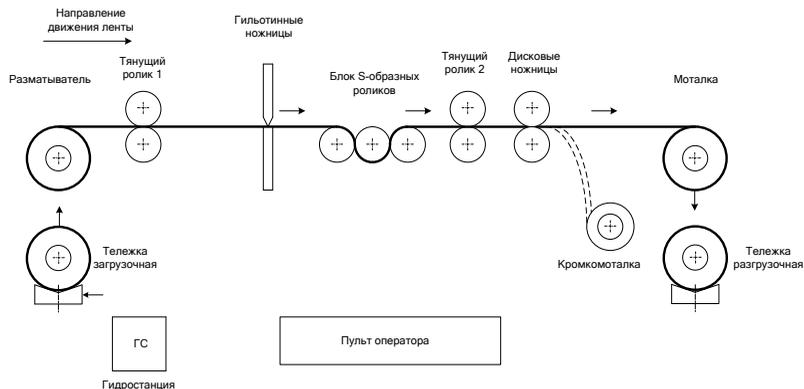


Рис. 1. Функциональная схема технологического процесса линии продольной резки

Разрезке подлежат ленты из меди и сплавов на ее основе, отвечающие требованиям нормативной документации, в соответствии с которой они были изготовлены. Технические требования к заготовке представлены в табл. 1.

Таблица 1

#### Технические требования к заготовке

Основные технологические параметры ленты	Значение
Максимальная толщина обрабатываемых лент, мм	1,00
Минимальная толщина обрабатываемых лент, мм	0,20
Ширина ленты в рулоне, мм	100 до 350
Максимальная масса рулона, кг	2500
Наружный диаметр рулона, мм	более 1200

При помощи мостового крана рулон ленты устанавливается в накопитель загрузочного устройства линии и загрузочной тележкой передается на разматыватель. Также разматыватель поддерживает заданное натяжение ленты в процессе намотки. Далее лента направляется через тянущий ролик 1 и поперечные гильотинные ножницы в блок S-образных роликов. Поперечные гильотинные ножницы предназначены для отрезания невыкатанных концов. Затем через тянущий ролик 2 лента попадает в дисковые ножницы, где производится разрезка ленты на ремни и одновременно обрезка кромки. Далее разрезанные ремни подаются на моталку. Разделение наматываемых ремней ленты на моталке друг от друга производится сепарирующими дисками, настроенными в соответствии с разрезаемой шириной ленты.

Дисковые ножницы состоят из двух приводных ножевых валов диаметром 120 мм с надеваемыми на них дисковыми ножами и проставочными кольцами.

В настоящее время ножевые валы приводятся в движение электродвигателем постоянного тока, который управляется системой «Тиристорный преобразователь – двигатель постоянного тока независимого возбуждения» (ТП-Д) [1]. Данная система управления является устаревшей, так как имеет повышенное потребление электроэнергии из-за низкого коэффициента мощности [2]. Также система ТП-Д вносит помехи в питающую сеть [3]. Необходимо отметить повышенные эксплуатационные издержки вследствие обслуживания щеточно-коллекторного узла и высокую стоимость замены двигателя постоянного тока в случае его выхода из строя. Таких недостатков лишен асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором благодаря простой конструкции. Затраты на эксплуатацию асинхронного электродвигателя крайне малы. Так, при правильной эксплуатации двигателя замена подшипников производится примерно раз в 20 лет.

Вследствие вышеизложенного для повышения показателей эффективности работы линии продольной резки ленты, а также экономии электрической энергии целесообразно применить электропривод на базе системы «Преобразователь частоты – асинхронный двигатель» (ПЧ-АД) [4–6]. Преобразователь частоты (ПЧ) следует выбрать с поддержкой векторного метода управления с наличием обратной связи по скорости, тем самым обеспечивая диапазон регулирования 1:10 000 и более при точности поддержания скорости до  $\pm 0,02$  %.

Основой для расчета мощности и выбора электродвигателя привода дисковых ножниц являются тахограмма и нагрузочная диаграмма узла резки. Тахограмма показывает зависимость изменения скорости движения исполнительного органа во времени. Нагрузочная диаграмма представляет собой график изменения момента в функции времени. Момент является расчетной величиной от тока нагрузки ножниц. Графики изображены на рис. 2.

Выбор двигателя производился в следующей последовательности:

1. Расчет мощности (момента) и предварительный выбор двигателя.
2. Проверка выбранного двигателя по условиям пуска и перегрузки.
3. Проверка выбранного двигателя по нагреву.
4. Наличие принудительного обдува, так как возможны режимы работы на малых скоростях, например на заправочной скорости.

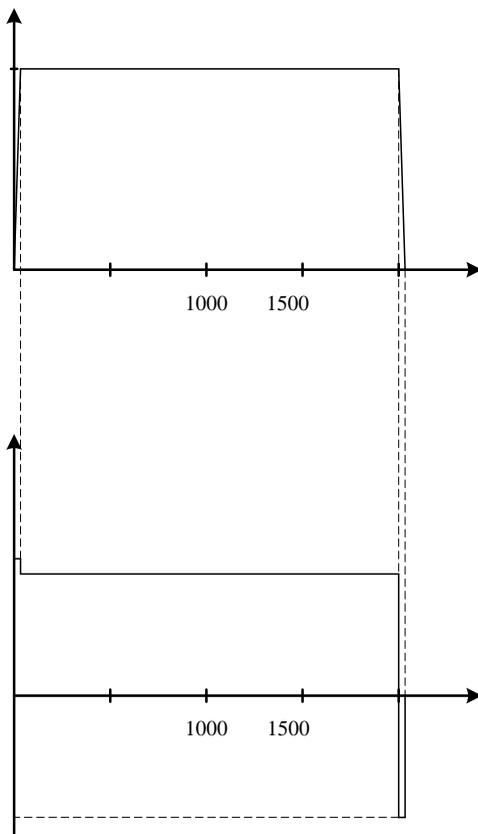


Рис. 2. Тахограмма (вверху) и нагрузочная диаграмма (внизу)

В табл. 2 представлены технические характеристики выбранного электродвигателя.

Таблица 2

Технические характеристики асинхронного электродвигателя с принудительной вентиляцией для работы в составе частотно-регулируемого привода

Тип	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	Ток, А	КПД, %	Коэффициент мощности	$\frac{M_{пуск}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{макс}}{M_{ном}}$	Момент инерции, кг·м <sup>2</sup>
АДЧР180М4	30	1460	56	91,5	0,87	2,4	3	0,1390

В работе рассмотрена модернизация электропривода дисковых ножниц линии продольной резки ленты из меди и сплавов на ее основе. Кратко изложен технологический процесс резки ленты. Для повышения показателей эффективности работы линии продольной резки ленты предложено заменить устаревшую систему ТП-Д на систему ПЧ-АД для узла резки. В результате это позволит значительно снизить потери электроэнергии в переходных процессах, обеспечить наилучшие эксплуатационные показатели, а также снизить эксплуатационные издержки. Также выбран электродвигатель с принудительной вентиляцией для работы в составе частотно-регулируемого привода.

### **Библиографический список**

1. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами: учебное пособие для вузов. – Ленинград: Энергоиздат, 1982. – 392 с.
2. Электромагнитная совместимость потребителей / И.В. Жежеленко, А.К. Шидловский, Г.Г. Пивняк [и др.]. – М.: Машиностроение, 2012. – 351 с.
3. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. – М.: Энергоатомиздат, 2010. – 375 с.
4. Гельман М.В., Дудкин М.М., Преображенский К.А. Преобразовательная техника: учеб. пособие. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009. – 425 с.
5. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: учебник. – М.: Академия, 2006. – 265 с.
6. Шишов О.В. Преобразователи частоты в системах автоматизации технологических процессов: лабораторный практикум. – Саранск: Издатель ИП Афанасьев В.С., 2013. – 116 с.

### **Сведения об авторе**

**Сосунов Валерий Валерьевич** – магистрант Технического университета УГМК, Верхняя Пышма, e-mail: ValeriyS1984@gmail.com

### **About the author**

**Sosunov Valeriy Valeryevich** – Master Student of UMMC Technical University, Verhnyaya Pyshma, e-mail: ValeriyS1984@gmail.com

## КОНЦЕПЦИЯ СТАБИЛИЗАЦИИ ПРОДУКТА РАЗГРУЗКИ СГУСТИТЕЛЯ

А.Ю. Карпов<sup>1</sup>, А.Ю. Феденёв<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Технический университет УГМК, Верхняя Пышма

<sup>2</sup>АО «Сибирь-Полиметаллы», Рубцовск

В данной статье рассмотрена концепция стабилизации продукта разгрузки цинкового сгустителя обогатительной фабрики за счёт автоматизации процесса управления сгустителем.

**Ключевые слова:** автоматизация; сгущение; обогащение.

## CONCEPT OF PRODUCT STABILIZATION THICKENER UNLOADING

A.Yu. Karpov<sup>1</sup>, A.Yu. Fedenev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>UMMC Technical University, Verkhnyaya Pyshma

<sup>2</sup>Siberia-Polymetals JSC

In this article discusses the concept of stabilizing the product of unloading a zinc thickener of a concentrator by automating the thickener control process.

**Keywords:** automation; thickening; enrichment.

В настоящее время на Рубцовской обогатительной фабрике для сгущения цинковой пульпы используется радиальный одноярусный сгуститель диаметром 15 м с центральным приводом СЦ-15А3 с площадью осаждения 175 м<sup>2</sup>.

Принцип работы сгустителя основан на естественном осаждении твёрдых частиц под действием силы тяжести. Вращающиеся гребки перемешивают осаждённые твёрдые частицы, собирают осадок и направляют сгущённый продукт к центру сгустителя, где находится конус разгрузки.

Насосы разгрузки сгустителей обеспечивают передачу сгущенного продукта на фильтр-прессы фильтрационно-сушильного отделения.

Сгуститель, как аппарат для осаждения твердых частиц в установившемся режиме, можно разделить на пять зон (рис. 1) [2]:

1. Зона осветленного раствора.
2. Зона первоначального осаждения.

3. Промежуточная зона.
4. Зона сжатия.
5. Зона плотного осадка.

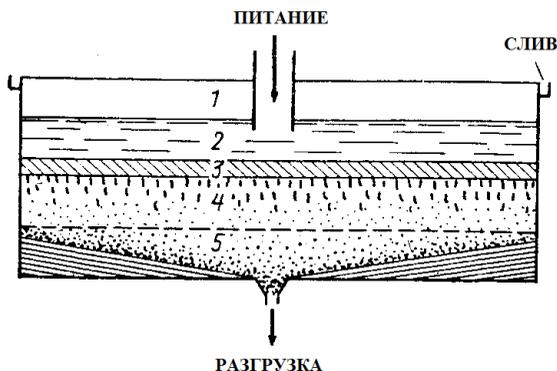


Рис. 1. Зоны сгущения цинкового концентрата

Управление сгустителем осуществляется по трём параметрам:

1. Контроль и регулирование высоты поднятия гребков.
2. Использование преобразователя частоты и измерителя-регулятора для осуществления плавного пуска и управления скоростью осаждения твёрдого.
3. Управление разгрузкой сгустителя.

Практика эксплуатации сгустителей показывает, что стабильность их работы определяющим образом влияет на эффективность последующих технологических операций [3]. Поэтому надёжное поддержание оптимального содержания твёрдого в нижнем сливе сгустителя является основным технологическим требованием к управлению сгустительным аппаратом.

Задача автоматизации процессов сгущения значительно усложняются колебаниями плотности и расхода пульпы, крупности твёрдой фазы, взаимовлияния множества процессов, протекающих в сгустителе.

В промышленности наиболее широко используется способ управления работой сгустителя, заключающийся в ручной или автоматической коррекции расхода сгущенной пульпы в зависимости от скорости осаждения твёрдой фазы в пульпе, подаваемой в сгуститель. При этом не учитываются действующие на процесс возмущения: качество отстоя пульпы, высота осветленного слоя, время выпуска [4].

На Рубцовской обогатительной фабрике процессом сгущения управляют вручную, изменяя высоту гребков, скорость их вращения и расход сгущенного продукта по результатам периодических анализов отбираемых проб. Такой метод не обеспечивает оперативность и оптимальность управляющих воздействий, что приводит к резким колебаниям содержания твердого в сгущенном продукте и снижению эффективности работы пресс-фильтров на следующем технологическом этапе [5].

Недостаточно высокий уровень автоматизации процесса сгущения определяет актуальность постановки и решения задачи автоматизации процесса сгущения, разработки методики и средств контроля, математического описания, алгоритма управления и автоматизированной системы управления.

В ходе обслуживания одного из сгустителей было замечено, что в момент разгрузки сгустителя в результате асимметричного подвода жидкости к отверстию происходит процесс возмущения, аналогичный воронкообразованию, что приводит к всасыванию пульпы в отверстие конуса разгрузки не только из области плотного осадка, но и из зоны сжатия с недостаточной плотностью, что приводит к дегазации продукта разгрузки сгустителя, снижению эффективности работы пресс-фильтров.

Проанализировав существующую технологию автоматизации контроля и управления работой сгустителей, было замечено, что управление скоростью вращения гребков используется только для контроля скорости осаждения твердого, и предложено задействовать блок управления работой привода гребков в общем алгоритме управления разгрузкой сгустителя с помощью ПЛК Siemens, произвести замену электродвигателя и частотного преобразователя для расширения возможности регуляторных вмешательств.

Для определения высоты слоя плотного осадка предложено использовать погружной ультразвуковой уровнемер, расположенный вблизи над конусом разгрузки. Комплекс из плотномера, закреплённого на раме привода сгустителя, и датчика давления, установленного перед задвижкой разгрузки сгустителя, позволит определять массу продукта в зоне плотного осадка. Контроль показаний нефелометра позволит избежать нарушения процесса осаждения и потери продукта с верхним сливом сгустителя.



Рис. 2. Алгоритм работы АСУ сгустителя

Новый алгоритм работы сгустителя (рис. 2) выглядит следующим образом: известны объём продукта, необходимый для заполнения пресс-фильтра, и требуемая плотность для максимальной эффективности системы; АСУ сгустителя контролирует наличие потребного количества продукта в зоне плотного осадка и, после открытия задвижки и включения насоса разгрузки увеличивает дискретность опроса показаний уровнемера и задаёт скорость вращения гребков, обеспечивающую наполнение конуса разгрузки продуктом из области плотного осадка и стабильность уровня слоя в пределах нормальных показателей; по окончании разгрузки возвращает систему к режиму, наиболее благоприятному для осаждения и накопления следующей порции продукта питания пресс-фильтра.

Внедрение нового алгоритма прямого управления сгустителем даст возможность контролировать процесс сгущения в режиме реального времени, позволит достичь оптимального результата, исключив попадание в разгрузку сгустителя продукта из зоны сжатия, и избежать перегрузок на конструкционные элементы сгустителя, при необходимости производить переключение технологической схемы на другой пресс-фильтр путём минимальных вмешательств.

### **Библиографический список**

1. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического управления. – СПб.: Профессия, 2003. – 752 с.
2. Процессы и аппараты цветной металлургии: учебник для вузов / С.С. Набойченко, Н.Г. Агеев, А.П. Дорошкевич, В.П. Жуков, Е.И. Елисеев, С.В. Карелов, А.Б. Лебедь. – Екатеринбург: УГТУ, 1997. – 648 с.
3. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1971. – 784 с.
4. Рутковский А.Л., Болотаева И.И., Зароченцев В.М. Разработка и исследование системы управления процессом сгущения // Вестник Владикавказского НЦ РАН. – 2007. – № 3.

5. Шариков Ю.В., Николаев А.Н., Кравчук А.А. Влияние стабилизации конечной плотности сгущения пульпы на качество концентрата // *Металлург.* – 2016. – № 2.

#### **Сведения об авторах**

**Карпов Алексей Юрьевич** – магистрант Технического университета УГМК, Верхняя Пышма, e-mail: [minotoru@yandex.com](mailto:minotoru@yandex.com)

**Феденёв Александр Юрьевич** – энергетик Рубцовской обогатительной фабрики АО «Сибирь-Полиметаллы», Рубцовск, e-mail: [alexandryf@mail.ru](mailto:alexandryf@mail.ru)

#### **About the authors**

**Karpov Alexey Yurievich** – Student of the Technical University of UMMC, Verkhnyaya Pyshma, e-mail: [minotoru@yandex.com](mailto:minotoru@yandex.com)

**Fedenev Alexander Yurievich** – Engineer of the Rubtsovskaya concentration plant of JSC "Sibir-Polimetally", Rubtsovsk, e-mail: [alexandryf@mail.ru](mailto:alexandryf@mail.ru)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СИНХРОННОГО ПУСКА СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ПАРАМЕТРОВ ДВИГАТЕЛЯ И ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ**

**Н.В. Жужгов, С.В. Шутемов**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

В статье исследован синхронный пуск синхронного двигателя (СД) при заданной частоте и напряжении источника питания, при которых двигатель способен запуститься без асинхронного режима. Представлены результаты влияния угла положения ротора на угол нагрузки. Определен диапазон частот, при которых возможен синхронный пуск СД.

**Ключевые слова:** синхронный пуск; синхронный двигатель; угловое положение ротора, угол нагрузки.

## **RESEARCH OF SYNCHRONOUS START OF A SYNCHRONOUS MOTOR WHEN CHANGING THE PARAMETERS OF THE ENGINE AND POWER SUPPLY**

**N.V. Zhuzhgov, S.V. Shutemov**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

The article investigates the synchronous start of a synchronous motor at a given frequency and voltage of the power supply, at which the motor is able to start without an asynchronous mode. The results of the influence of the angle of the rotor position on the load angle are presented. The frequency range for which a synchronous start of a synchronous motor is possible has been determined.

**Keywords:** synchronous start; synchronous motor; angular position of the rotor; rotor angular position.

В настоящее время все большее внимание уделяется СД, преимуществами которых по сравнению с асинхронными двигателями безусловны. Все большее внимание привлекает вопрос использования СД с постоянными магнитами, который позволяет сократить потери, нежели СД традиционного исполнения. Известно, что наиболее ответственным режимом является пуск СД, который традиционно проходит в асинхронном режиме. Пуск СД с постоянными магнитами невозможно осуществить традиционным методом, то есть асинхронным, так как в нем отсутствует обмотка возбуждения.

С развитием электроники и микропроцессорной техники все чаще появляются другие способы пуска СД отличные от традиционных. Одним из таких способов является частотный пуск, который требует использования преобразователя частоты. В процессе пуска частота изменяется, как правило, от 5 Гц и плавно достигает номинального значения 50 Гц. С увеличением частоты также изменяется напряжение.

В ходе исследования за основу взята схема модернизированной модели СД (рис. 1), описанная в [1]. В указанной модели параметры СД соответствуют параметрам ЦЛВД, разработанного в ПНИПУ на кафедре ЭТиЭМ. ЦЛВД представляет собой трехфазный цилиндрический статор, внутрь которого помещен вторичный элемент (ротор) с постоянными магнитами (группа 4МКГ46×21×8) [2]. Конструктивное отличие ЦЛВД от обычных СД лишь тем, что магнитное поле перемещается по направлению оси ротора. При этом принцип действия соответствует принципу действия обычного СД. Мощность СД составляет  $P_n = 10$  кВт.

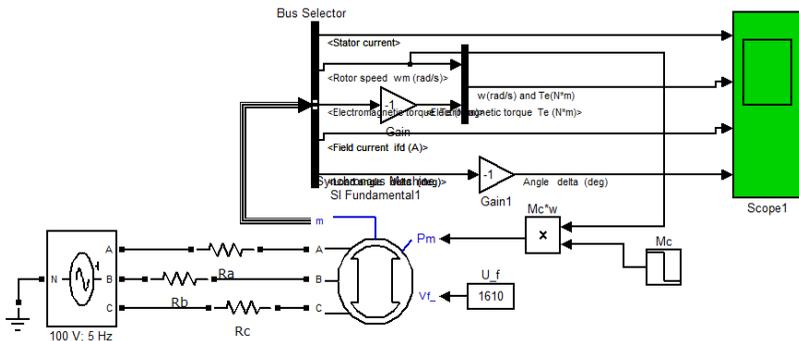


Рис. 1. Схема модернизированной модели СД

Основной идеей [1] является выявление физического угла нагрузки  $\Theta_e$  в СД малой мощности, которая в свою очередь отражает физику процессов работы СД малой мощности в двигательном режиме. В крупных СД векторный  $\Theta_U$  и физический  $\Theta_e$  углы практически равны из-за малого значения сопротивления статорной обмотки –  $R_S$  по сравнению с индуктивным сопротивлением  $X_S$ .

В представленной статье полученные результаты в ходе исследований будут сравниваться с результатами [1].

**Влияние на синхронный пуск СД при изменении параметров двигателя.** В параметрах блока Synchronous Machine SI Fundamental

пользователю предлагается задать положение ротора в момент пуска с помощью параметра  $th(deg)$  – угловое положение ротора (град.). Исследуем синхронный пуск СД при различных значениях параметра  $th(deg)$  и определим, при каких значениях пуск СД будет проходить наиболее благоприятно. Для исследования воспользуемся преобразованной моделью рис. 1.

В MatLab Simulink программно заложено, что при значении  $th(deg) = -90^\circ$  угол между осями  $q$  ротора и статора равен нулю, поэтому во время поиска наилучшего углового положения ротора, условно нулевой точкой принято значение  $th(deg) = -90^\circ$ . Это значение использовалось в [1].

Проведены исследования синхронных пусков СД с разными значениями параметра  $th(deg)$ , при этом момент сопротивления во всех случаях изменяется с 0,5 Мн до номинального  $M_n = 64$  Нм через время 0,25 с. В ходе исследования выбиралось значение углового положения равное  $th(deg)$  таким, при котором переходные процессы в процессе синхронного пуска проходят наиболее плавно. Полученные результаты сравнивались с результатами [1], которые получены при  $th(deg) = -90^\circ$ .

В ходе исследования было промоделировано несколько вариантов синхронного пуска СД в диапазоне значений  $th(deg)$  от  $-90^\circ$  до  $-40^\circ$ . На рис. 2 представлены результаты исследования крайнего значения параметра  $th(deg) = -40^\circ$ , сравним их с результатами [1] при  $th(deg) = -90^\circ$ .

В ходе сравнения результатов исследования следует отметить, что при увеличении угла  $th(deg)$  до  $-40^\circ$  синхронный пуск сопровождается плавным нарастанием скорости вращения ротора. Практически мгновенно наступает процесс синхронизации, и через время  $t = 0,08$  с ротор начинает вращаться с синхронной скоростью. Ударный электромагнитный момент достигает значения  $M_{э,уд} = 54,6$  Нм, что на 10 Нм меньше, чем при синхронном пуске СД при  $th(deg) = -90^\circ$ . Ток статора в момент пуска не превышает номинального значения, а в установившемся режиме равен  $I_{mS} = 42,2$  А. Физический угол нагрузки  $\Theta_e$  плавно достигает значения  $13,2^\circ$ . После наброса номинальной нагрузки ротор СД практически мгновенно синхронизируется, электромагнитным момент плавно достигает номинального значения, а физический угол нагрузки  $\Theta_e$  увеличивается с  $13,4^\circ$  до  $35,5^\circ$ .

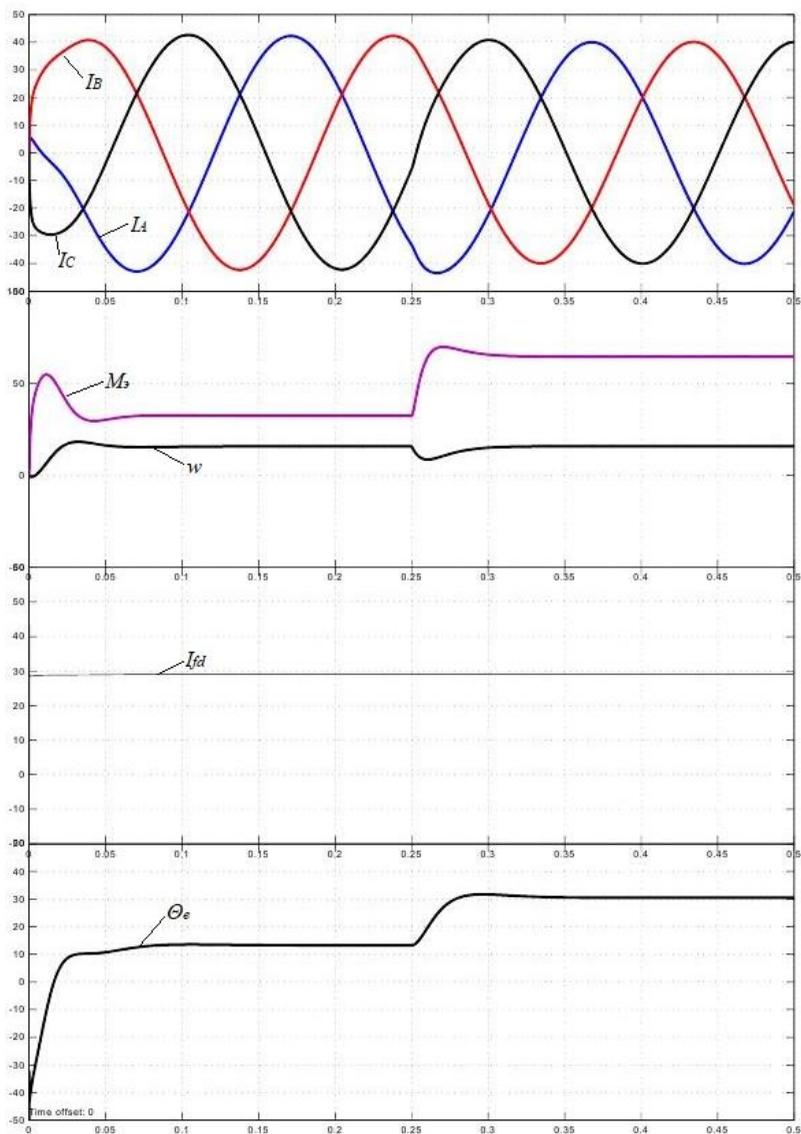


Рис. 2. Результаты синхронного пуска СД при  $th(deg) = -40^\circ$

При значениях угла  $th(deg)$  больше  $-40^\circ$  и меньше  $-90^\circ$  синхронный пуск не сопровождается плавным нарастанием скорости вращения ротора.

Исходя из результатов анализа, следует, чтобы выбрать значение начального положения ротора  $\text{th}(\text{deg})$  в диапазоне от  $-90^\circ$  до  $-40^\circ$ , обратимся к теории автоматического управления (ТАУ).

В ТАУ существуют показатели качества переходных процессов. Одной из оценок качества является оценка качества переходной характеристики системы автоматического регулирования относительно задающего воздействия [3]. Под этим подразумевается, что чем лучше переходная характеристика, тем лучше система будет обрабатывать произвольное задающее воздействие. К основным показателям качества переходной характеристики относят перерегулирование  $\sigma$  и время регулирования  $t_p$ .

Основываясь на ТАУ, проведен расчет перерегулирования и времени регулирования полученных результатов скорости вращения при начальном положении ротора  $\text{th}(\text{deg})$ , равном  $-40^\circ$  и  $-90^\circ$  при аналогичных условиях задания момента сопротивления.

При  $\text{th}(\text{deg}) = -90^\circ$  перерегулирование составляет  $\sigma = 102\%$ , а время регулирования  $t_p = 0,22$  с. При  $\text{th}(\text{deg}) = -40^\circ$  перерегулирование составляет  $\sigma \approx 16\%$ , а время регулирования  $t_p = 0,1$  с. Следовательно, для выбора начального положения ротора  $\text{th}(\text{deg})$  следует обращать внимание на требования, предъявляемые к механизмам электропривода, в которых применяется СД.

**Влияние на синхронный пуск СД при изменении параметров источника питания.** Исследуем синхронный пуск СД при различных значениях напряжения и частоты источника питания. В ходе исследования было промоделировано несколько вариантов синхронного пуска в диапазоне частот от 5 до 25 Гц. При этом соблюдалось условие, что при номинальном моменте сопротивления статорный ток должен соответствовать номинальному значению, равному  $I_s = 30$  А. Момент сопротивления на валу двигателя аналогичен закону изменения предыдущих исследований.

Как следует из теории [4, 5], с увеличением частоты источника питания, но сохранения тока, необходимо увеличить напряжение, подводимое к статорной обмотке. В исследуемом диапазоне частот подводимое напряжение менялось в пределах от 110 до 270 В.

На рис. 4 представлен график связывающий напряжение и частоту, при которых обеспечивается синхронный пуск СД с заданным моментом сопротивления.

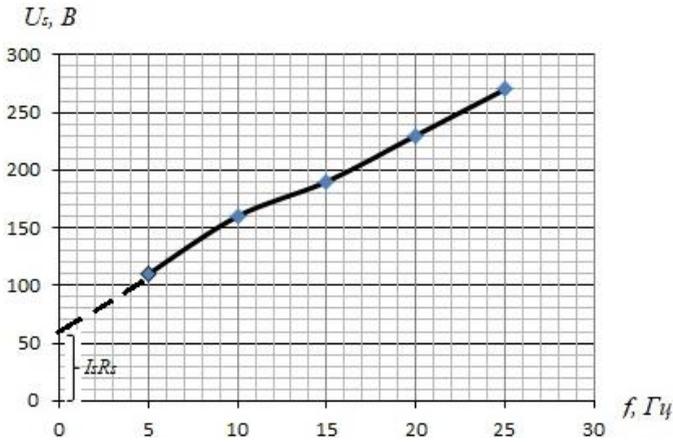


Рис. 4. Синхронный пуск синхронного двигателя при изменении напряжения и частоты

Исходя из результатов, представленных на рис. 4, следует, что синхронный пуск исследуемого СД можно осуществить до частоты порядка 25 Гц при половинном моменте сопротивления в процессе пуска.

#### **Заключение:**

1. Выбор начального положения ротора  $\theta$ (deg) при синхронном пуске в основном зависит от предъявляемых требований в техническом задании.

2. Синхронный пуск СД можно осуществить до частоты порядка 25 Гц, но при этом необходимо увеличивать напряжение не пропорционально частоте.

#### **Библиографический список**

1. Жужгов Н.В., Вилисов Н.Н., Ключников А.Т. Влияние частоты питающей сети на угол нагрузки синхронного двигателя // Автоматизированные системы управления и информационные технологии: материалы всерос. науч.-техн. конф. (г. Пермь, 30–31 мая 2019 г.): в 2 т. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2019. – Т. 1. – С. 40–45.

2. Цилиндрический линейный вентильный электродвигатель для погружного бесштангового насоса / А.Т. Ключников, А.Д. Коротаев, Н.В. Шулаков, С.В. Шутемов // Автоматизация в электроэнергетике

и электротехнике: материалы I Междунар. науч.-техн. конф. (г. Пермь, 24–25 сентября 2015 г.). – Пермь: Изд-во Перм. нац. ис- след. политехн. ун-та, 2015. – С. 158–162.

3. Макаров И.М., Менский Б.М. Линейные автоматические системы (элементы теории, методы расчета и справочный материал). – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1982. – 504 с.

4. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: учебник для студентов высш. учеб. заведе- ния. – М.: Академия, 2006. – 272 с.

5. Влияние активного сопротивления в частотно-управляемом ЦЛВД / Д.А. Чирков, А.Т. Ключников, А.Д. Коротаев, Э.О. Тимашев // Автоматизированные системы управления и информационные техно- логии: материалы всерос. науч.-техн. конф. (г. Пермь, 17 мая 2018 г.): в 2 т. – Пермь: Изд-во Перм. нац. ис- след. политехн. ун-та, 2018. – Т. 2. – С. 133–138.

#### **Сведения об авторах**

**Жужгов Никита Васильевич** – аспирант Пермского националь- ного исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: heinekt95@gmail.com

**Шутемов Сергей Владимирович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электротехника и электромеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: shutemsv@yandex.ru

#### **About the authors**

**Zhuzhgov Nikita Vasilievich** – Graduate Student of the Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: heinekt95@gmail.com

**Shutemov Sergey Vladimirovich** – Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electrical Engineering and Electromechanics Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: shutemsv@yandex.ru

## АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

**П.Ю. Худяков, Р.Р. Бикиев**

Технический университет УГМК, Верхняя Пышма

В данной работе рассматривается система автоматического контроля перемещения заготовок и оцинкованной продукции. Реализация системы обеспечит контроль технологического процесса горячего цинкования металла, повысит качество готовой продукции и увеличит производительность процесса. Для решения рассматриваемой задачи в первую очередь необходимо рассмотреть вопрос прослеживаемости производственного процесса.

**Ключевые слова:** прослеживаемость; контроль; радиочастотная идентификация; увеличение выпускаемой продукции.

## AUTOMATIC CONTROL OF PRODUCT MOVEMENT

**P.Yu. Khudakov, R.R. Bikiev**

UMMC Technical University, Verkhnyaya Pyshma

In this paper we consider a system of automatic control over the movement of billets and galvanized products. The implementation of the system will provide control of the technological process of hot-dip galvanizing of metal, improve the quality of finished products and increase the productivity of the process. For the solution of the considered problem first of all it is necessary to consider the question of traceability of production process.

**Keywords:** traceability; control; radio frequency identification; increased output.

Четвертая промышленная революция, более известная как «Индустрия 4.0», требует интеграции киберфизических систем в заводские процессы, в результате чего значительная часть производства будет проходить без участия человека. Производство без человека возможно, но не в данное время, а пока необходимо внедрять системы автоматизации, информационно-коммуникационные технологии, аналитические системы и повышать уровень мобильности. В качестве примера можем обратить внимание на автомобильную промышленность. Тенденция иметь способность отслеживать и собирать данные по деталям и сборке из них узлов и агрегатов на протяжении всего процесса производства на предприятии. Детали обычно маркируются двумерным матричным штрихкодом (или QR-кодом), представляю-

щим собой черно-белые элементы или элементы двух степеней яркости, обычно в форме квадрата. А сборки, размещенные на поддонах или платформах, отслеживаются с помощью меток радиочастотной идентификации RFID.

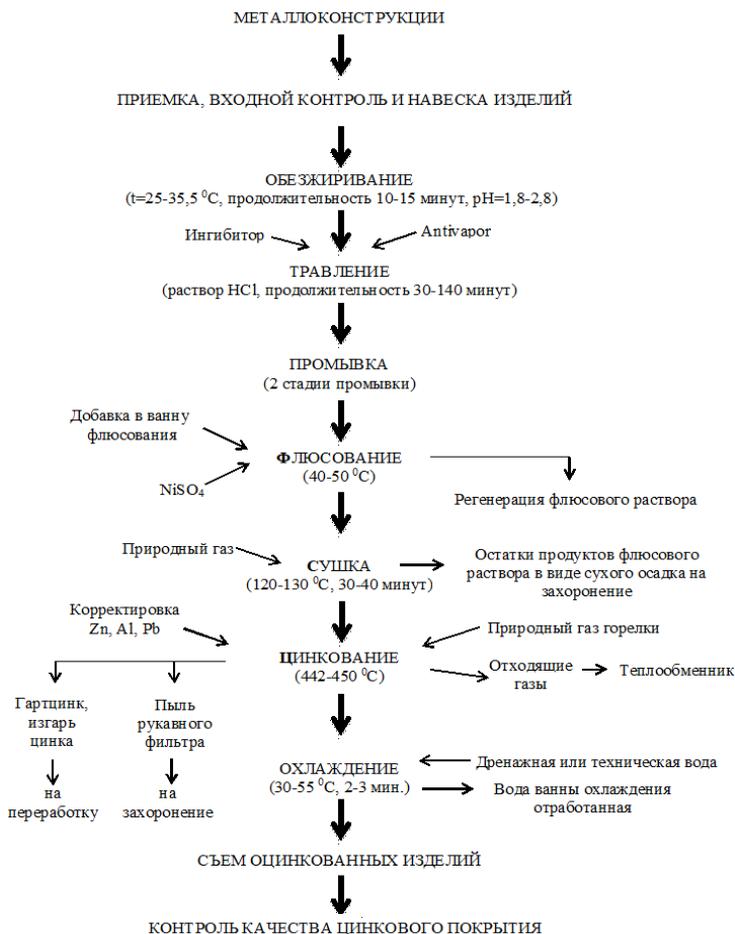


Рис. 1. Схема технологического процесса

В настоящее время процесс горячего цинкования отличается высокой трудоемкостью, слабым контролем параметров, низким уровнем автоматизации, отсутствием возможности аналитического контроля за каждым технологическим переделом производства.

Основная цель – модернизация производственных мощностей, оптимизация процесса и логистических потоков, которые являются необходимым условием для ритмичной и бесперебойной работы, исключающей простои и рост издержек на производстве.

Рассмотрим технологический процесс горячего цинкования металлических изделий, который представлен ниже (рис. 1).

Каждый процесс выполняется согласно технологической инструкции и под контролем технологического персонала.

Изделия (партии изделий) от заказчика поступают железнодорожным и автомобильным транспортом, их разгружают на прирельсовом и/или придорожном складе на обозначенные места.

Повышение производительности труда и одновременное снижение затрат, конкурентоспособность в рамках внутреннего рынка требует рационализации всех аспектов производственной деятельности в том числе – усовершенствование систем и отдельных методов контроля, анализа и управления. Основные задачи могут быть достигнуты за счет постоянного выполнения аналитического контроля работы технологических переделов подразделения, модернизации производства и повышения конкурентоспособности выпускаемой продукции.

К такому контролю относятся:

- контроль и корректировка технологических параметров производства;
- учет и контроль производственных участков по объему выполняемой работы;
- учет и контроль времени технологических операций на всех производственных участках;
- учет, контроль и планирование расходования товарно-материальными ценностями в зависимости от объемов выпускаемой продукции;
- учет времени технологических простоев производства;
- анализ производственных резервов.

Аналитика технологических процессов и параметров работы является неотъемлемой частью развития производства. Таким образом, актуальность заключается в том, что проблемы, возникающие на предприятиях в новых рыночных условиях, не представляется возможным решать без современных методов анализа и контроля технологических процессов. Цель данной работы заключается в системати-

зации производственных процессов технологии горячего цинкования, которая представляет собой совокупность способов и приемов аналитического контроля за основными технологическими параметрами процесса.

В рамках развития технологии горячего цинкования, оптимизации основных процессов и сбора аналитических данных по различным контролируемым параметрам и показателям, для сокращения трудоемких операций, связанных с повторными составлениями отчетной документации в рукописном виде, предлагается внедрить систему для управления производственными процессами. Ниже представлена структурная схема разрабатываемой системы (рис. 2).

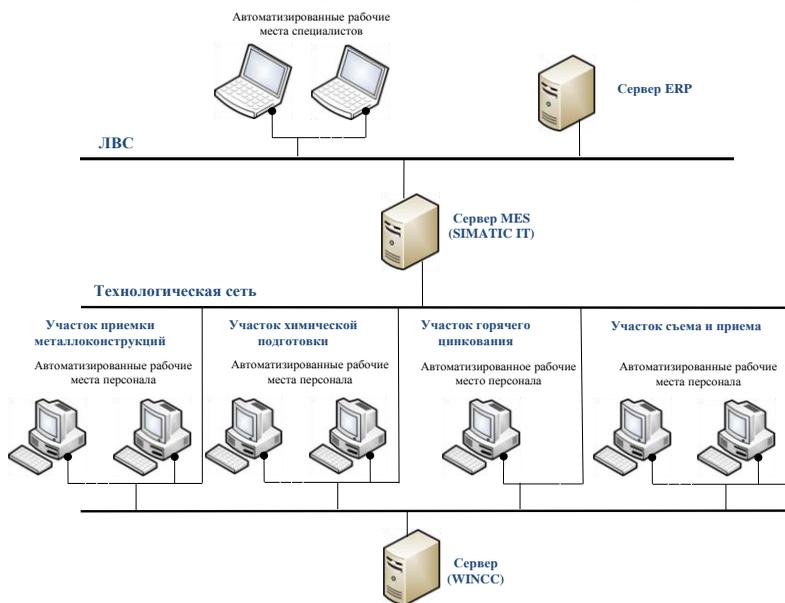


Рис. 2. Структурная схема системы

Компания Siemens ведущий мировой производитель систем управления автоматизированным и автоматическим производством предлагает полный набор продуктов и решений системы управления производственными процессами (MES), системы позиционирования в режиме реального времени (RTLS), радио (RFID) и оптической (OID) идентификации [1].

Продукты компании Siemens в качестве MES-системы – Simatic IT и промышленной системы идентификации – Simatic Ident. Решение содержит стандартный конфигурируемый функционал для дискретных и непрерывных производств с возможностью адаптации под специфические требования предприятия, который поможет получить прозрачность и управляемость производством. Полная интеграция Simatic Ident в систему АСУТП позволит обеспечить прослеживаемость, охватывающую все производственные процессы и операции, собирать и обрабатывать данные о текущем технологическом процессе и передавать информацию на автоматизированные рабочие места технологического персонала [2].

Данные системы направлены на выполнение комплексного мониторинга производства и аналитического контроля за технологическими параметрами работы всех производственных участков. Существенно повысится производительность труда персонала, увеличится информативность, оперативность, а самое главное – увеличится объем реализации готовой продукции и повлияет на увеличение конечной прибыли.

Внедрение систем решат такие проблемы как:

- прослеживаемость производственных процессов;
- снижение простоев производства;
- исключают ручную обработку данных;
- предоставление данных в реальном времени;
- улучшение качества и увеличение выпускаемой продукции.

### **Библиографический список**

1. Siemens AG (Сименс АГ). Система позиционирования SIMATIC RTLS [Электронный ресурс]. – URL: <https://new.siemens.com/ru/ru/produkty/avtomatizacia/promyshlennaya-identifikaciya/simatic-rtls1.html> (дата обращения: 25.11.2020).

2. Siemens AG (Сименс АГ). APS – системы синхронного планирования производств [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.tadviser.ru/index.php/Продукт:Simatic\\_IT\\_Preactor](http://www.tadviser.ru/index.php/Продукт:Simatic_IT_Preactor) (дата обращения: 25.11.2020).

3. ГОСТ Р 7.0.5-2008. СИБИД. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200063713> (дата обращения: 25.11.2020).

### **Сведения об авторах**

**Худяков Павел Юрьевич** – кандидат физико-математических наук, заведующий кафедрой «Механика и автоматизация технологических процессов и производств» Технического университета УГМК, Верхняя Пышма, e-mail: p.hudyakov@tu-ugmk.com

**Бикиев Радис Рифович** – магистрант Технического университета УГМК, Верхняя Пышма, e-mail: paguc19@bk.ru

### **About the authors**

**Khudakov Pavel Yurievich** – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, head of the Department of Mechanics and automation of technological processes and production UMMC Technical University, Verkhnyaya Pyshma, e-mail: p.hudyakov@tu-ugmk.com

**Bikiev Radis Rifovich** – Student UMMC Technical University, Verkhnyaya Pyshma, e-mail: paguc19@bk.ru

## **МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ШТАНГОВОГО ГЛУБИННОГО НАСОСА НА ОСНОВЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА СПЕКТРА ВИБРАЦИИ**

**А.Е. Останина, А.А. Широков**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

В данной статье представлена структура системы сбора информации для организации технической диагностики, основанной на интеллектуальном анализе спектра вибрации.

**Ключевые слова:** техническая диагностика; штанговый глубинный насос; вибродиагностика; система сбора информации.

## **METHOD TECHNICAL DIAGNOSTICS OF A ROD PUMP BASED ON INTELLECTUAL ANALYSIS OF THE VIBRATION SPECTRUM**

**A.E. Ostanina, A.A. Shirokov**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

This article presents the structure of the information collection system for the organization of technical diagnostics based on the intelligent analysis of the vibration spectrum.

**Keywords:** technical diagnostics; sucker rod pump; vibration diagnostics; information collection system.

Правильно организованная работа с потоками информации при проведении процедур технической диагностики способствует повышению эффективности эксплуатации нефтегазового оборудования, а именно штангового глубинного насоса.

Для работы с такими информационными потоками необходимо разработать оптимальную методику, включающую в себя все необходимые для диагностики этапы.

Опишем алгоритм работы с информацией при проведении процедуры технической диагностики штанговой глубинной насосной установки (ШГНУ) (рис. 1).

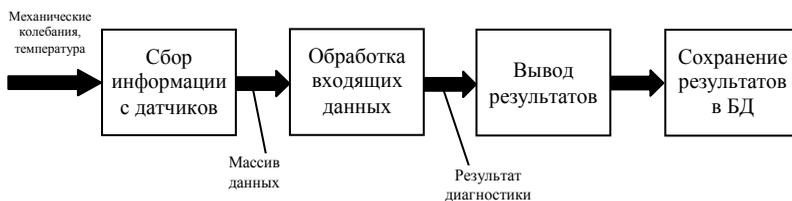


Рис. 1. Работа с информацией при проведении технической диагностики

**Сбор информации с датчиков.** Сбор информации с вибродатчиков осуществляется в определённых точках насосного оборудования (на каждой подшипниковой опоре). Вертикальная составляющая вибрации измеряется на верхней части крышки подшипника над серединой длины его вкладыша. Горизонтально – поперечная и горизонтально – осевая составляющие вибрации измеряются на уровне оси вала насоса против середины длины опорного вкладыша. Вибрация всех элементов крепления насоса к фундаменту измеряется и контролируется в вертикальном направлении [1]. Также на каждой подшипниковой опоре устанавливаются датчики температуры, так как повышение температуры в совокупности с изменением вибрационных характеристик, а именно СКЗ виброскорости, могут выявить дефект системы раньше (таблица).

#### Характеристики информационных потоков

Место крепления	Характер данных	Диапазоны изменения	Аварийное значение	Частота съёма данных
Подшипниковые опоры	СКЗ виброскорости в трёх взаимноперпендикулярных направлениях	0...50 мм/с	4,5 мм/с	В режиме реального времени
Лапы корпуса насоса	СКЗ виброскорости в вертикальном направлении	0...50 мм/с	1,8 мм/с	В режиме реального времени
Подшипниковые опоры	Температура	0...150°C	70°C, а также повышение температуры более чем на 5°C за 10 мин	В режиме реального времени

Аппаратно для сбора информации с датчиков на кусте скважин должен быть установлен шкаф измерительного оборудования с контроллером RTU (Remote Terminal Unit – удаленное оконечное устройство). Благодаря этому контроллеру реализуется сбор данных, а также, при необходимости, аварийное отключение насосных агрега-

тов. Данные от датчиков передаются по протоколу Modbus/Ethernet. Связь между контроллером и пунктом обработки и хранения информации осуществляется посредством радиомодема [2].

Для удобства дальнейшей обработки данные с контроллера должны поступать в пункт обработки в цифровом виде.

**Обработка входящих данных.** Данные поступают в пункт обработки в цифровом виде. Далее специально установленное на АРМы сотрудников ЦДНГ программное обеспечение, включающее в себя обученную на распознавание дефектов нейронную сеть, обрабатывает информацию. Обучающая выборка для нейронной сети представляет собой базу данных прецедентов, хранящуюся на сервере БД ЦДНГ.

Каждый дефект несёт в себе свой уникальный спектр вибрации. Если этот дефект распознаётся нейронной сетью, следовательно, он существует в базе данных прецедентов и однозначно классифицируется. Если же дефект существует, но не распознаётся, инженер-технолог делает вывод о существовании нового вида дефекта и сохраняет его в базе данных. Нейронная сеть обучается заново [2].

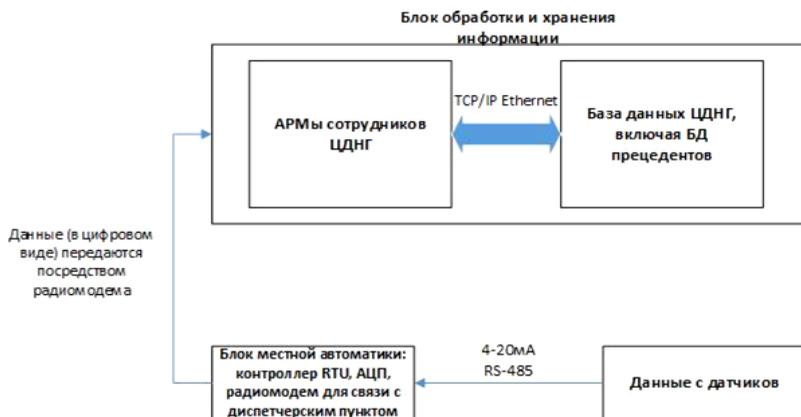


Рис. 2. Передача данных в ходе проведения технической диагностики

**Вывод результатов.** Результаты диагностики выводятся на экран ПК. Доступ к диагностическим данным имеет каждый сотрудник предприятия. Согласно полученным после обработки данным, составляется план ремонтных работ или делается вывод о целесообразности вывода агрегата из работы.

**Сохранение результатов в БД.** Результаты диагностики, а также принятые с датчиков данные сохраняются в БД ЦДНГ автоматически. Хранение этих данных позволит на основе аппроксимации прогнозировать время ремонтов и приблизительное время выхода агрегата из строя. Структура БД ЦДНГ представлена на рис. 3.

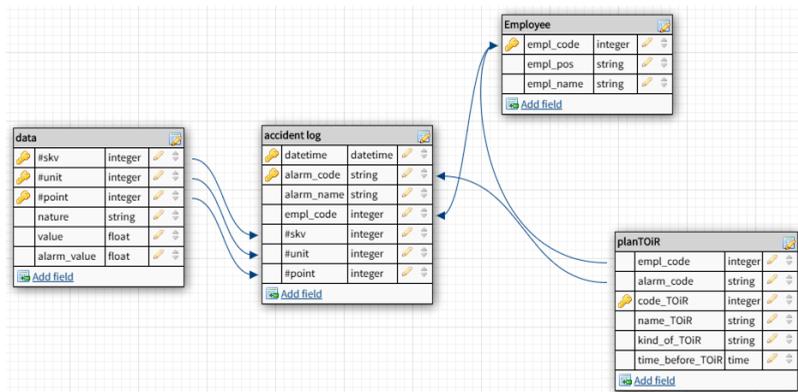


Рис. 3. Структура базы данных ЦДНГ для проведения процедур технической диагностики

Приведённая в данной работе методика работы с информационными потоками позволяет повысить эффективность процедур технической диагностики штангового глубинного насоса, в первую очередь за счёт интеллектуального анализа больших массивов данных.

### Библиографический список

1. РД 08.00-60.30.00-КТН-016-1-05. Руководство по техническому обслуживанию и ремонту оборудования и сооружений нефтеперекачивающих станций.
2. Останина А.Е., Широков А.А. Организация технической диагностики штангового глубинного насоса на основе интеллектуального анализа спектра вибрации // Материалы всероссийской научно-технической конференции АСУИТ-2020. – 2020 с.
3. Останина А.Е., Широков А.А. Вибрационная диагностика штангового глубинного насоса с применением искусственных нейронных сетей // Материалы XI Междунар. интернет-конф. молодых ученых, аспирантов, студентов (InnoTech-2019). – 2020. – С. 66–70.

### **Сведения об авторах**

**Останина Анна Евгеньевна** – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: ostanina610@gmail.com.

**Широков Александр Аркадьевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Микропроцессорные средства автоматизации» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: shirokov@pstu.ru.

### **About the authors**

**Ostanina Anna Evgenievna** – Master's Student of the Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: ostanina610@gmail.com

**Shirokov Alexander Arkadievich** – Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Microprocessor Automation Means of the Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: shirokov@pstu.ru

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ В МЕХАТРОННЫХ УСТРОЙСТВАХ

**А.С. Шилоносов, Ф.Е. Гиндис,  
С.В. Шутемов, Б.В. Кавалеров**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

В данной статье рассматривается опыт использования линейных электрических двигателей в мехатронных устройствах и робототехнике. Исследование этой информации помогло подтвердить возможность замены электропривода традиционного вращательного действия на линейный электропривод. Этот электропривод намечен для использования в устройстве обработки поверхностей робототехнического комплекса. Предлагаемая структура этого устройства представлена в статье. Представленные в статье результаты являются частью научно-исследовательских работ, проводимых студентами на кафедре электротехники и электромеханики.

**Ключевые слова:** линейный электродвигатель; робот; мехатронная система; синхронный двигатель; асинхронный двигатель; линейный асинхронный двигатель; линейный шаговый двигатель; привод

## USE OF LINEAR ELECTRIC MOTORS IN MECHATRONIC DEVICES

**A.S. Shilonosov, F.E. Gindis, S.V. Shutemov, B.V. Kavalеров**  
Perm National Research Polytechnic University, Perm

This article discusses the experience of using linear electric motors in mechatronic devices and robotics. The study of this information helped to confirm the possibility of replacing the traditional rotary electric drive with a linear electric drive. This electric drive is intended for use in the surface treatment of a robotic complex. The proposed structure of this device is presented in the article. The results presented in the article are part of the research work carried out by students at the Department of electrical engineering and electromechanics.

**Keywords:** linear electric motor; robot; mechatronic system; synchronous motor; asynchronous motor; linear asynchronous motor; linear stepper motor; drive.

В настоящее время в нашей стране и за рубежом большое внимание уделяется использованию линейных электродвигателей в мехатронных устройствах и в робототехнических комплексах. В частности, на кафедре электротехники и электромеханики ПНИПУ проводятся

научно-исследовательские работы по созданию линейных электроприводов для робототехнического комплекса. Материалы настоящей статьи подготовлены при выполнении данных исследований. Преимущества использования линейных электродвигателей возвратно-поступательного движения хорошо известны. В сравнении с традиционными электродвигателями вращательного действия сокращаются затраты на передаточные механизмы, а следовательно, снижается стоимость изделий и повышается их надежность.

На протяжении многих лет человечество живет, используя механические устройства. Без них мы бы не смогли существовать и в принципе двигаться вперед. Ведь большей частью не создаются новые электротехнические устройства, а совершенствуются те, которые мы имеем сегодня. Безусловно, это касается и линейных электродвигателей. В данной статье мы представили материалы об использовании линейных электродвигателей в различных мехатронных устройствах. Можно не сомневаться, что развитие этой сферы в электротехнике в скором времени приведет человечество к новым открытиям. Рассмотрим, как используют линейные электродвигатели в мехатронных устройствах, а затем сделаем выводы о применимости этих методов и технологий для решения поставленной в проводимых научных исследованиях задачи. Кратко представим описание станка, для которого выбирается и проектируется линейный электродвигатель.

Примеры использования линейных электрических двигателей в различных мехатронных устройствах. Рассмотрим механизм работы линейного электродвигателя мехатронного токарного модуля [1].

Данные модули распространены в токарном оборудовании. Какой линейный двигатель используется? В мехатронном модуле применяется линейный двигатель магнитоэлектрического типа. Такой модуль эксплуатируется в качестве привода перемещения резца для обработки сложных профилей вращения. Как работает модуль? Мехатронный токарный модуль выполняет сложную задачу – обеспечение подачи резца одновременно с вращением заготовки, поэтому станок выполняет сразу три технологических операций, выполняя чистовую обработку поршня по замкнутому циклу: производство бочки поршня в аксиальном направлении; создание эллипса поршня в диаметральном направлении; создание каналов под проектировку поршневых колец модуля. Управление линейного модуля осуществляется на основании математической модели в программной среде MatLab [1].

Рассмотрим магнитоэлектрический линейный двигатель мехатронного модуля осей подачи [2].

Применяется он в производстве металлорежущих станков, в роботах и в технических машинах. Используется линейный двигатель магнитоэлектрического типа. Что он делает? Выполняет перемещение резца под углом  $90^\circ$  оси вращения поршня. Управление осуществляется с помощью мгновенно действующих цифровых систем электрического привода и систем числового автоматического регулирования, а также с помощью комплексной базы знаний интегрирования линейных двигателей подачи [2].

Рассмотрим (рис. 1) робот, работающий на основе линейного шагового двигателя с магнитовоздушным подвесом с одним и двумя индукторами [3].

Используется при выполнении сложных функций в организации сборочного производства. Применяется линейный шаговый двигатель с магнитовоздушным подвесом с одним и двумя индукторами. Что он делает? На нижнем ярусе плиты зафиксированы сборочные детали и питатели, в кассетах которых находятся устанавливаемые детали. Верхний ярус плиты стандартизирован ЛШД (линейный шаговый двигатель). По нему передвигаются на магнитовоздушной подушке в горизонтальном направлении два ИМ (исполнительных механизма), на индукторах находятся двигатели вертикального хода со схватами, которые фиксируют детали в питателях и устанавливают их на изделия [3].

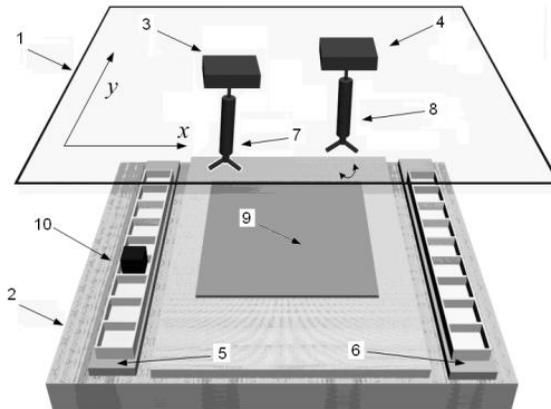


Рис. 1. Как выглядит двухиндукторный робот [3]

Рассмотрим мехатронный модуль линейного перемещения с пневматическим приводом [4]. Пневматический привод может рассматриваться как альтернатива электроприводу.

Применяется широко и успешно в промышленности. Что он делает? Для того чтобы изменить шток с исходными условиями, пневматический привод определяет местоположение этого штока. Тормозное действие привода осуществляется за счет электромагнитного тормозного устройства. Системы управления приводом создано на базе модулей RealLab, а моделирование работы привода проведено в системе MatLab [4].

Рассмотрим устройства, которые обрабатывают металл с помощью вращательных передвижений, и саморегулирующие технические средства мехатронных модулей линейных перемещений [5].

Применяется при производстве на металлообрабатывающих станках. Используются мехатронные модули линейных и вращательных перемещений металлообрабатывающих станков. Что он делает? Человек может воспользоваться обновленными станочными узлами привода без его непосредственного вмешательства, так как устройство выполнит работу за человека для режущих материалов и оборудования на базе интеграции средств прецизионной механики, электроники, электротехники [5].

Рассмотрим электропривод с линейными двигателями по [6]. Применяется для конструкторов рабочих машин и производства транспортных средств. Используется линейный асинхронный двигатель. Что он делает? Принцип работы. Возьмем в заданной плоскости статор электрического двигателя переменного тока. Важное условие, что магнитные силы статора будут передвигаться параллельно плоскости статора, имеется в виду, что появятся не крутящееся, а быстро перемещающееся ЭМП (электромагнитное поле) статора. Добавочная часть – это ферромагнитная полоса, находящаяся с малым воздушным зазором вдоль плоскости статора. Полоса – это важный момент КЗ (короткозамкнутого) ротора. Добавочная часть следует с движущимся полем статора и передвигается со малой скоростью, по сравнению перемещения поля статора на линейное абсолютное скольжение [6].

Обратим также внимание на управляемую электромеханическую систему с линейными электродвигателями [7]. Она функционально очень близка устройству, которое нами проектируется, и будет рассмотрено в следующей части нашей статьи.

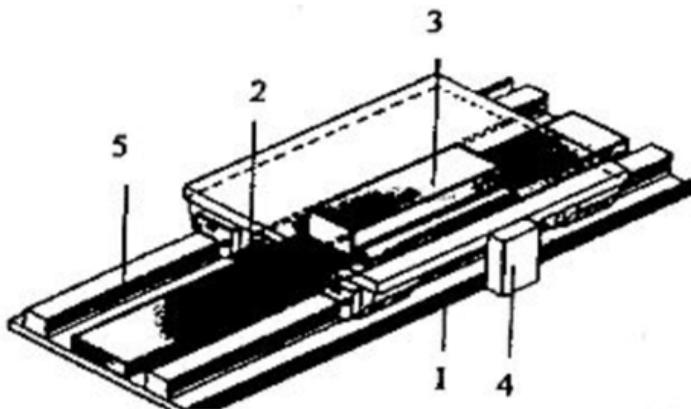


Рис. 2. Конструкция линейного однокоординатного устройства, преобразующего энергию в механическую работу [6]

Данная система [7] используется в изготовлении элементов подъемно-транспортных машин, механизмов подачи станков, которые обрабатывают металл, для молотов, для кузнечных прессов. Как известно инженерам, линейные двигатели могут быть разного вида, это – двигатели постоянного тока, асинхронные и синхронные.

Магнитное поле, перемещающееся вдоль зазора, пересекает проводники обмотки 2-го вторичного элемента и индуцирует в них ЭДС, под действием которой по обмотке начнут проходить токи. Токи начнут проходить как раз за счет созданного ЭДС. Появляется сила, из-за взаимного действия проходящих токов, имеющая воздействие на вторичный элемент по закону Э.Х. Ленца в направлении передвижения магнитного поля. Вторичный элемент под действием этой силы начнет перемещаться со скольжением по отношению к магнитному полю, как и в обычном АД (асинхронный двигатель).

Показанная на рис. 3, б, конструкция представляет собой ЛАД (линейный асинхронный двигатель) с односторонним статором и вторичным элементом одного с ним размера. В зависимости от назначения ЛАД его вторичный элемент может быть длиннее статора или короче его. В первом случае ЛАД получили название двигателей с коротким статором, а во втором случае – с коротким вторичным элементом.

Вторичный элемент ЛАД не всегда снабжается обмоткой. Часто (и в этом одно из больших достоинств ЛАД) в качестве вторичного элемента используется лист, полоса или рельс, выполненные из ста-

ли, меди или алюминия. Такой вторичный элемент может устанавливаться между двумя статорами (ЛАД с двусторонним статором) или между статором и ферромагнитным сердечником (ЛАД с односторонним статором и сердечником). Линейный двигатель со вторичным элементом в виде полосы аналогичен обычному АД с массивным ферромагнитным ротором. Плюс обмотки статора ЛАД имеют те же самые соединения, что и обычные АД, и подключаются к сети трехфазного переменного тока [7].

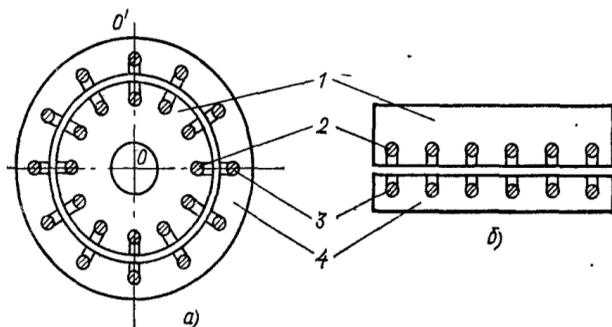


Рис. 3. Конструктивная схема электропривода с линейными электродвигателями [7]

Рассмотренные варианты использования линейных электродвигателей позволили сделать вывод о том, что и для разрабатываемого устройства обработки поверхностей также может подойти подобный электрический двигатель. Рассмотрим возможный вариант конструкции такого устройства.

**4. Использование линейного электродвигателя для робототехнического комплекса по созданию функциональных материалов с новыми свойствами.** В настоящее время кафедра электротехники и электромеханики выполняет научно-исследовательскую работу по разработке и созданию линейного электродвигателя для робототехнического комплекса. Этот робототехнический комплекс служит для обработки поверхностей различных изделий с целью придания им необходимых свойств. Традиционно такие станки строятся с использованием электродвигателей вращательного действия. Но кафедра электротехники и электромеханики имеет богатый опыт создания линейных электродвигателей различного назначения. Например, в рамках постановления Правительства № 218 был разработан

и создан опытный образец линейного двигателя для выкачивания нефти. Для этого двигателя была разработана система управления. Создан испытательный стенд.

Поэтому, имея такой задел, на кафедре в настоящее время разрабатывается линейный электропривод для робототехнического комплекса в рамках государственного задания.

Именно с этой целью и был предпринят поиск по литературным источникам различных вариантов реализации линейного электропривода для мехатронных устройств различного назначения [1–7]. В первой части настоящей статьи эти материалы были представлены.

С использованием этих материалов произведена разработка структурной схемы для нового электропривода, используемого в устройстве доводки плоскостей робототехнического комплекса (рис. 4).

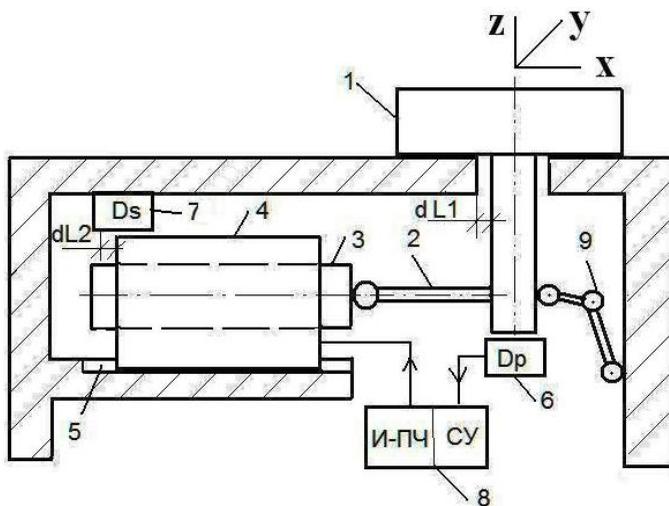


Рис. 4. Устройство для доводки плоскостей

На рис. 4 обозначено: 1 – притир, 2 – толкатель, 3 – ротор линейного двигателя (4) возвратно-поступательного движения по оси X, паз 5 станины станка, корпус 4 линейного двигателя, датчики  $D_p$  6 и  $D_s$  7, системы управления (СУ) инвертора 8, питающего статор линейного двигателя 4. По оси Y в перпендикулярном направлении второй линейный двигатель, связанный через второй толкатель 2, с ротором  $3_y$  второго линейного двигателя 4, возвратно-поступательного

движения по оси  $Y$ , паз  $5_y$  станины станка, корпус  $4$ , второго линейного двигателя, датчики  $Dp$   $6_y$  и  $Ds$   $7_y$ , два инвертора  $8$ , два электродвигателя  $4$ , пантограф  $9$ .

Амплитуды  $dL1$  и  $dL2$  перемещения притира  $1$  и корпуса  $4$  линейного двигателя измеряются соответственно датчиками  $Dp$  и  $Ds$ , сигналы которых обрабатываются по программе системы управления СУ инвертора  $8$ , питающего статор линейного двигателя  $4$ .

Представленная на рис. 4 конструкция устройства с линейными электродвигателями может быть рекомендована к разработке, поскольку в настоящее время, как об этом свидетельствуют многочисленные публикации [1–7], все более широко применяется линейный электропривод для различных устройств и систем.

Задачей новой конструкции (см. рис. 4) является упрощение механической системы передачи энергии за счёт использования двух линейных электродвигателей возвратно-поступательного движения с питанием соответственно от двух инверторов с регулируемой частотой, с регулируемой амплитудой колебаний притира.

Новая конструкция создана следующим образом. Она получается, если взять за основу традиционное устройство, содержащее дисковый притир  $1$ , приводимый за счёт планетарной передачи и двух вращающихся электродвигателей, и в новом устройстве притир  $1$  жёстко связать через толкатель  $2$  с ротором  $3$  линейного электродвигателя  $4$  возвратно-поступательного движения, статор которого двигается по продольной оси  $X$  в пазу  $5$ . При этом притир и корпус двигателя  $4$  двигаются в противоположных направлениях ( $dL1$ ,  $dL2$ ), измеряемых датчиками  $Dp$   $6$  и  $Ds$   $7$ , сигналы которых обрабатываются в СУ инвертора  $8$ , питающего статор линейного двигателя  $4$ .

**Заключение.** В заключении можно сказать, что в статье были исследованы различные варианты использования линейного электродвигателя. Собраны данные о разновидностях линейных двигателей. Рассмотрены способы применения линейных двигателей в роботах и мехатронных системах.

Изучив рассмотренную литературу отечественных и зарубежных авторов, а также патенты и технические материалы различных проектных организаций, можно сделать вывод о том, что линейный дви-

гатель на сегодняшний день является перспективным звеном в робототехнике и мехатронных системах ввиду большой потребности в линейно-поступательном движении.

Этот вывод помог обосновать схему замены традиционного электродвигателя вращательного действия на линейный электропривод в устройстве доводки плоскостей (см. рис. 4) для робототехнического комплекса, над созданием которого в настоящее время работают преподаватели, сотрудники и студенты кафедры электротехники и электромеханики Пермского национального исследовательского политехнического университета.

*Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ по государственному заданию FSNM-2020-0028.*

### **Библиографический список**

1. Бочкарев А., Бородин О., Петунин Ю. Линейный электродвигатель мехатронного токарного модуля // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2015. – № 4. – С. 51–57.
2. Бочкарев А., Петунин Ю. Магнитоэлектрический линейный двигатель мехатронного модуля осей подачи // Инновационная наука. – 2016. – № 2. – С. 16–19.
3. Готлиб Б.М., Вакалюк А.А. Введение в специальность «Мехатроника и робототехника»: курс лекций / Уральский государственный университет путей сообщения. – Екатеринбург, 2012. – 134 с.
4. Подураев Ю.В. Мехатроника: основы, методы, применение: учеб, пособие для студентов вузов. – М., 2006. – 256 с.
5. Naveen Kuppuswamy<sup>1</sup>, Hugo Gravato Marques, Helmut Hauser<sup>1</sup>. Synthesising a Motor-Primitive Inspired Control Architecture for Redundant Compliant Robots // Mechanical and Process Engineering. – 2012. – № 7. – С. 96–97.
6. Бочкарев А.В. Система линейного прецизионного электропривода малых перемещений: дис. ... канд. техн. наук: 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника: утв. 01.07.17. – М., 2017. – 150 с.
7. Школа для электрика: электропривод с линейными двигателями, 2014 [Электронный ресурс]. – URL: <http://electricalschool.info> (дата обращения: 01.12.20).

## Сведения об авторах

**Шилоносков Артем Сергеевич** – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: artemshilik@yandex.ru

**Гиндис Феликс Евгеньевич** – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: mge1999@yandex.ru

**Шутемов Сергей Владимирович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электротехника и электромеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: shutemovsv@mail.ru

**Кавалеров Борис Владимирович** – доктор технических наук, заведующий кафедрой «Электротехника и электромеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: kbv@pstu.ru

## About the authors

**Shilonosov Artem Sergeevich** – Student Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: artemshilik@yandex.ru

**Gindis Felix Evgenievich** – Student Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: mge1999@yandex.ru

**Shutemov Sergey Vladimirovich** – Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electrical Engineering and Electromechanics Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: shutemovsv@mail.ru

**Kavalerov Boris Vladimirovich** – Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Electrical Engineering and Electromechanics Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: kbv@pstu.ru

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ИЗМЕРЕНИЯ ГЛУБИНЫ СКВАЖИН**

**Э.А. Азмамбетова**

Российский государственный геологоразведочный  
университет им. Серго Орджоникидзе (МГРИ), Москва

На сегодняшний день проблема погрешностей в определении глубины всех видов скважин, обусловленных спускоподъемными операциями популярна на буровых установках. Из-за спускоподъемных операций происходят некоторые деформации труб, приводящие их к удлинению. В связи с этим хотелось бы предложить новый, эффективный и экономически выгодный метод исключения всех видов погрешностей.

**Ключевые слова:** погрешность; глубина; автоматизация; скважины; буровая установка.

## **AUTOMATING THE PROCESS OF MEASURING THE DEPTH OF WELLS**

**E.A. Azmambetova**

Sergo Ordzhonikidze Russian State University  
for geological prospecting, Moscow

Today, the problem of errors in determining the depth of all types of wells caused by start-up operations is popular on drilling rigs. Due to the descent operations, some deformations of the pipes occur, leading to their elongation. In this regard, we would like to offer a new, efficient and cost-effective method for eliminating all types of errors.

**Keywords:** error; depth; automation; wells; drilling rig.

На сегодняшний день проблема погрешностей в определении глубины всех видов скважин, обусловленных спускоподъемными операциями, распространена на буровых установках. Проблема заключается в том, что персонал не делает повторные замеры после каждой спускоподъемной операции. Вследствие чего возникают большие погрешности, которые могут очень дорого стоить. Поэтому задачей проекта является устранение погрешностей в определе-

нии глубины всех видов скважин, обусловленных спускоподъемными операциями, путём автоматизации процесса измерения глубины скважин.

Для решения данной проблемы крупные игроки рынка систем автоматизации уже задумываются о путях решения данной проблемы и внедряют новые технологии для улучшения старых процессов. Распространенными технологиями измерения глубины скважин являются:

- известен способ определения глубины скважины, выполняемый без использования каротажного кабеля или бурового инструмента [1];
- известен способ измерения глубины скважины, который состоит в том, что в скважину на каротажном кабеле спускают геофизический прибор [2].

Учитывая актуальность использования наклонно направленных скважин в силу того, что они по производительности значительно превосходят вертикальные скважины [3], существует необходимость в применении методов, позволяющих повысить точность измерений вертикальной глубины и длины пути при геофизических исследованиях скважин.

Предлагается создать универсальную систему, состоящую из лазерного измерителя и программного обеспечения. Технически решение представляет собой хост-программу и приборную часть. Приборных частей может быть сколько угодно: это лазерное измерительное оборудование, способное отправлять сигнал на сервер с помощью bluetooth или иметь возможность выгрузки ряда замеров. Хост-программа состоит из приложения и базы данных. В базе данных хранятся все замеры, приложение же позволяет, как записывать данные в базу, так и оперировать с имеющимися.

Данное решение позволяет не только убрать человеческий фактор в измерении глубины, но является экономически выгодным.

### **Библиографический список**

1. Заявка на патент РФ №93055889 / МПК G 01 V 1/40, опублик. 20.10.96 «Способ определения координат забоя скважины».

2. Комаров С.Г. Геофизические методы исследования скважин. – М.: Недра, 1973. – С. 272–278.

3. Коршак А.А., Шаммазов А.М. Основы нефтегазового дела: учебник для вузов. – 3-е изд., испр. и доп. – Уфа.: ООО «ДизайнПолиграфСервис», 2005. – 528 с.

### **Сведения об авторе**

**Азмамбетова Эльвина Андреевна** – студент Российского государственного геологоразведочного университета им. Серго Орджоникидзе, Москва, e-mail: [azmambetova.elvina@yandex.ru](mailto:azmambetova.elvina@yandex.ru)

### **About the author**

**Azmambetova Elvina Andreevna** – Student of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for geological prospecting, Moscow, e-mail: [azmambetova.elvina@yandex.ru](mailto:azmambetova.elvina@yandex.ru)

## **РОБОТИЗИРОВАННАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРЕДПРИЯТИЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РФ В УСЛОВИЯХ ПАНДЕМИИ**

**А.Б. Жернаков, Д.А. Коган, Е.Д. Семененко**

Санкт-Петербургский государственный электротехнический  
университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина),  
Санкт-Петербург

В статье рассмотрены особенности роботизированной автоматизации вспомогательных процессов в деятельности предприятий радиоэлектронной отрасли Российской Федерации, предложены этапы проекта внедрения роботизации с учетом этих особенностей. Определены факторы, влияющие на успешную роботизацию, и даны рекомендации по ее внедрению в условиях пандемии коронавируса.

**Ключевые слова:** RPA; роботизация; автоматизация; крупные предприятия; инновации.

## **ROBOTIC AUTOMATION OF AUXILIARY PROCESSES OF ENTERPRISES OF ELECTRONIC INDUSTRY OF RUSSIA IN CONDITIONS OF A PANDEMIC**

**A.B. Zhernakov, D.A. Kogan, E.D. Semenenko**

Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI",  
Saint Petersburg

In the article the features of the robotic automation of auxiliary processes in the activities of the enterprises of electronic industry of the Russian Federation, proposed stages of the project the implementation of robotics with these features. The factors influencing the successful robotization and recommendations for its implementation in the context of pandemic coronavirus.

**Keywords:** RPA; robotization; automation; innovation; large enterprise.

В 2020 г. мир существует в условиях пандемии коронавируса COVID-19. Борьба с распространением вируса привела к введению в РФ жестких ограничительных мер с марта по июль и более мягких мер начиная с октября 2020 г. по настоящее время. Правительством рекомендовано руководству компаний перевести на дистанционный

формат работы максимально возможное количество персонала. При контакте с подтвержденным больным людей немедленно отправляют на карантин целыми семьями, классами, учебными группами, рабочими коллективами.

Таким образом, предприятие может одномоментно временно лишиться части коллектива исполнителей, реализующих схожие функции.

В таких случаях быстро найти временную замену исполнителям, задействованным во вспомогательной деятельности предприятия, обычно невозможно (не представляется возможным). Исполнители обычно являются специалистами в своей области, знающие специфику деятельности своего функционального подразделения на предприятии и обученными работать с имеющейся информационной инфраструктурой, знакомыми с принятыми регламентами и инструкциями [1]. Поиск новых исполнителей, их обучение – на эти процессы потребуется масса времени и ресурсов, которые, скорее всего, будут потрачены впустую, так как подмена временная. Выносить выполнение функций на аутсорсинг тоже не является лучшим решением, поскольку крупные предприятия критично относятся к вопросам безопасности, особенно информационной инфраструктуры. По этой же причине возможности дистанционного формата работы для сотрудников, занятых во вспомогательной деятельности предприятия, сильно ограничены.

Потому на практике чаще всего решают эту проблему путем перераспределения нагрузки от временно выбывших сотрудников между оставшимися, что может отрицательно повлиять на выполнение всех бизнес-процессов предприятия.

Решением этого кейса может быть максимальная разгрузка оставшихся работников от рутинных операций. Результаты исследований [2–4] показывают, что полностью потенциал автоматизации для большинства профессий в настоящее время не раскрыт. При этом если полная автоматизация в настоящее время для большинства профессий технически нереализуема, то множество операций, таких как рутинные типовые задачи, сбор и обработка данных, могут быть автоматизированы. Доля таких операций в деятельности офисных работников промышленного сектора составляет не менее 50 %.

Эти операции можно и нужно автоматизировать, но такой проект для крупных предприятий обычно проходит достаточно долго, вно-

сит существенные изменения в существующую IT-инфраструктуру и, соответственно, требует массу согласований. Однако в нашем кейсе ситуация требует почти мгновенной реакции, исчисляемой днями, максимум неделями. Обойти эту проблему позволяет технология роботизированной автоматизации процессов.

**Особенности предприятий электронной и электротехнической промышленности.** История радиоэлектронной промышленности в России насчитывает более 70 лет. Многие современные предприятия создавались ещё в СССР и имеют сильные корпоративные традиции, устоявшуюся систему взаимоотношений с заказчиком. Эти предприятия осуществляют производственную, конструкторскую, научную, экспортную и контрактную деятельность, выполняя работы в том числе в рамках госзаказа, включая продукцию гражданского и двойного назначения. Почти 90 % предприятий с государственным участием в радиоэлектронной промышленности (РЭП) включены в сводный реестр организаций ОПК (оборонно-промышленного комплекса) и обеспечивают около 55 % всей отраслевой выручки [5].

По данным исследования ЦНИИ «Электроника» «Портрет российской радиоэлектроники», по отрасли в целом 60,51 % предприятий относится к крупному бизнесу – численность их сотрудников превышает 250 человек, а доход составляет более 2 млрд руб. Более половины лидеров отрасли входят в состав холдингов, концернов и корпораций [6].

Численность работников РЭП на 2019 г. составила 371 тыс. человек со средним возрастом 45–50 лет. Выручка на сотрудника среди лидеров отрасли составляет от 258 тысяч рублей до 9,378 млн рублей [6].

Для развития отрасли в РФ 17 марта 2020 года Правительством РФ принята «Стратегия развития электронной промышленности до 2030 года». Одним из целевых показателей является «выработка на одного сотрудника», значение которого должно возрасти к 2030 г. в 2,2–2,8 раза.

Одним из рисков, который может сорвать сроки реализации Стратегии указан острый дефицит квалифицированных кадров, противопоставить которому в том числе предлагается повышение производительности труда за счет автоматизации. В условиях пандемии коронавируса COVID-19 этот риск имеет повышенные значения влияния и вероятности возникновения, особенно принимая во внимание средний возраст сотрудников.

Обобщенная модель динамики имеющихся трудовых ресурсов и требуемых работников с учетом значимого влияния ушедших на больничный по причине заболевания или контакта с больным представлена на рис. 1.

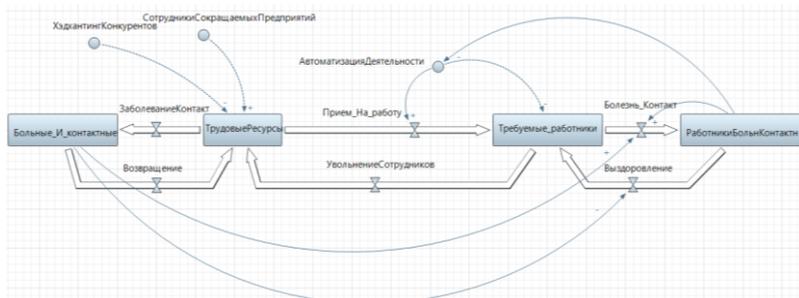


Рис. 1. Модель динамики трудовых ресурсов

В условиях пандемии коронавируса COVID-19 указанные выше особенности предприятий РЭП принимают следующий характер. Если для многих компаний наблюдается снижение спроса, то в этой отрасли за счет значимой доли государственного заказа и выпуска продукции двойного назначения, этого снижения не наблюдается. Таким образом, потребность в работниках не уменьшается.

Имеющиеся кадры уходят, выбывают как заболевшие, так и контактные на предприятии. Общее число заболевших также увеличивает скорость потока заболевших и контактных работников (положительная связь) и уменьшает скорость возвращения из категории заболевших и контактных (отрицательная связь). Это обусловлено нагрузкой на медицинскую систему, когда увеличение количества заболевших вынуждает ждать результатов теста до двух дополнительных недель. Также каждый заболевший на предприятии «тянет» за собой в карантин всех, с кем он контактировал, что образует положительную обратную связь.

При этом восполнить количество работников до необходимого из трудовых ресурсов рынка тоже становится сложнее. Здесь также сильное влияние заболевания, «хантинг» работников предприятиями конкурентами. Положительно на рост числа соискателей влияет сокращение сотрудников пострадавших от пандемии предприятий, что может частично компенсировать влияние отрицательных связей.

В таблице указаны особенности предприятий РЭП и наиболее значимые факторы, влияющие на роботизацию процессов в организации.

### Особенности предприятий РЭП, влияющие на роботизацию

Особенности предприятий РЭП	Влияние на потребность в роботизации	Влияние на потребность в роботизации в условиях COVID-19	Влияние на процесс внедрения роботизации
Персонал, не привыкший к инновациям, средний возраст 45-50 лет	низкое	Высокое	Сильное сопротивление
Перевод рабочих мест и IT-инфраструктуры на отечественное ПО	Среднее, как промежуточный шаг к автоматизации	Среднее, как <b>быстрое</b> промежуточное решение перед автоматизацией	Влияет на выбор инструментов роботизации
Высокие требования к ИБ	----	Среднее положительное, сложности с дистанционным доступом к элементам ИТ инфраструктуры	Сложность выбора и согласования инструмента роботизации
Согласование инноваций "по команде"	----	----	Высокое отрицательное влияние, сильно замедляется процесс принятия решения. В условиях пандемии, когда часть заинтересованных лиц предприятия на карантине или на дистанционном формате.
Стратегия развития РЭП	высокое	высокое	-----
Наличие вышестоящих организаций (холдинг, корпорация и т.д.)	Высокое, соответствие требованиям Стратегии развития РЭП	Высокое, соответствие требованиям Стратегии развития РЭП	Среднее отрицательное влияние, корпоративными требованиями к используемому ПО

**Технология роботизированной автоматизации процессов (RPA).** Роботизированная автоматизация процессов или Robotic Process Automation (RPA) – это современная технология, которая позволяет создавать программных роботов или «цифровых сотрудников», которые, имитируя действия человека, выполняют рутинные процессы. Принцип работы заключается в создании определенного списка действий, который позволяет автоматизировать задачи с применением программных интерфейсов или языка сценариев.

Предшественниками технологии RPA являются скрипты и макросы – частичная автоматизация бизнес-процессов, привязанная к текущим версиям программного обеспечения. Сейчас роботы RPA – это программа, имитирующая работу пользователя за компьютером,

усовершенствованный макрос, способный выполнять операции не только внутри одной программы и не только на программном уровне, но и с использованием графического интерфейса, что является основной отличительной чертой технологии от «классических» методов автоматизации, где используется интеграция двух ПО по API.

Благодаря способности работать как с графическим интерфейсом (GUI), так и по API, использование технологии RPA позволяет ускорить процесс за счёт исключения рудиментарных для «робота» действий вроде открытия визуального интерфейса автоматизируемой программы.

Типовые рутинные задачи, которые может выполнять робот: открывать и закрывать приложения и системы веб-клиентов и электронной почты (включая вложения);

- перемещаться внутри приложений (ERP, CRM и т.п.);
- создавать и перемещать файлы и папки;
- переходить по ссылкам и эмулировать нажатие кнопок;
- заполнять и копировать формы, выполнять многоуровневую перепроверку данных, введенных людьми;
- загружать данные из внешних источников в программный интерфейс или базу данных;
- сравнивать и проверять данные, выполнять математические вычисления;
- работать по сложной логике с условиями и циклами;
- распознавать текст (PDF / DOC / XLS).

В соответствии с особенностями предприятий электронной и электротехнической промышленности, рассмотренными в статье, в качестве инструментов целесообразно использовать только программные продукты, вошедшие или находящиеся в процессе включения в Единый реестр российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных, такие как RobinRPA, PIXRPA, Electroneek, ELMARPA и др.

**Заключение.** Роботизация бизнес-процессов вспомогательной деятельности промышленного предприятия радиотехнической и электротехнических отраслей является частью решения важной задачи автоматизации, решение которой обусловлено технологическим прогрессом и подкреплено требованиями постановления правительства. Это решение позволит оперативно реагировать на такие современные вызовы, как быстрый, массовый и долгосрочный выход

из производственной деятельности сотрудников, с перераспределением обязанностей между оставшимися работниками и выводом рутинных операций на обработку программным роботом.

В условиях COVID-19 роботизированная автоматизация позволит быстро и недорого, по сравнению с полной автоматизацией, переналадить бизнес-процессы на условия дистанционной работы сотрудников.

Знания об особенностях предприятий электронной и электротехнических отраслей помогут специалистам, внедряющим RPA правильно спланировать последовательность действий, выбрать необходимый инструмент, который может пройти согласования, т.е. принять меры к снижению отрицательного воздействия этих особенностей и верно использовать их сильные стороны.

### **Библиографический список**

1. Волков А.Т., Жернаков А.Б., Шепелев Р.Е. Оценка профессиональных и инновационных компетенций специалистов // Планирование и обеспечение подготовки кадров для промышленно-экономического комплекса региона. – 2018. – Т. 1. – С. 205–206.

2. Международный анализ потенциальных долгосрочных последствий автоматизации [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.pwc.ru/ru/publications/collection/how-will-automation-impact-jobs-designer.pdf> (дата обращения: 17.12.2020).

3. Потери рабочих мест, получение рабочие мест: какое будущее будет означать для занятости, повышения квалификации и заработной платы [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.mckinsey.com/featured-insights/future-of-work/jobs-lost-jobs-gained-what-the-future-of-work-will-mean-for-jobs-skills-and-wages#> (дата обращения: 17.12.2020).

4. Земцов С.П. Роботы и потенциальная технологическая безработица в регионах России: опыт изучения и предварительные оценки. – М.: Академия наук СССР, Институт экономики, 2017. – С. 142–157.

5. Стратегия развития электронной промышленности Российской Федерации на период до 2030 года: Распоряжение Правительства РФ от 17.01.2020 №20-п [Электронный ресурс]. – URL: <http://static.government.ru/media/files/1QkfNDghANiBUNBbXaFBM69Jxd48ePeY.pdf> (дата обращения: 15.12.2020).

б. Рейтинг организаций радиоэлектронной промышленности России-2019/ Центральный научно-исследовательский институт экономики, систем управления и информации «Электроника» [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.instel.ru/reiting-2019.pdf> (дата обращения: 15.12.2020).

### Сведения об авторах

**Жернаков Антон Борисович** – старший преподаватель кафедры «Инновационный менеджмент» Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, e-mail: [anton\\_j@mail.ru](mailto:anton_j@mail.ru)

**Коган Диана Александровна** – бакалавр Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, e-mail: [dianakogan1702@gmail.com](mailto:dianakogan1702@gmail.com)

**Семенов Елизавета Дмитриевна** – бакалавр Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, e-mail: [elizsemenenko@gmail.com](mailto:elizsemenenko@gmail.com)

### About the authors

**Zhernakov Anton Borisovich** – Senior Teacher of the Department "Innovative management" Saint Petersburg State Electrotechnical University "LETI" named after V.I. Ulyanov (Lenin), Saint Petersburg, e-mail: [anton\\_j@mail.ru](mailto:anton_j@mail.ru)

**Kogan Diana Alexandrovna** – bachelor of St.-Petersburg State Electrotechnical University "LETI" named after V.I. Ulyanov (Lenin), Saint Petersburg, e-mail: [dianakogan1702@gmail.com](mailto:dianakogan1702@gmail.com)

**Semenenko Elizabeth Dmitrievna** – bachelor of St.-Petersburg state electrotechnical University "LETI" named after V.I. Ulyanov (Lenin), Saint Petersburg, e-mail: [elizsemenenko@gmail.com](mailto:elizsemenenko@gmail.com)

## **РАЗРАБОТКА ПРЕДИКТИВНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ АВАРИЙНОСТИ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ**

**А.А. Серебрянников**

Томский научно-исследовательский и проектный  
институт нефти и газа, Томск

В данной статье рассматривается возможность применения методов машинного обучения при эксплуатации установок электроцентробежных насосов в добывающих скважинах на нефтегазопромыслах с целью прогнозирования аварий насосного оборудования. Использование методов машинного обучения при эксплуатации электроцентробежных насосов позволит увеличить межремонтный период работы добывающих скважин и наработку на отказ скважинного оборудования, также появится возможность предугадывать возможные аварии эксплуатируемых насосов.

**Ключевые слова:** автоматизация; машинное обучение; скважина; УЭЦН.

## **DEVELOPMENT OF PREDICTIVE MODEL TO REDUCE THE EMERGENCY OF THE ELECTRIC CENTRIFUGAL PUMP UNIT**

**A.A. Serebryannikov**

Tomsk Oil and Gas Design and Research Institute, Tomsk

This article showed the possibility of using machine learning methods in the operation of electric centrifugal pump installations in well production at oil and gas fields in order to predict emergency of pumping equipment. The use of machine learning methods in the operation of electric centrifugal pumps will increase the turnaround time of production wells and the mean time between failures of downhole equipment, and it will also be possible to predict possible accidents in the operated pumps.

**Keywords:** automation; testing.

Установки погружных электроцентробежных насосов (УЭЦН) на сегодняшний день являются наиболее распространенным способом добычи пластовой жидкости на поверхность при разработке нефтегазовых месторождений, так как позволяет нефтяникам добывать углеводородное сырье даже при наличии большого числа осложняющих факторов, присущих для большинства месторождений нефти и газа в России [1].

За продолжительную историю работы УЭЦН на месторождениях нефти и газа в России промысловики и сопровождающие их исследовательские центры достигли значительных результатов в мониторинге технологических процессов добычи нефти, но несмотря на это достаточно высоким остается процент аварийности скважинного оборудования, в том числе и насосов УЭЦН. Проблема предотвращения аварийности насосного оборудования связана не только с высокими затратами на их последующий ремонт, но и с потерями больших объемов добычи углеводородного сырья в период проведения ремонтных операций на добывающих скважинах. В работе [2] приводятся статистические показатели, согласно которым денежные потери в результате непредвиденной аварии УЭЦН могут превышать затраты на плановый текущий ремонт более чем в 5 раз.

При анализе работы фонда добывающих скважин, оборудованных электроцентробежными насосами, важное значение имеют такие показатели УЭЦН, как наработка на отказ ЭЦН и межремонтный период работы ЭЦН. Расчет наработки на отказ производится отношением суммы отработанного числа суток всеми установками ЭЦН к общему числу отказов данных установок за указанный период времени [3]. Межремонтный период работы является характеристикой УЭЦН, определяющейся как среднее время работы насосной установки между двумя очередными ремонтами, при которых происходят спускоподъемные работы [4].

В данной работе предложено рассмотреть возможность повышения межремонтного периода работы и наработки на отказ погружного оборудования с помощью создания предсказательной модели для прогнозирования аварийности насосного оборудования на основе методов машинного обучения. В нефтегазодобыче стремительно развивается интеграция технологий больших данных и машинного обучения в процессы добычи углеводородов от стадий геологоразведки до непосредственно управления технологическим процессом подъема и транспортировки нефтегазового сырья. Алгоритмы Machine Learning, используемые при эксплуатации нефтегазового оборудования, позволяют настроить автоматизированный сбор и анализ промысловых данных, что открывает большие возможности для оптимизации диагностических проверок оборудования, повышает эффективность их использования и снижает потери добычи нефти и газа за счет своевременного выявления технических неисправностей [5].

Известно много различных алгоритмов машинного обучения, но в своей работе мы остановились на алгоритме «случайного леса». Модель «случайного леса» (с англ. random forest) подразумевает наличие огромного множества деревьев решений [6]. Под деревом решений понимается базовая единица рассматриваемого алгоритма, которую можно представить простым языком в виде серии вопросов об исходных данных, ответом на которые могут быть лишь «Да» или «Нет». В конечном итоге, при правильной задаче исходных данных должно получиться определенное решение задачи в виде предсказания определенной величины или класса. «Случайным» модель деревьев решений делает наличие двух ключевых концепций, одна из которых заключается в наличии случайной выборки образцов из набора исходных данных во время построения деревьев, вторая – в выборе случайных наборов параметров при разделении узлов.

Для модели «случайного леса» были составлены несколько групп признаков объекта исследования, т.е. установок ЭЦН, в каждом из которых были выделены дополнительные признаки, характеризующие каждую группу признаков. Например, возьмем первую группу признаков – технологические признаки УЭЦН – к ним отнесены эксплуатационные характеристики УЭЦН, такие как тип модификации ЭЦН, коррозионная стойкость, износостойкость, модульность исполнения, группа насоса, подача, напор, габариты и т.д. Вторая группа признаков – особенности рабочей среды – к ним отнесены рабочая температура, давление, обводненность продукции, газовый фактор и т.д. Третья группа признаков – причины отказов насосного оборудования. Обучая деревья принятия решений на каждой отдельной выборке данных, получается сделать усредненный прогноз, основанный на решениях каждого отдельного дерева. Размер каждой выборки принят как квадратный корень из общего количества параметров выборки.

На данный момент ведется сбор и обработка конечных выборок, которые в итоговом варианте будут использоваться алгоритмом для прогнозирования возможных аварий насосного оборудования. Ранжирование добывающих скважин по степени важности на основе усредненного прогноза деревьев решений позволит планировать текущий ремонт на скважинах, не допуская потерь добычи углеводородного сырья. На примере добывающей организации «Х» Томской области выполнена технико-экономическая оценка от внедрения

алгоритма «случайного леса» в процесс мониторинга работы насосного оборудования, согласно которой при увеличении межремонтного периода хотя бы на 10 % по сравнению с текущим значением (~ 616 суток) при стоимости 1 тонны нефти в размере 26,2 тыс. руб. удастся избежать потерь порядка 32,3 млн руб. с одной добывающей скважины при условии работы ее с дебитом  $Q_n = 20$  т/сут (таблица).

Технико-экономическая оценка внедрения предиктивной модели в процесс управления технологическим процессом добычи нефти

Параметр	Данные				
Увеличение межремонтного периода с помощью предиктивной модели, %	10	15	20	25	30
Кол-во скважин с авариями погружного оборудования, ед.	50	50	50	50	50
Средний дебит нефти действ. скважин, т/сут	20	20	20	20	20
Текущий межремонтный период на 1 скв, сут	616	616	616	616	616
Доп. добыча нефти на 1 скв, тонн	1232	1848	2464	3080	3696
Суммарная доп. добыча нефти, тыс.т	61,6	92,4	123,2	154,0	184,8
Стоимость 1 тонны нефти, руб/т	26232,7	26232,7	26232,7	26232,7	26232,7
Прибыль, млн. руб.	1615,9	2423,9	3231,9	4039,8	4847,8

### Библиографический список

1. Гареев А. Проблемы эксплуатации ЭЦН при добыче нефти. – Изд-во: LAP Lambert Academic Publishing, 2014. – 164 с.
2. Аварийность скважинного оборудования и методы ее снижения / А.М. Насыров, Г.Г. Кузьмин, Р.Г. Латыпов, О.Н. Барданова // Экспозиция. Нефть. Газ. – 2020. – № 72. – С. 44–48.
3. Мирсаатов О.М., Повышев К.И. Нарботка на отказ системы пласт-скважина-насос // Вестник Удмуртского университета. – 2005. – № 11. – С. 233–248.
4. Габитов И.А., Дышин О.А., Абасова С.М. Оценка межремонтного периода погружных электронасосов на основе характеристик надежности // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2014. – № 5. – С. 51–59.

5. Белозеров Б.В. Эра умной разведки // Нефть и капитал. – 2018. – С. 1–16.

6. Koehrsen W. An Implementation and Explanation of the Random Forest in Python // Towards data science. – 2018. – P. 2–20.

### **Сведения об авторе**

**Серебрянников Александр Александрович** – младший научный сотрудник отдела проектирования разработки нефтегазовых месторождений Томского научно-исследовательского института нефти и газа, Томск, e-mail: serebriannikov.alexandr@yandex.ru

### **About the author**

**Serebryannikov Alexander Alexandrovich** – Junior Researcher oil and gas field development design department Tomsk Oil and Gas Research Institute, Tomsk, e-mail: serebriannikov.alexandr@yandex.ru

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАЯВОК ВЫЗОВА АВТОМОБИЛЕЙ СКОРОЙ ПОМОЩИ**

**Г.О. Иванов, Н.Е. Опутин, П.Н. Игнатьев, А.А. Утин**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

Представлен метод автоматизации распределения автомобилей скорой помощи на заявки пациентов с учетом возможности перераспределения автомобилей в пути, позволяющий закрыть все заявки за минимальное итоговое время.

**Ключевые слова:** автоматизация; заявки, скорая помощь; пациенты; GRIN; Excel.

## **AUTOMATION OF THE DISTRIBUTION OF AMBULANCE ORDER APPLICATIONS**

**G.O. Ivanov, N.E. Oputin, P.N. Ignatiev, A.A. Utin**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

A method for automating the distribution of ambulances for patients' requests, taking into account the possibility of redistributing vehicles on the way, which allows you to close all requests in the minimum total time.

**Keywords:** automation; applications, ambulance; the patients; GRIN; Excel.

В период пандемии огромную нагрузку испытывают все социальные службы. Но наибольший удар пришелся на систему здравоохранения, которая не справляется с огромным числом поступающих заявок. В данной статье разбирается способ проведения автоматизации, направленный на распределение ресурсов таким образом, чтобы, в силу их ограниченности, использовать эти ресурсы наиболее эффективно.

Call-центры скорой помощи занимаются обработкой звонков от пациентов. После получения всей необходимой информации от звонившего специалистами принимается решение о необходимости отправки экипажа скорой помощи. Если такая необходимость присутствует, выделение конкретного экипажа происходит вручную специалистом, основываясь на оперативной информации (адрес звонившего, местоположение свободных автомобилей скорой помощи),

отображаемой на карте. После того как на заявку будет выделен экипаж, он становится недоступным до завершения текущей заявки.

Предлагаемое решение автоматизации несет в себе два ключевых аспекта: автомобили скорой помощи будут выделяться программой, основываясь на расчете наименьшей по времени продолжительности пути до пациента, и автомобили могут перераспределять на другие, более экстренные, ближайšie вызовы. Далее описана реализация предлагаемой автоматизации.

Первым этапом необходимо получить оперативную информацию, на основе которой будет осуществляться работа программы. В качестве примера был рассмотрен сектор города Перми, в пределах которого будут находиться как пациенты, так и автомобили скорой помощи (рис. 1).

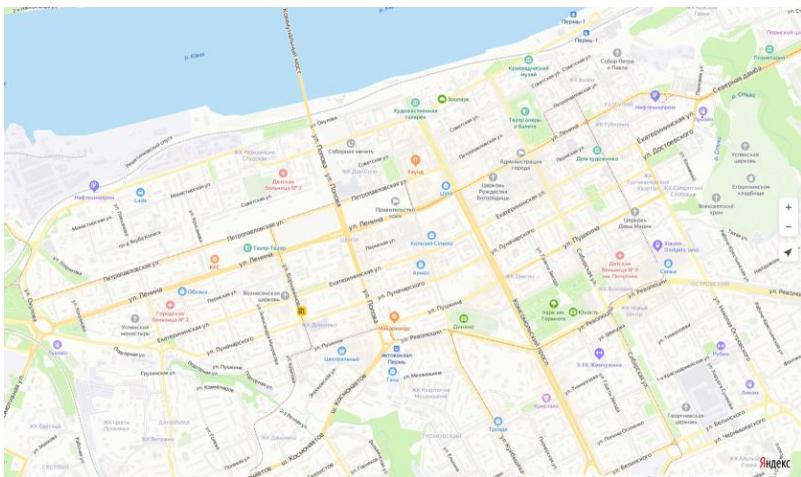


Рис. 1. Выделенный сектор города Перми (1:200)

На выбранном секторе для поиска необходимых величин будут играть роль дороги, по которым могут передвигаться автомобили скорой помощи и точки их нахождения/прибытия (рис. 2).

Для упрощения расчетов в качестве искомых точек будут браться перекрестки, где происходит пересечение нескольких дорог. Поскольку вызов может поступить из участка, который не будет лежать ни на одной точке (справедливо и для скорой, которая не будет лежать на взятых точках), положение такого участка мы будем наклад-

дывать на ближайшую к нему точку, тем самым допуская незначительную погрешность при расчете фактического расстояния от скорой до пациента.



Рис. 2. Выделенные дороги для передвижения

Таким образом, мы можем построить граф, описывающий передвижение скорой помощи по выделенному сектору города. Обозначив условную координату нулевой точки в системе  $[x; y]$ , определим для каждой точки координату (рис. 3).

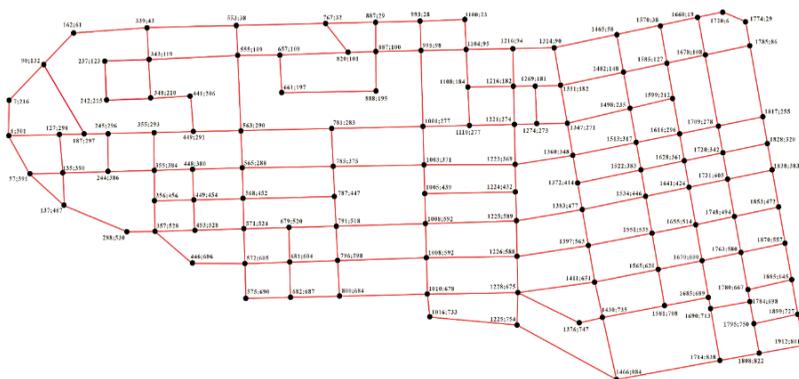


Рис. 3. Граф маршрута скорой помощи и значения вершин

Величину ребер графа, соответствующих дорогам, будем определять статически, беря в расчет время, которое требуется автомо-

билу скорой помощи на преодоление участка дороги от одного перекрестка к другому. Мы рассматриваем ситуацию, при которой скорая помощь использует включенные сигнальные огни, что позволяет ей игнорировать заторы на дорогах. Для получения более точных расчетов стоит определять величину ребер графа динамически, беря в расчет текущую ситуацию на дороге и движение скорой без сигнальных огней. В рамках данной статьи мы ограничимся единичным определением величин ребер, используя для этого найденные координаты вершин и среднюю скорость движения автомобиля скорой – 55 км/ч (рис. 4) [1].

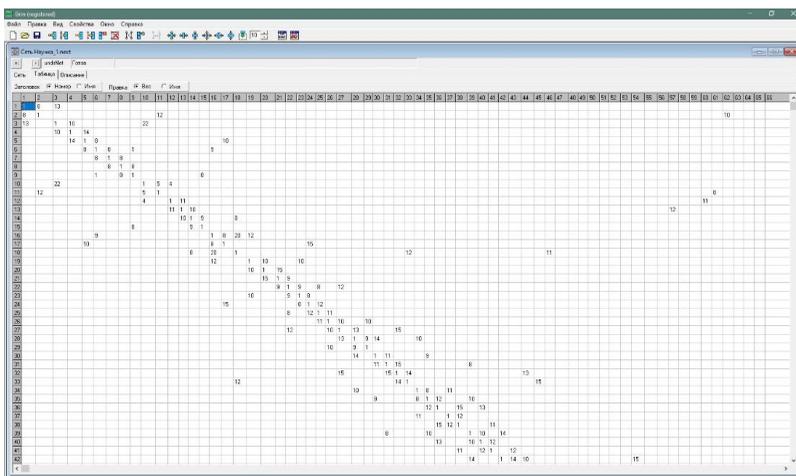


Рис. 4. Значение ребер графа маршрута

Используя программу Grin, построим получившийся граф, указав найденные значения величин ребер (рис. 5). Используя функцию «Кратчайший путь», получаем значение, соответствующее минимальному времени, которое потребуется выбранной скорой для прибытия к пациенту. Выполняя данную функцию для каждого автомобиля скорой, мы получим множество значений времен, за которое каждый из автомобилей доберется до пациента [2].

Определить состояние скорой помощи и наличие заявки на вызов от пациента мы сможем с помощью 2 файлов: «Скорая.txt» и «Люди.txt» (рис. 6). Первый файл содержит текущее состояние

автомобиля скорой помощи, свободен он или нет. Во втором файле отображается состояние заявки, закрыта она или нет. Занесением скорых и пациентов занимаются сотрудники Call-центра, а их состояние будет обновлять уже автоматически.

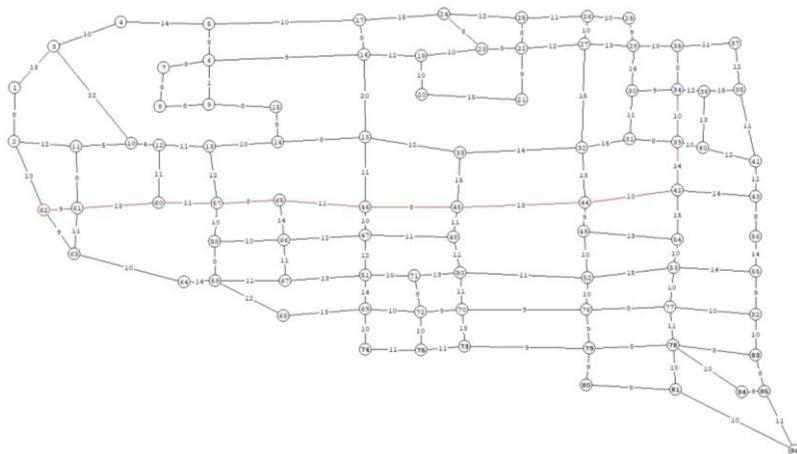


Рис. 5. Граф маршрута скорой помощи (значение ребер в секундах)

Скорая.txt – Блокнот					Люди.txt – Блокнот				
Файл	Правка	Формат	Вид	Справка	Файл	Правка	Формат	Вид	Справка
Скорая	1	1			Пациент	1	1		
Скорая	2	1			Пациент	2	1		
Скорая	3	1			Пациент	3	1		
Скорая	4	1			Пациент	4	1		
Скорая	5	1			Пациент	5	1		

Рис. 6. Структура файлов «Скорая.txt» и «Люди.txt»

Для дальнейшего расчета используется среда построения электронных таблиц Excel (рис. 7). В ячейке A1 находится кнопка, при нажатии которой исполняется макрос. Макрос заполняется столбец А данными из файла «Скорая.txt». Если у скорой стоит статус «1», то она заносится зеленым цветом, если «0», то красным (рис. 8). В строку «1» заносятся данные из файла «Люди.txt». Если у пациента стоит статус 0, то он не будет занесен в таблицу. На пересечения строк и столбцов вносятся значение времен, получаемые при расчете программой GRIN.

	A	B	C	D	E	F
1		Пациент 1	Пациент 2	Пациент 3	Пациент 4	Пациент 5
2	Скорая 1	151	160	319	246	232
3	Скорая 2	330	343	165	154	345
4	Скорая 3	132	136	138	173	137
5	Скорая 4	256	280	196	200	335
6	Скорая 5	243	269	251	293	249

Рис. 7. Заполнение таблицы в Excel

	A	B	C	D
1		Пациент 1	Пациент 3	Пациент 4
2	Скорая 1	174	253	163
3	Скорая 2	-1	-1	-1
4	Скорая 3	279	192	221
5	Скорая 4	-1	-1	-1
6	Скорая 5	293	229	222

Рис. 8. Изменение в таблице решений

Для того чтобы иметь возможность перераспределить автомобили скорой, мы установим частоту обновления = 1 мин. Это означает, что каждую 1 мин будут проверяться файлы «Скорая.txt» и «Люди.txt» на наличие новых данных, а также будет обновляться текущее положение автомобилей скорой помощи на графе, что позволит осуществить перерасчет затрат времени обновленных длин путей с помощью GRIN. Также будет обновляться и таблица в Excel.

Чтобы исключить ситуацию, когда автомобилю скорой помощи, находящемуся уже у пациента, придется ехать на новый адрес, установим пороговое значение, которое будет менять статус автомобиля на «0» (автомобиль недоступен). Порогом будет значение времени в 2 мин, через которое скорая прибудет к пациенту. Первый автомобиль, который перейдет установленное пороговое значение, будет закреплен за соответствующим пациентом. В таблице это будет означать, что при появлении в ячейке значения времени от «0» до «5», строка скорой заполняется значением «1», Скорая в столбце А окрашивается в красный цвет, столбец с пациентом удаляется, а в отчетном файле «Gotovo.txt» появляется запись о том, какая скорая везет какого пациента (рис. 9). В файлы «Скорая.txt» и «Люди.txt» также вносятся изменения в статус скорой (рис. 10).

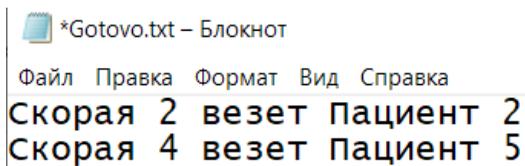


Рис. 9. Появление записи в файле «Gotovo.txt»

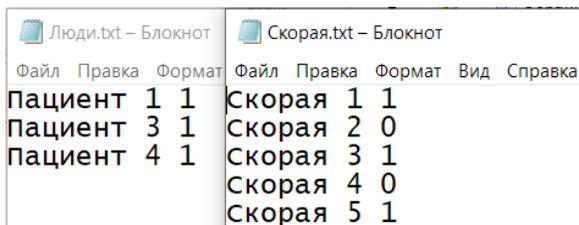


Рис. 10. Изменение записей в файлах «Скорая.txt» и «Люди.txt»

По полученной таблице данных с частотой обновления 1 мин каждый раз будет проводиться поиск решения как для транспортной задачи с приоритетом по времени, то есть будет определяться оптимальное распределение автомобилей скорой помощи для каждого пациента с минимальной затратой общего времени. Для этого таблица должна иметь одинаковое количество столбцов и строк. Изначально число автомобилей скорой помощи у нас фиксировано. Если для равенства нам не хватает пациентов, то мы будем добавлять столбцы с нулевыми пациентами, для которых выделять автомобиль не нужно. Если пациентов больше, чем автомобилей, то каждого нового пациента мы пробуем поставить в таблицу вместо каждого из старых. Если для новой таблицы будет найдено решение лучше, то оставляем ее в новом виде, иначе не меняем. И так поступаем для каждого нового пациента, добавленно-го сверх количества автомобилей скорой помощи.

Оптимальнее всего осуществлять поиск решения будет с помощью линейного симплекс-метода, реализация которого приводится в ранее опубликованной статье «Транспортная задача. Реализация по критерию времени в программе MS Excel» [3].

Таким образом, найденное решение будет соответствовать оптимальному распределению автомобилей скорой помощи, чтобы как можно быстрее по времени закрыть все заявки. Выполнение будет продолжаться до тех пор, пока все заявки не будут закрыты.

## Библиографический список

1. The Village. Как устроен «Яндекс.Навигатор». Как алгоритм строит маршрут [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.the-village.ru/business/how/278022-naviga> (дата обращения: 10.12.2020).

2. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического управления. – СПб.: Профессия, 2003. – 752 с.

3. Печенкин В. Программное обеспечение Grin. О программе [Электронный ресурс]. – URL: [www.geocities.com/pechv\\_ru](http://www.geocities.com/pechv_ru) (дата обращения: 11.12.2020).

4. Иванова Г.О. Транспортная задача. Реализация по критерию времени в программе MS Excel // Вестник Пермского университета. – 2020. – № 3.

## Сведения об авторах

**Иванов Глеб Олегович** – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: [gleb\\_molodoi5@mail.ru](mailto:gleb_molodoi5@mail.ru)

**Опутин Никита Егорович** – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: [oputin1906@mail.ru](mailto:oputin1906@mail.ru)

**Игнатъев Павел Николаевич** – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: [homakig@gmail.com](mailto:homakig@gmail.com)

**Утин Антон Александрович** – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: [Poickovizok@yandex.ru](mailto:Poickovizok@yandex.ru)

## About the authors

**Ivanov Gleb Olegovich** – Master's Student of the Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: [gleb\\_molodoi5@mail.ru](mailto:gleb_molodoi5@mail.ru)

**Oputin Nikita Egorovich** – Master's Student of the Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: [oputin1906@mail.ru](mailto:oputin1906@mail.ru)

**Ignatiev Pavel Nikolaevich** – Master's Student of the Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: [homakig@gmail.com](mailto:homakig@gmail.com)

**Utin Anton Aleksandrovich** – Master's Student of the Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: [Poickovizok@yandex.ru](mailto:Poickovizok@yandex.ru)

## РЕКОНСТРУКЦИЯ ПОДСТАНЦИИ

**А.В. Сивцов, А.В. Щекочихин**

Нижевартовский государственный университет,  
Нижевартовск

В условиях современного развития электроэнергетической отрасли на территории Российской Федерации диктуются повышенные требования к подстанциям с точки зрения эксплуатируемого оборудования, процессов автоматизации, а также производительности, современности и уровня надёжности всех устанавливаемых автоматических систем. Процессы реконструкции и модернизации предполагают незначительные затраты, поэтому являются на сегодняшний день актуальными с учётом того факта, что значительное количество подстанций было возведено и введено в эксплуатацию в семидесятых годах.

**Ключевые слова:** устаревшее оборудование; повышение надёжности; надёжность; реконструкция подстанции.

## RECONSTRUCTION OF THE SUBSTATION

**A.V. Sivtsov, A.V. Shchekochikhin**

Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk

In the context of the current development of the electric power industry on the territory of the Russian Federation, increased requirements for substations are dictated in terms of equipment operated, automation processes, as well as the performance, modernity and level of reliability of all installed automatic systems. The processes of reconstruction and modernization do not involve significant costs, therefore, they are relevant today, taking into account the fact that a significant number of substations were built and put into operation in the seventies.

**Keywords:** outdated equipment; increased reliability; reliability; reconstruction of the substation.

Возведение современных подстанций с нуля в крупных городах нецелесообразно, так как встает вопрос поиска доступного земельного участка, в зависимости от его размеров и местонахождения стоимость может возрасти. Если не рассматривать вариант современной подстанции, а загружать действующие распределительные сети, то это приводит к подавлению промышленного производства.

Усовершенствование старого оборудования при реконструкции трансформаторной подстанции с внедрением инновационных решений на уровне мировых стандартов даст возможность существенно

снизить эксплуатационные затраты, что гарантирует безопасные и комфортные условия труда для работников и специалистов. Благодаря оборудованию современной техникой объекты начинают соответствовать действующим актуальным нормативам, направленным на защиту окружающей среды, противопожарную и санитарную безопасность.

Необходимо отметить, что:

- внедряются цифровые преобразователи тока и напряжения;
- применяется электросетевое оборудование с широкополосными портами на первичной и вторичной сети;
- внедряются микропроцессорные контроллеры с инструментальными средствами разработки (с их помощью создается программно-технический комплекс цифровой подстанции (ПТК ЦПС)) [1].

Благодаря этому формируются естественные предпосылки для формирования, разработки и возведение прогрессивной системы – «Цифровой подстанции» (ЦПС). При данной системе будет происходить сбор аналоговой информации и её оцифровка с передачей на вышестоящие уровни, с дальнейшим их отдалённым управлением (рисунок).

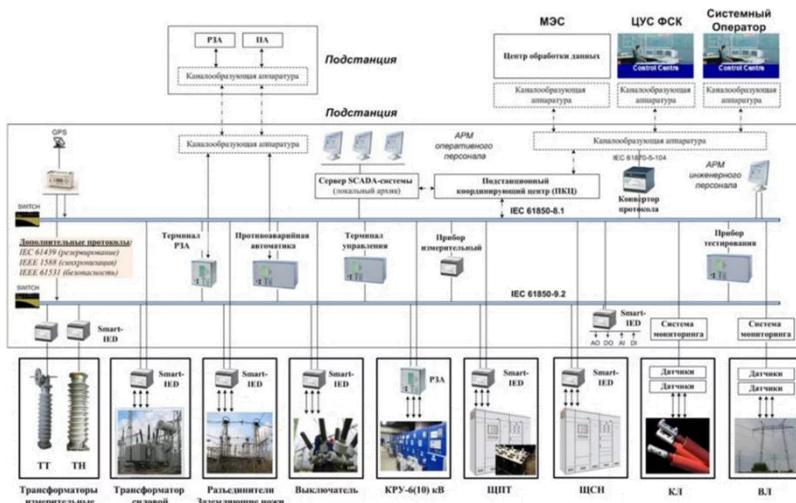


Рис. Структура цифровой подстанции

Переход к структуре ЦПС и передаче данных в подобном виде на каждом из уровней управления ПС даст вероятность получить немаловажный диапазон превосходства, среди которых:

1. Уменьшение производственных расходов за счет доли кабельной продукции в составе системы, а также их абсолютная диагностируемость, что убыстряет исследование дефектов и уменьшает межремонтный период.

2. Увеличение гальванической сопоставимости электротехнического оснащения – микропроцессорных приборов, а также второстепенных цепей за счет перехода к внедрению оптических связей.

3. Сокращение периода поставки и расходов на поставку ЗИП за счет применения вычислительных и коммуникационных средств всеобщего назначения (серверов) в составе системы, которые предлагают наиболее невысокую цену по сравнению со специальными, присутствие более высокой производительности.

4. Унифицирование интерфейсов приборов ИЕД, наглядное упрощение взаимозаменяемости представленных приборов (включая обновление оборудования от одного изготовителя на приборы другого разработчика) [2].

Отдельно следует выделить переход на оптоволоконные технологии для мониторинга и управления. Благодаря этому повышается возможность быстрого определения неисправности и устранению ее, что дает нам повышения надежности релейной защиты.

Увеличение компьютерной составляющей в оборудовании ЦПС за счет переноса части расчетно-диагностических задач в цифровые модули.

Сокращение основных затрат:

– на кабельные изделия, на некоторые конструкции и расчет на сметах для терминалов (приведено к единой системе компьютерного блока, заменой модулей цифровых интерфейсов);

– уменьшение территорий, которые нужны для заполнения ПС (ввод цифровых ТТ и ТН, предназначенного для микропроцессорного оборудования);

– увеличение надежности работы и ресурса электрооборудования (при правильном контроле электрооборудования);

– сокращение расходов на проектирование, монтаж и пусконаладку (сокращение кабельных изделий, количества оборудования, получение преимуществ, направленных на улучшение программных задач электрощитового оборудования и передачи цифровых данных).

Уменьшение расходов на техническое обслуживание:

– простые схемы для дополнительного обслуживания (безотказного детального тестирования, проводимое в любое время – дает непрерывный контроль и анализ до полученных данных, что дает гарантию надежной бесперебойной работы ПС);

– увеличение надежности расчетов (в том числе на малых токах 10–15 % Ih) из-за этого увеличивается контроль и учет электричества большой точности данных;

– уменьшение вероятности неисправностей, как «земля в сети постоянного тока» (снижение величин СОПТ за счет ввода передач цифровых данных);

– сокращение количества вывода из строя и неисправного электрооборудования и связанных с ними штрафов за недоотпуск электричества, а также недостаток рабочего специализированного цикла (крупная проверка большого комплекса применяемых технических средств ЦПС);

– сокращение количества перебоев, неправильной работы, отказов РЗА (ввод оптических кабелей вместо медных повышает степень скорости передачи данных и уменьшает электромагнитные помехи оборудования – микропроцессорных приборов РЗА);

– увеличение надежности в вычислительной работе РЗА (также упрощается алгоритм РЗА);

– экономия потребления цепей переменного тока и напряжения (вследствие применения широкополосных ТТ и ТН).

К схемам и конструкциям транзитных понижающих подстанций предъявляются строгие технические требования. В связи с этим фиксированная мощность их трансформаторов должна соответствовать потребительскому спросу, в то время как коммутационное и вспомогательное оснащение – гарантировать постоянное питание потребителей электроэнергии, без перебоев. Их схемы должны быть безопасны, экономичны, обеспечивать надлежащее качество электроэнергии, надежность и удобство эксплуатации [3].

В электроэнергетической отрасли на сегодняшний день остро стоит вопрос об усовершенствовании подстанций. Оборудование выпуска 70-х гг., выработало свой ресурс на 100 %. Сегодняшняя его функциональность во многом сохраняется за счет того, что оборудование было изготовлено с огромным запасом по надежности.

Высоковольтные выключатели выработали свой ресурс. Резервные запчасти, которые подлежат замене при капитальных и плановых

ремонтах сегодня практически никто не производит. В данное время представлены лишь аналоги, производимые кооперативами, но качество оставляет желать лучшего.

В основе усовершенствования лежит сокращение участия человека в производственном процессе, уменьшение габаритов оборудования, сокращение эксплуатационных затрат и повышение надежности оборудования.

### **Библиографический список**

1. Моспроект-Инжиниринг реконструкция трансформаторной подстанции [Электронный ресурс]. – URL: <https://mosproject-eng.ru/rekonstrukciya-tp.html> (дата обращения: 27.09.2020).
2. Цифровая подстанция [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.myshared.ru/slide/60561> (дата обращения: 27.09.2020).
3. Микропроцессорная релейная защита [Электронный ресурс]. – URL: <https://rza.org.ua/> (дата обращения: 27.09.2020).

### **Сведения об авторах**

**Сивцов Андрей Викторович** – магистрант Нижневартковского государственного университета, Нижневартовск, e-mail: [Sivtsov.Andrey19@yandex.ru](mailto:Sivtsov.Andrey19@yandex.ru)

**Щекочихин Александр Владимирович** – доцент кафедры «Энергетика» Нижневартковского государственного университета, Нижневартовск, e-mail: [avshch44@mail.ru](mailto:avshch44@mail.ru)

### **About the authors**

**Sivtsov Andrey Viktorovich** – Master's Student Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk, e-mail: [Sivtsov.Andrey19@yandex.ru](mailto:Sivtsov.Andrey19@yandex.ru)

**Shchekochikhin Alexander Vladimirovich** – Associate Professor of the Department of "Energy" Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk, e-mail: [avshch44@mail.ru](mailto:avshch44@mail.ru)

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТЕНДА РАСХОДОМЕТРИИ

**Е.А. Гудкова, Р.Д. Арасланов, И.А. Вялых**  
Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

В данной статье рассмотрены аспекты проектирование стенда расходо-  
метрии, расчет сужающего устройства.

**Ключевые слова:** автоматизация; испытания; расчет; проектирование.

## FLOW METERING STAND DESIGN

**E.A. Gudkova, R.D. Araslanov, I.A. Vyalykh**  
Perm National Research Polytechnic University, Perm

In this article the aspects of design of a flow metering stand, calculation of a  
restriction device.

**Keywords:** automation; testing; calculation; design.

Для учебных целей возникла необходимость создания учебного  
стенда для изучения и сравнения методов измерения расхода с уче-  
том имеющихся в наличии приборов. Для этого необходимо спроек-  
тировать гидравлическую схему стенда, выполнить монтаж оборудо-  
вания и подключение к системе управления DeltaV.

Для этих целей спроектирована схема стенда (рис. 1) и струк-  
турная схема подключения к АСУТП (рис. 2).

Лабораторный стенд представляет собой систему, состоящую из  
нескольких расходомеров, их обвязки, труб и запорной арматуры,  
позволяющей осуществлять измерение расхода жидкости различны-  
ми методами, проводить измерения для сравнительного анализа мет-  
рологических характеристик. В данном стенде реализована последо-  
вательная схема подключения датчиков расхода с байпасированием  
любого из измерительных приборов. Транспортируемой средой явля-  
ется вода, для транспортировки используется насос *1*.

На текущий момент ведется монтаж оборудования и пускона-  
ладка стенда согласно действующим требованиям и нормам [1].

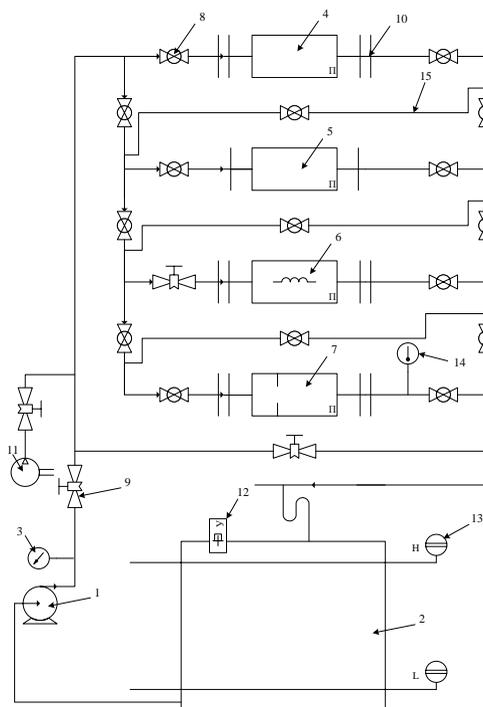


Рис. 1. Гидравлическая схема стенда по расходу: 1 – насос, 2 – емкость для воды, 3 – датчик давления, 4 – расходомер YOKOGAWA ROTAMASS, 5 – расходомер Метран-300ПР, 6 – расходомер YOKOGAWA ADMAG SE115NJ, 7 – расходомер Rosemount 3095, 8 – кран шаровый, 9 – вентиль, 10 – соединительная арматура (фланцы, резьбовые соединения), 11 – пневмолиния от компрессора, 12 – уровнемер, 13 – сигнализатор уровня, 14 – датчик температуры, 15 – байпасная линия

Разработанный стенд позволит:

- изучить принципы измерения расхода жидких сред, осуществить сравнительный анализ методов, исследование метрологических характеристик приборов, реализующих разные методы измерения;
- оценить влияние газовой фазы в транспортируемой жидкой среде (в виде воздуха) на результаты измерения расхода;
- выполнять тренинги по процедурам монтажа, наладки датчиков расхода, давления;
- исследовать способы подключения датчиков с различными электрическими выходными сигналами (активная и пассивная токовая петля, импульсный выход) к РСУ;

– выполнять эксперимент построения напорных характеристик насосного оборудования с автоматической фиксацией результатов средствами PCY.

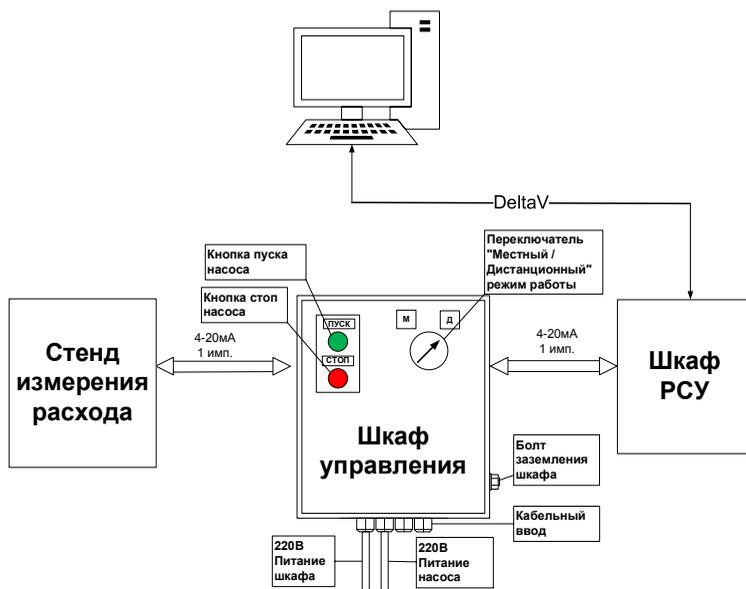


Рис. 2. Структурная схема стенда по расходу

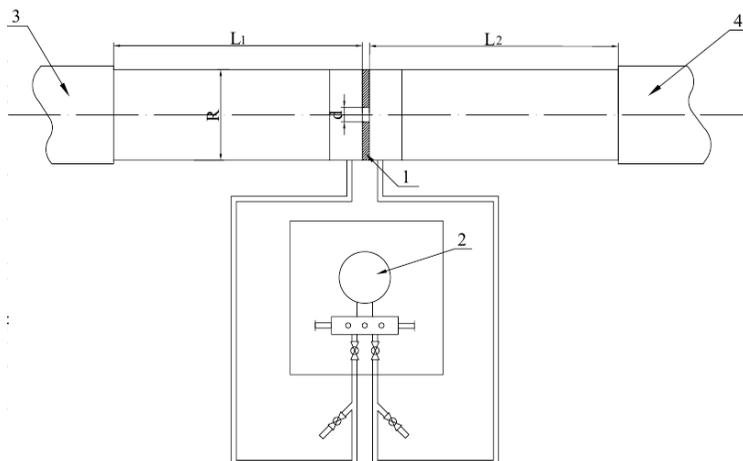


Рис. 3. Схема монтажа расходомера Rosemount 3095 с ДКС

Для измерения расхода по перепаду давления выполнен выбор комплекта камерной диафрагмы (ДКС) и расчет сужающего устройства для номинального расхода насоса и диапазона измерения расхода (рис. 3).

Rosemount 3095, имеющийся в наличии. Расчет сужающего устройства выполнен по методике [2, 3], в результате получен размер диафрагмы  $d_{20} = 10,8$  мм, под номинальный расход 2 т/ч, максимальный расход составляет 2,7 т/ч. Датчик давления позволяет измерять разность давления 200 кПа. Корректность расчёта проверена путём вычисления предельного значения расхода  $Q_{0пр}$ , соответствующего номинальному перепаду давления  $\Delta P_n$  дифманометра.

Схема подключения позволяет выполнять процедуру снятия установки расходомера, продувки импульсных трубок, широко распространённую на производстве [5].

### Библиографический список

1. Клюев А.С., Глазов Б.В., Дубровский А.Х. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: справочное пособие. – М.: Энергия, 1980. – 512 с.
2. ГОСТ 26969-86. Диафрагмы стандартные для расходомеров технические условия. – М., 1977.
3. ГСССД 2-77. Таблицы стандартных справочных данных. – М., 1977.
4. Промышленные приборы и средства автоматизации: Справочник / В.Я. Баранов, Т.Х. Безновская, В.А. Бек [и др.] / под общей ред. В.В. Черенкова. – Л.: Машиностроение, Ленинградское отделение. 1987. – 847 с.

### Сведения об авторах

**Гудкова Екатерина Андреевна** – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: gudkova335@gmail.com

**Арасланов Рустам Дамирович** – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: araslanovr439@gmail.com

**Вялых Илья Анатольевич** – доцент кафедры «Оборудование и автоматизация химических производств» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: araslanovr439@gmail.com

#### **About the authors**

**Gudkova Ekaterina Andreevna** – Student Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: gudkova335@gmail.com

**Araslanov Rustam Damirovith** – Student Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: araslanovr439@gmail.com

**Vyalykh Ilya Anatolievich** – Associate Professor Department of Equipment and Automation of Chemical Production Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: ilya.vyalyh@pstu.ru

## **ВИРТУАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ГАЗОТУРБИНЫМИ ГЕНЕРИРУЮЩИМИ МОДУЛЯМИ**

**Е.А. Старцев, Б.В. Кавалеров**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

Статья посвящена решению актуальной задачи, связанной с распределением электрической энергии и повышением энергоэффективности в сетях электроснабжения. Для решения этой задачи предлагается интеллектуализация управления газотурбинными электростанциями малой и средней мощности. По этой теме сейчас проводятся научные исследования на кафедре электротехники и электромеханики Пермского национального исследовательского политехнического университета с участием студентов. В статье рассматривается новая концепция «виртуальной электростанции» и возможность ее использования при управлении газотурбинными электростанциями. Показаны преимущества данной концепции. Ее использование позволит выделить ограниченную область внешней по отношению к электростанции электрической системы. В перспективе предполагается построение динамической модели этой области с использованием искусственных нейронных сетей.

**Ключевые слова:** виртуальная электростанция; искусственный интеллект; надежность; качество электроэнергии; распределение и управление электроэнергией, газотурбинная электростанция; искусственная нейронная сеть.

## **VIRTUAL POWER PLANTS FOR GAS TURBINE GENERATING MODULES INTELLIGENT CONTROL**

**E.A. Startsev, B.V. KavaleroV**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

This article is dedicated to solving an urgent problem related to electric energy distribution and increasing energy efficiency in power supply networks. It is proposed to intellectualize the control of small and medium capacity gas turbine power plants to solve this problem. Scientific research on this topic is currently being carried out at the Electrical Engineering and Electromechanics Department of the Perm National Research Polytechnic University with the participation of students. The article discusses the new concept of "virtual power plant" and the possibility of its use in the gas turbine power plants management, advantages of this concept are shown. Virtual power plant using will allow assigning a limited area of the electrical system external to the power plant. In the future, it is planned to build a dynamic model of this area using artificial neural networks.

**Keywords:** virtual power plant; artificial intelligence; reliability; electricity quality; electricity distribution and management; gas turbine power plant; artificial neural network.

Газотурбинные установки малой и средней мощности в настоящее время массово производятся предприятиями г. Перми на базе авиационных двигателей, при этом мощностной ряд одного энергоблока может составлять от 2,5 до 25 МВт и более. Во всем мире теперь быстрыми темпами создаются сети малых электростанций, при этом глубоко и всесторонне исследуются вопросы надежности, экологичности, безопасности электроснабжения и рационального распределения природных ресурсов. Во многих европейских странах на долю таких сетей уже в настоящее время приходится основной объем производимой и распределяемой электроэнергии.

Известно, что малая энергетика – это практически неуничтожимая энергетика, энергетика будущего. Ближайшая аналогия здесь – это сеть Интернет, поэтому формирование систем на основе таких малых и средних газотурбинных электростанций (ГТЭС) отвечает интересам построения в России ресурсосберегающей и безопасной экономики. Такие электростанции должны адекватно реагировать на изменения режима работы электроэнергетической системы (ЭЭС), самоприспосабливаться к изменяющейся внешней обстановке, взаимодействуя при этом с такими же автономными энергетическими модулями. Взаимодействие происходит через общую среду – ЭЭС, и при этом нужно обеспечивать в заданных узлах ЭЭС и у потребителей требуемые показатели качества вырабатываемой электроэнергии, обеспечивать поддержание и повышение надежности передачи и распределения электроэнергии, достижение рационального использования природных ресурсов за счет оперативного маневрирования наличными резервами мощности.

В настоящее время на кафедре электротехники и электромеханики Пермского национального исследовательского политехнического университета с участием студентов реализуется научно-исследовательский проект по поиску путей интеллектуализации управления такими газотурбинными установками в составе распределенной системы электроснабжения.

Предпринятый поиск вариантов построения подобных систем по публикациям различных авторов [1–5] позволил выделить интересное и перспективное направление – «виртуальные электростанции». Целью настоящей статьи является исследование предложенной концепции «виртуальная электростанция» и анализ перспектив ее применения для решения задачи интеллектуализации управления ГТЭС

в составе ЭЭС произвольного состава и конфигурации. Ценность рассматриваемой концепции для выполняемых поисковых научных исследований состоит в том, что ее использование позволит укрупнить структурные модули при управлении электросистемой и рассматривать не отдельные ГТЭС, а совокупности генерирующих модулей, которые рассматриваются как единая виртуальная сущность. При этом становится возможной постановка задачи управления такими системами так, как будто это реальная электростанция, а не совокупность отдельных электростанций разнообразного исполнения: газотурбинных, газопоршневых, парогазовых или выполненных на основе возобновляемых, альтернативных источников энергии.

**Понятие виртуальной электростанции.** Термин «виртуальная электростанция» довольно новый. Основная концепция состоит в том, что генераторы электроэнергии, включающие как устройства, работающие на возобновляемых источниках энергии, так и уже традиционные установки, работающие на природном газе, дизельном топливе и т.д., образуют систему согласованно работающих устройств, которые контролируются и управляются из единого центра.

Зададимся вопросом: что такое виртуальная электростанция (ВЭ)? Ключевая идея ВЭ – распределенная облачная система-агрегатор, которая объединяет и перераспределяет электроэнергию различных источников и производителей. Данная система обеспечивает получение дополнительных мощностей без инвестиций в их строительство. Инфраструктура ВЭ – это системы учета потребления и отдачи в сеть электроэнергии, и программное обеспечение для балансирования энергосистемы и сглаживания пиковых нагрузок [2].

Выработка энергии возобновляемыми источниками зависит от погоды и часто достигает максимума, когда она не требуется. Современные газогенераторы способные гибко реагировать на необходимость увеличения выработки за счет добавления топлива, являются дорогостоящим и неэкологичным способом решения этой проблемы. Но в то же время можно особым образом изменить график потребления и перераспределить нагрузку по фидерам, чтобы отпала необходимость в дополнительных генераторах. Поэтому появился подход, называемый «виртуальная электростанция». Это технология заключается в точечном управлении потреблением электроэнергии в большом количестве домов и офисов, частичном отключении и включении потребителей в соответствии с требованиями к потреблению

энергии. Но для этого нужно иметь доступ к тысячам устройств для достаточно быстрого реагирования, а это непростая задача.

Рассмотрим пример реализации подобной виртуальной системы.

Три компании из Канады реализовали совместное управление комбинацией подключенных нагрузок мощностью 11,5 МВт. Эти нагрузки не просто могут отключаться на некоторое время для уменьшения сбоев в сети, они могут поглощать избыточную мощность. Таким образом, вместо того, чтобы просить потребителей отключиться по принципу «все или ничего», была построена структура с оборудованием для отдельных пользователей, объединенных в пять отдельных поставщиков услуг, для управления спросом и управления ими на региональной основе. Эта структура основана на идее распределенной системы балансировки сети с иерархическим управлением. На рисунке 1 показано объединение потребителей и генераторов в согласованные кластеры, которые образуют четыре виртуальных электростанции [4].

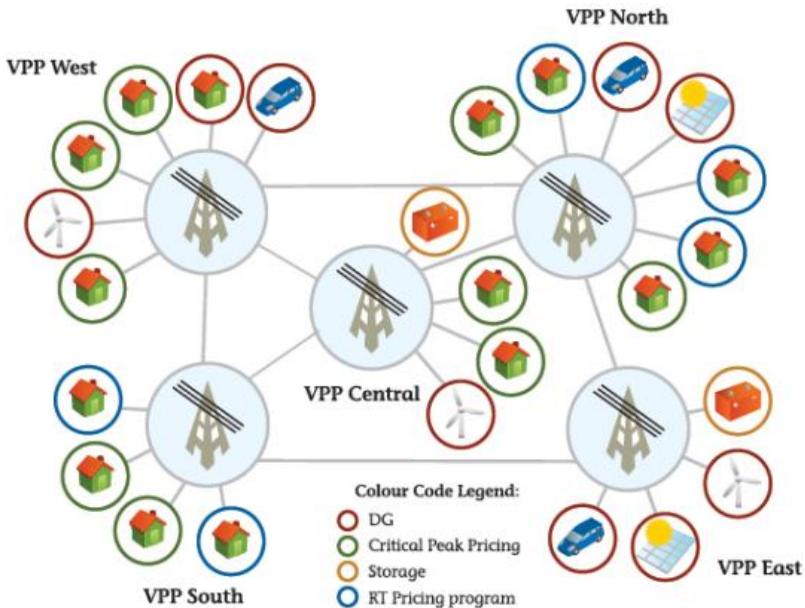


Рис. 1. Логическая структура энергосистемы с четырьмя координированными виртуальными электростанциями: DG – распределенный источник, Critical Peak Pricing – ценообразование в пиковый период, Storage – накопители, RT Pricing Program – участники программы оплаты в реальном времени [5]

Основными узлами системы являются индивидуальные нагрузки, позволяющие переключаться во времени и снижать энергопотребление. Они включают в себя различное электрооборудование, например системы кондиционирования воздуха в зданиях, которые медленно меняют настройки температуры в течение дня [4].

Таким образом, ВЭ – это информационная система, в которой информация о доступном производстве и спросе на электрическую энергию циркулирует в режиме реального времени. А также возможность автоматически определять наиболее эффективный источник на данный момент с учетом множества факторов, от рыночной ситуации до прогноза погоды.

В настоящее время вопросам изучения возможностей создания и функционирования виртуальных электростанций уделяется повышенное внимание в многочисленных научных исследованиях, предпринимаемых в разных странах мира. При этом нужно отметить, что большинство этих исследований посвящены сугубо экономическим аспектам, а именно вопросам купли-продажи электрической энергии. И в этом нет ничего странного. Ведь изначально цель такая и была: выгодно продавать электроэнергию, а для этого соответственным образом и управлять такой «виртуальной электростанцией». Однако в настоящее время всё большее внимание уделяется и вопросам чисто технической реализации подобных виртуальных электростанций [3]. При этом в рассмотрении значимыми становятся и такие характеристики, как надежность и качество вырабатываемой электроэнергии.

Кратко рассмотрим состав и особенности виртуальных электростанций. Виртуальная электростанция состоит из трех разных групп элементов:

- элементы, производящие электрическую энергию (генерирующие установки);
- элементы, потребляющие электрическую энергию и подвергаемые управлению, среди них: бытовые (холодильники, телевизоры, стиральные машины и т.д.) и промышленные, функционирование которых во многом зависит от конкретного технологического процесса.
- элементы, накапливающие электрическую энергию (различные аккумуляторы, механические и гидравлические накопители).

В литературных источниках отмечаются следующие преимущества виртуальных электростанций: во-первых, из-за того, что энергия вырабатывается вблизи места потребления и распределяется между

участниками, нет необходимости транспортировать ее на большие расстояния при высоком напряжении. Таким образом, потери энергии снижаются до минимума или вообще исчезают.

Во-вторых, надежность системы повышается за счет оптимизации процесса производства энергии в реальном времени в соответствии с потреблением.

Кроме того, виртуальные электростанции управляют своими компонентами наиболее экономичным способом благодаря способности быстро реагировать на изменения местных условий нагрузки и учитывать изменяющиеся параметры энергетических компаний.

**Интеллектуализация управления ГТЭС с применением концепции виртуальной электростанции.** Создание электростанций малой и средней мощности на базе газотурбинных установок – одно из конкурентно-значимых направлений отечественной промышленности. Например, в г. Перми уже почти 30 лет создают энергетические газотурбинные установки на базе авиационных двигателей Д-30 и ПС-90 для построения на их основе газотурбинных электростанций (ГТЭС) различной мощности и различного числа генерирующих модулей. Целый комплекс предприятий города занимается созданием «под ключ» таких электростанций и внедрением их у потребителя, почти каждый такой проект «де-факто» является уникальным. Приходится учитывать особенности и характеристики работы электростанции в каждом конкретном случае. Поэтому важную роль играют системы управления, автоматизированные системы управления технологическим процессом (АСУ ТП), которые создаются одновременно с новыми электростанциями. И не только ГТЭС, но и сами по себе газотурбинные установки (ГТУ) работоспособны только при наличии системы автоматического управления (САУ).

Зачастую САУ ГТУ строятся до сих пор на принципах построения САУ авиационных двигателей, но эти двигатели теперь конвертированы для работы в новых условиях. Они становятся приводом для электрогенераторов. Недостатки таких традиционных подходов сказываются и на более высоких уровнях управления, например на уровне АСУ ТП. В результате неэффективной работы АСУ малых и средних электростанций страдает качество вырабатываемой электроэнергии по частоте и напряжению, ухудшается надежность, экономичность и экологичность преобразования природного и попутного нефтяного газа в электрическую энергию и тепло.

Ситуация осложняется тем, что такие ГТЭС должны функционировать в системе, где одна электростанция оказывает влияние на другие, и это влияние нужно как-то учитывать. Ввиду сложности возникающей задачи управления многосвязным, многокомпонентным объектом с изменяющейся конфигурацией необходимо привлекать новейшие достижения теории автоматического управления и, в частности, интеллектуализированное управление.

Поэтому в настоящее время проводятся разнообразные исследования в области использования различных элементов искусственного интеллекта, в частности, искусственных нейронных сетей и построенных на их основе нейросетевых моделей для совместного решения комплекса вопросов производства, распределения, энергоресурсосбережения, надежности и безопасности электроснабжения. Не секрет, что сегодня при работе в составе сети малых генерирующих мощностей возникают нередко аварийные ситуации из-за конфликта отдельных электростанций между собой, что во многом сводит на нет преимущества сети малых энергетических модулей как практически неубиваемой системы электроснабжения. Помимо этого в рамках одного энергомодуля ГТЭС тоже имеют место конфликты между отдельными взаимодействующими САУ, например САУ ГТУ и САУ синхронным генератором. Неправильное их взаимодействие приводит к развитию аварийных ситуаций, например самораскачиванию, приводящему к срабатыванию защит и аварийному отключению электростанций. Для снятия этих проблем и рассматриваются возможности интеллектуализации управления такими ГТЭС при работе в составе сети подобных электростанций.

Концепция виртуальной электростанции открывает в этом вопросе дополнительные и серьезные перспективы. Настоящая статья – только первый шаг в этом исследовании. Ближайшие результаты планируется получить и оценить при помощи математического моделирования на уже имеющихся в распоряжении исследователей оригинальных программных средствах.

Рассмотрим, как может быть использована концепция виртуальной электростанции при интеллектуализации управления ГТЭС. Как было отмечено, отдельная ГТЭС должна в перспективе «видеть» окружающую обстановку (рис. 2). Этой обстановкой является внешняя по отношению к ГТЭС ЭЭС. Так вот, реализацию данной концепции целесообразно начать с выделенных секторов ЭЭС, которые следует рассматривать в качестве виртуальных электростанций.

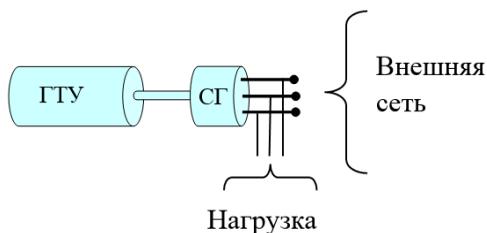


Рис. 2. ГТЭС как открытая система

Такие выделенные секторы ЭЭС позволят легче решать задачи построения математических моделей, по которым будет возможно ориентироваться в изменяющейся обстановке. В настоящее время для этих целей исследуется возможность применения искусственных нейронных сетей (ИНС) [1]. ИНС используются как средство моделирования ЭЭС, в настоящее время получены такие модели для ряда структур. Однако встает задача выбора ограниченной области ЭЭС, и такой ограниченной областью ЭЭС в перспективе может рассматриваться виртуальная электростанция, состоящая из ограниченного набора генерирующих модулей.

**Заключение.** Исходя из вышеизложенного, использование виртуальных электростанций сокращает потери на передачу электроэнергии, уменьшает потребности в создании резервов для компенсации пиковых потреблений энергосистемы, в реальном времени оптимизирует процесс производства энергии в соответствии со спросом. Не создавая электроэнергию непосредственно, виртуальные электростанции позволяют высвободить дополнительные мощности благодаря интеллектуальному управлению потребителями.

Очень важно, что это более экологичный способ снизить вредные выбросы в атмосферу, чем традиционная генерация с управляемыми параметрами.

Таким образом, виртуальные электростанции обеспечивают максимум преимуществ всем участникам процесса – от генерирующих и транспортирующих компаний до конечных потребителей.

Следовательно, концепция виртуальных электростанций может быть рекомендована для изучения и применения при решении задач интеллектуализации управления ГТЭС.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Пермского края в рамках научного проекта № 19-48-590012*

## Библиографический список

1. Ждановский Е.О., Кавалеров Б.В., Килин Г.А. Разработка нейросетевой модели газотурбинной электростанции для настройки регуляторов газотурбинной установки // *Фундаментальные исследования*. – 2017. – Т. 3, № 12. – С. 479–485.
2. Крылов В.В., Крылов С.В. Большие данные и их приложения в электроэнергетике, от бизнес-аналитики до виртуальных электростанций [Электронный ресурс]. – URL: [publications.hse.ru](http://publications.hse.ru) (дата обращения: 25.10.2020).
3. Данилова Т. Виртуальные электростанции и реальные киловатты [Электронный ресурс] // *Атомный эксперт*. – 2018. – № 9. – С. 49–54. – URL: [https://www.dropbox.com/s/ek1plwz1vko5h9q/AE\\_%239\\_2018\\_web.pdf?dl=0](https://www.dropbox.com/s/ek1plwz1vko5h9q/AE_%239_2018_web.pdf?dl=0) (дата обращения: 03.10.2020).
4. Повышение эффективности децентрализованных систем электроснабжения [Электронный ресурс] / Е.Н. Соснина, А.В. Шалухо, И.А. Липужин, А.Ю. Кечкин, А.А. Ворошилов // *Тр. НГТУ им. П.Е. Алексеева*. – 2018. – № 3(122). – С. 81–91. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-effektivnosti-detsentralizovannyh-sistem-elektrosnabzheniya/viewer> (дата обращения: 18.09.2020).
5. Zurborg A. Unlocking Customer Value: The Virtual Power Plant. – 2010 [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.energy.gov/sites/prod/files/oeprod/DocumentsandMedia/ABB\\_Attachment.pdf](https://www.energy.gov/sites/prod/files/oeprod/DocumentsandMedia/ABB_Attachment.pdf) (дата обращения: 24.10.2020).

## Сведения об авторах

**Старцев Евгений Александрович** – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: [starcev.2013s@yandex.ru](mailto:starcev.2013s@yandex.ru)

**Кавалеров Борис Владимирович** – доктор технических наук, заведующий кафедрой «Электротехника и электромеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: [kbv@pstu.ru](mailto:kbv@pstu.ru)

## About the authors

**Startsev Evgeny Alexandrovich** – Student Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: [starcev.2013s@yandex.ru](mailto:starcev.2013s@yandex.ru)

**Kavalerov Boris Vladimirovich** – Doctor of Technical Sciences, Head of Electrical Engineering and Electromechanics Department Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: [kbv@pstu.ru](mailto:kbv@pstu.ru)

## **ОБЗОР ОСНОВНЫХ ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ КАБЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ И ОБОРУДОВАНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМОГО ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ**

**Д.М. Мичков, М.В. Козицына**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

Данная работа посвящена обзору основных тенденций развития кабельной промышленности, новых материалов, а также оборудования, используемого для его переработки. Также рассмотрены аспекты процесса течения полимерным материалов в кабельных головках. Сделан акцент на оборудовании применяемом при производстве полимерной изоляции.

**Ключевые слова:** полимеры; кабельные головки; производство.

## **OVERVIEW OF THE MAIN TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF CABLE PRODUCTS AND EQUIPMENT USED IN PRODUCTION**

**D.M. Michkov, M.V. Kozitsyna**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

This paper is devoted to an overview of the main trends in the development of the cable industry, new materials, as well as equipment used for its processing. This article also discusses aspects of the flow of polymer materials in cable heads. Emphasis is placed on the equipment used in the production of polymer insulation.

**Keywords:** polymers; cable heads; manufacturing.

В настоящее время тенденции развития общества во многом связаны с цифровизацией экономики и умных интернет-вещей, затрагивающих жизнь практически каждого человека, что во многом определяет вектор развития кабельной промышленности, которая в свою очередь направлена на создание изделий данного применения [1]. При столь стремительном течении жизни Интернет и различные приложения глубоко проникли в нашу жизнь. Постоянно возрастающий спрос на использование возможностей Интернета приводит к увеличению числа провайдеров данных услуг, и соответственно большей производительности широкополосных сетей. Из этого следует, что перед кабельной промышленностью стоят актуальные задачи по созданию новых кабельных изделий, состоящих из новых материалов.

Как было отмечено в работе [2], реализация программы «Цифровая экономика» может повысить темп развития рынка российского волокна, но в данный момент основной объем используемого волокна импортируется из других стран. Также было отмечено, что, несмотря на внедрение новых материалов, преобладающими в кабельной промышленности остаются поливинилхлоридные пластикаты [3]. Так, по данным на 2017 г. доля их применения составила 60 % [2]. В качестве изоляции для кабелей на среднее и высокое напряжение в основном применяется импортный пероксидосшиваемый полиэтилен. В России запущено производство данного материала для изоляции кабелей на среднее напряжение до 35 кВ. Перед отечественными производителями импортозамещение играет одну из главнейших ролей на сегодняшний день: на 2017 г. потребление пероксидосшиваемый композиций составило 18 %, а электропроводящих – 43 %.

Можно сделать вывод, что отечественное производство пока не может обеспечить высокое качество большинства полимерных композиций. Следовательно, производителями кабельных изделий нашей страны предстоит огромная работа по импортозамещению полимерных материалов.

Начнём с одной из главных терминологий этой статьи: полимер – это материал, состоящий из длинных повторяющихся цепочек молекул, которые в свою очередь гнутся и тянутся или, наоборот, быть жесткими и твёрдыми в зависимости от типа соединяемых молекул и от того, как они соединены. Чаще всего термин «полимер» применяется для представления пластика, который является синтетическим полимером. Далее познакомимся поближе с историей открытия.

**История создания полимеров.** В истории считается первым, открывшим полимер – преподаватель органической химии из Швейцарской высшей технической школы Цюриха Герман Штаудингер. Исследование, в котором рассказывается про естественные и синтетические полимеры, было упомянуто в истории 1920 г. Позже он ввёл два ключевых термина: макромолекула и полимеризация. В 1953 г. Штаудингер получил Нобелевскую премию за его открытия в «макромолекулярной химии». Достаточно интересный процесс с физической точки зрения: полимеризация – процесс получения высокомолекулярных веществ, в котором молекула полимера образуется в результате последовательного присоединения молекул одного или нескольких низкомолекулярных веществ (мономеров) [4].

Введём дополнительную теорию: наука о внутренней реакции материала, которая изучает свойства полимерных жидкостей под действием приложенной силы, называется реологией. Наиболее часто реологические свойства материалов рассматривают в двух простейших средах: ньютоновская жидкость и гуковское твёрдое тело [5]. Основа большинства полимерные композиции – это каучук (натуральный каучук, этиленпропиленовый, хлоропреновый, изопреновый), термопласт (ПВХ пластикат, полиэтилен, сшитый полиэтилен), термопластичные эластомеры (стирольные, уретановые) [3]. Для наложения полимерных композиций используют кабельные головки.

**Обзор кабельных головок.** В настоящее время технология экструдирования является важнейшей в кабельном производстве. Для создания изоляции из пероксидосшиваемого полиэтилена для кабелей на среднее и высокое напряжение используются экструзионные головки, принцип действия которых заключается в наложении расплава полимера на токопроводящую жилу, как представлено на рис. 1, расплав полимера при этом подается из экструдера.

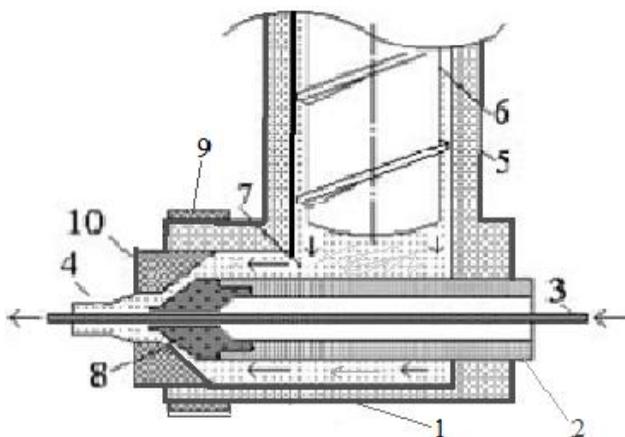


Рис. 1. Структура напорной кабельной головки экструдера: 1 – корпус головки; 2 – дорнодержатель; 3 – изолируемая токопроводящая жила; 4 – изолированная полимером токопроводящая жила; 5 – цилиндр экструдера; 6 – шнек; 7 – расплав самой полимерной композиции; 8 – дорн; 9 – нагревательный элемент; 10 – матрица

Для создания пленок и листов применяются щелевые головки, структура одной из них представлена на рис. 2. Принцип их работы заключается в преобразовании изначально круглой формы расплава

в плоский прямоугольный лист (плёнку). После изменений в форме идёт распределение расплава с помощью коллектора.

Схематично щелевая головка представлена на рис. 2, как видно на рисунке, полимерный расплав попадает из центрального канала в щелевую головку, а после этого симметрично распределяется в обе стороны. После описанных действий получается плоский экструдат (расплавленный термопласт, который образуется путём выдавливания из экструдера) с одинаковой толщиной стенки [6].

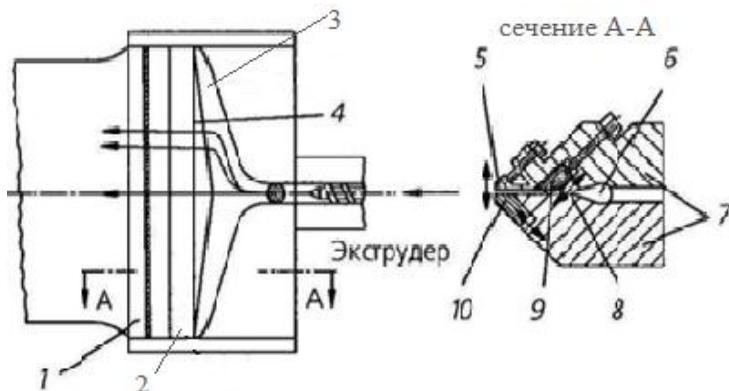


Рис. 2. Структура плоскощелевой головки для экструзии плоской плёнки: 1 – губка; 2 – место, где регулируется расход; 3 – коллектор; 4 – вытесняющий островок; 5 – гибкая губка; 6 – коллектор; 7 – корпус головки; 8 – формирующий участок; 9 – регулирующая планка; 10 – регулируемая губка

На практике, для того, чтобы обеспечить максимальную равномерность распределения материала из полимерных композиций по ширине экструзионной головки, проектируют геометрию канала, учитывая все свойства материала, рабочие режимы переработки и реологические течения. Когда полимерный расплав продвигается через кабельную головку, он подвергается сдвиговой деформации. Во время течения полимера учитывают физические свойства расплава, так как происходит прилипание к стенкам канала кабельной головки и, в связи с этим, осуществляется сдвиговое течение, следовательно, меняется скорость потока по поперечному сечению канала [6].

Существуют разные виды кабельных головок:

1. Экструзионные головки с круглым поперечным сечением используют в производстве гранул, экструзии волокон.

2. Экструзионные головки с кольцевым выходным поперечным сечением – используют в производстве для труб, шлангов.

3. Профильные экструзионные головки – используют для производства произвольной формы.

4. Экструзионные головки для экструзии вспененных полуфабрикатов с помощью таких головок в производстве происходит вспенивание расплава на поздних стадиях.

5. Специализированные экструзионные головки используют в изготовлении крупных рукавных плёнок;

6. Головки для соэкструзии термопластов – для изготовления и наложения многослойных конструкций, полимерных расплавов.

7. Экструзионные головки для эластомеров – подразумевает прохождение расплава в безопасном диапазоне температур, т.е. не должна происходить преждевременная вулканизация.

Каждый вид экструзионной головки подходит для определенных типов полимерных композиций и играет важнейшую роль в производстве для кабельной промышленности. От правильного выбора экструзионной головки и настройки подходящего температурного режима для благоприятных условий зависит качественное наложение полимерных композиций. В противном случае полученный материал будет с дефектами, например могут образовываться поры в изоляции, что впоследствии приведёт к снижению электрической прочности.

**Заключение.** В данной работе рассмотрены основные тенденции развития кабельной отрасли, выявлены приоритетные задачи, стоящие перед областью в целом, введены ключевые понятия в этой теме, затронута сама история создания изоляционного покрытия из полимерной композиции. Рассмотрены основные материалы, используемые при производстве изоляционных покрытий. Приведен обзор кабельных головок, используемых для актуальных на сегодняшний день защитных покрытий, также кратко рассмотрены на теоретическом уровне процессы, происходящие в кабельной головке.

### **Библиографический список**

1. Мещанов В.Г. Мировая кабельная промышленность. Основные тенденции дальнейшего развития // Кабели и провода. – 2018. – № 6 (374). – С. 7–13.

2. Пешков И.Б. Материалы кабельного производства и экструзионные методы переработки полимеров // Кабели и провода. – 2019. – №3 (377). – С. 26–30.

3. Мещанов Г.И. Полимеры в кабельной промышленности. Состояние рынка, перспективы развития, производства, ситуация с импортозамещением // Кабели и провода. – 2018. – № 5 (373). – С. 4–9.

4. Яковлев А.Д. Технология изготовления изделий из пластмасс. – 3-е изд., перераб. – Л.: Химия, 1977. – С. 10.

5. Труфанова Н.М. Переработка полимеров: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во. Перм. гос. техн. ун-та, 2009. – 63 с.

6. Микаэли В. Экструзионные головки для пластмасс и резины: Конструкции и технические расчеты: пер. с англ. яз. / под. ред. В.П. Володина. – СПб.: Профессия, 2007. – 186 с.

### Сведения об авторах

**Мичков Денис Максимович** – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail:michkov\_den@mail.ru

**Козицына Мария Владимировна** – кандидат технических наук, доцент, ведущий инженер кафедры «Конструирование и технологии в электротехнике» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: bachurinamaria@gmail.com

### About the authors

**Michkov Denis Maksimovich** – Student Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: michkov\_den@mail.ru

**Kozitsyna Mariya Vladimirovna** – Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor leading engineer of the department of design and technology in electrical engineering Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: bachurinamaria@gmail.com

## **АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПОТРЕБИТЕЛЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПЛЕКСА АСКУЭ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

**В.Б. Козаченко, М.А. Клёнов, Е.В. Золотухина**

Нижевартовский государственный университет, Нижневартовск

В данной статье рассмотрены случаи, которые решаются с помощью комплекса АСКУЭ для оптимизации системы электроснабжения, его возможности, положительные стороны использования. Приведены графики и диаграммы.

**Ключевые слова:** АСКУЭ; потребители; анализ; перенапряжение.

## **ANALYSIS OF CONSUMER POWER QUALITY PARAMETERS WITH THE APPLICATION OF THE ASKUE COMPLEX FOR OPTIMIZING THE POWER SUPPLY SYSTEM**

**V.B. Kozachenko, M.A. Klenov, E.V. Zolotukhina**

Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk

This article discusses cases that are solved using the ASKUE complex to optimize the power supply system, its capabilities, and the positive aspects of its use. Graphs and diagrams are provided.

**Keywords:** ASKUE; consumers; analysis; overvoltage.

Значительную долю потребителей городских сетей электроснабжения составляют частные потребители или потребители, входящие в состав садовых товариществ. Отличительной особенностью данных структурных единиц является продолжительный срок эксплуатации систем электроснабжения, изношенность оборудования, низкое качество материалов и оборудования, применяемого для организации электроснабжения потребителей. В большинстве случаев данная ситуация сложилась исторически в связи с урбанизацией и муниципальным ростом. Основываясь на организационной форме управления данных субъектов, можно наблюдать, что обслуживанием системы электроснабжения занимаются либо индивидуальные предприниматели, либо это производится силами потребителей. В связи с чем оборудование и материалы приобретаются с минимальными затратами, график ППП оборудования отсутствует или не соблюдается, работающее оборудование работает за пределами установленного срока эксплуатации.

При текущей ситуации обслуживания данных систем электро-снабжения требуется анализ существующего положения и затрат для качественной и стабильной поставки электроэнергии конечному потребителю. При оценке электроэнергии как товара следует понимать его качественные показатели для эффективной поставки конечному потребителю. В соответствии с ГОСТ 32144-2013 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения» выделяются следующие основные параметры качества электрической энергии.

Продолжительные изменения характеристик напряжения [1]:

- отклонение частоты;
- медленные изменения напряжения;
- колебания напряжения и фликер;
- одиночные быстрые изменения напряжения;
- несинусоидальность напряжения;
- гармонические составляющие напряжения;
- интергармонические составляющие напряжения;
- несимметрия напряжений в трехфазных системах.

Случайные события:

- прерывания напряжения;
- провалы напряжения и перенапряжения;
- провалы напряжения;
- перенапряжения;
- определение и оценка провалов напряжения и перенапряжений;
- импульсные напряжения.

Для анализа существующего состояния параметров электрической энергии необходимо получение данных для анализа. В рассматриваемой нами системе электроснабжения существует действующий комплекс АСКУЭ, в котором организован сбор данных с однофазных и трехфазных счетчиков сплит исполнения с функциональными возможностями по считыванию:

- профилей мощности;
- суточных, месячных, текущих параметров электрической энергии;
- хранение архивов показателей электрической энергии (до 2 месяцев);
- определение векторных составляющих (для 3-фазных счетчиков электрической энергии).

На основании данных функциональных возможностей и требований, предъявляемых к системам АСКУЭ Постановлением Правительства РФ от 19 июня 2020 г. № 890 «О порядке предоставления доступа к минимальному набору функций интеллектуальных систем учета электрической энергии (мощности)», которое обязует организацию, обслуживающую систему АСКУЭ, предоставлять данные о [2]:

- информация о нарушении индивидуальных параметров качества электроснабжения по точке учета;

- параметре медленного изменения напряжения, определяемым суммарной продолжительностью времени положительного и отрицательного отклонения уровня напряжения в точке измерения электрической энергии; параметр считается нарушенным, если отклонение произошло более чем на 10 % от номинального напряжения в интервале измерений, равном 10 мин;

- параметре перенапряжения, определяемым количеством фактов положительного отклонения уровня напряжения в точке поставки электрической энергии; параметр считается нарушенным, если отклонение произошло на 20 % и более от номинального напряжения;

- пороге превышения соотношения величин потребления активной и реактивной мощности, а также длительность отклонения соотношения потребления активной и реактивной мощности от предельного значения, установленного в соответствии с нормативными правовыми актами Российской Федерации в сфере электроэнергетики, и максимального значения отклонения в расчетном периоде по точке поставки.

Для исследования параметров зафиксированы значения напряжения за произвольный период в течение месяца, для однофазных приборов учета – почасовые значения напряжения и количество зафиксированных за данный период фактов отклонения напряжения более чем на 20 %. Для исследования представлена поопорная схема электроснабжения потребителей товарищества с указанием пофазно установленных приборов учета электроэнергии (рис. 1).

На основании полученных данных можно в первую очередь зафиксировать, что неравномерное распределение потребителей по фазам электрической сети в моменты пиковых нагрузок приводит к нарушению показателей электроэнергии по другим фазам сети (рис. 2).

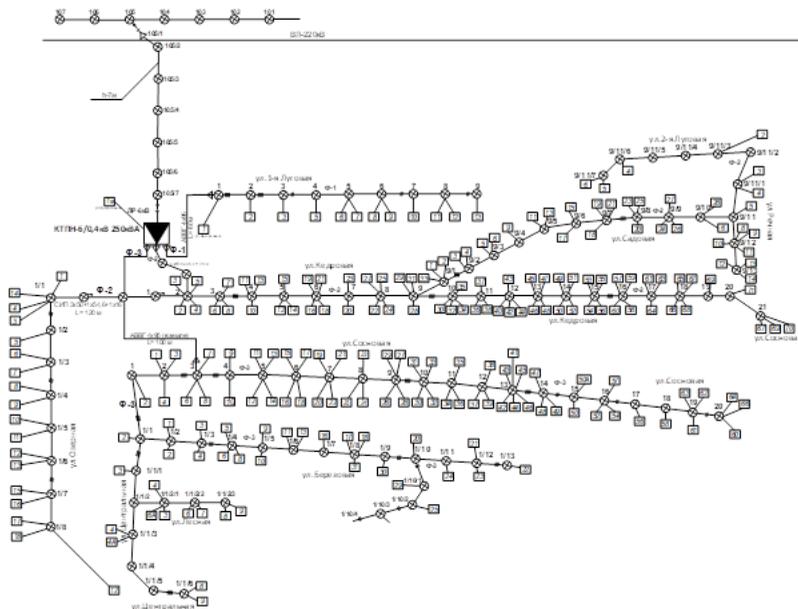


Рис. 1. Поопорная схема исследуемого объекта

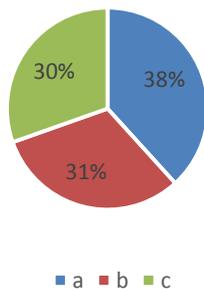


Рис. 2. Распределение нагрузки по фазам электрической сети

Также зафиксированы случаи, когда потребители превышают установленную мощность, в связи с чем превышает нормальную перегрузочную способность силовых питающих трансформаторов, что приводит к общему снижению напряжения на остальных потребителях (рис. 3, 4).

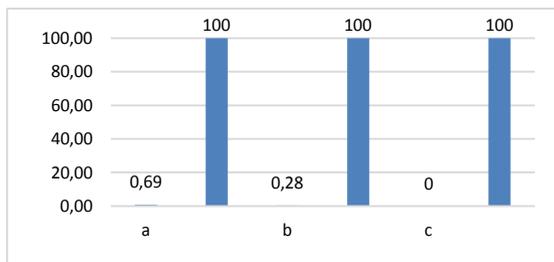


Рис. 3. Объем перенапряжений за рассматриваемый период

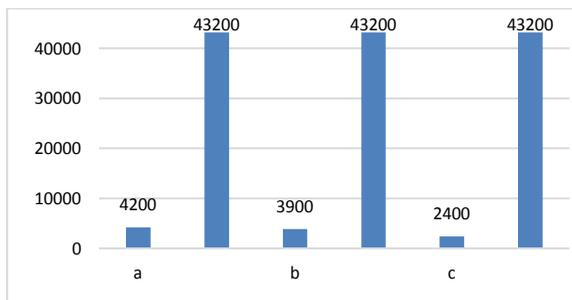


Рис. 4. Продолжительность отклонений напряжения за рассматриваемый период

Для решения данной проблемы есть возможность функционально ограничить значение максимальной потребляемой мощности на ИПУ, но также рекомендуется перераспределить нагрузку по фазам электрической сети, что позволит оптимизировать ситуацию с нарушением параметров качества электроэнергии, исключая значительные затраты на замену силового оборудования.

На основании полученных данных можно сделать выводы, что для обслуживания системы электроснабжения объектов данного типа требуются значительные затраты и мероприятия для обеспечения поставки электроэнергии надлежащего качества. Огромное значение для приведения к нормативам таких систем имеет наличие системы АСКУЭ при обслуживании. При правильной реализации системы автоматики можно получать своевременно данные для анализа работы и планировать действия по оптимизации и расширению работы систем электроснабжения. Кроме того, снижается нагрузка на обслуживающий персонал, что позволяет более эффективно распределять рабочие ресурсы для обслуживания системы.

## Библиографический список

1. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения, выделяются следующие основные параметры качества электрической энергии. – М., 2013.

2. О порядке предоставления доступа к минимальному набору функций интеллектуальных систем учета электрической энергии (мощности): постановление Правительства РФ от 19 июня 2020 г. № 890. – М., 2020.

## Сведения об авторах

**Козаченко Владислав Богданович** – магистрант Нижневартовского государственного университета, Нижневартовск, e-mail: vladko2310@mail.ru

**Клёнов Максим Александрович** – магистрант Нижневартовского государственного университета, Нижневартовск, e-mail: kljonv.maks@yandex.ru

**Золотухина Екатерина Васильевна** – магистрант Нижневартовского государственного университета, Нижневартовск, e-mail: zolotukhina.cat@yandex.ru

## About the authors

**Kozachenko Vladislav Bogdanovich** – Master Student of Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk, e-mail: vladko2310@mail.ru

**Klenov Maksim Alexandrovich** – Master Student of Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk, e-mail: kljonv.maks@yandex.ru

**Zolotukhina Ekaterina Vasilevna** – Master Student of Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk, e-mail: zolotukhina.cat@yandex.ru

## ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПАССАЖИРСКИХ СУДАХ – ВНЕДРЕНИЕ НОВЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ

Д.Р. Абашев<sup>1</sup>, Е.В. Чабанова<sup>1</sup>, Е.А. Чабанов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Пермский филиал Волжского государственного университета водного транспорта, Пермь

<sup>2</sup>Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь

В данной статье исследованы возможности повышения безопасности на пассажирских теплоходах и внедрение новых систем контроля. А именно внедрение системы «умный дом» на суда, что позволит модернизировать их, давая им «вторую жизнь», повышая безопасность и скорость реагирования на устранение неполадок. В статье дается определение понятия, описание системы, которую необходимо контролировать. В заключение приводится наглядный пример пункта управления, его преимущества и возможность реализации.

**Ключевые слова:** модернизация системы контроля; система дистанционного управления; безопасность на водном транспорте; диагностика; центральный пункт управления; инновации; судно; Wi-Fi.

## IMPROVING SAFETY ON PASSENGER SHIPS – INTRODUCTION OF NEW CONTROL SYSTEMS

D.R. Abashev<sup>1</sup>, E.V. Chabanova<sup>1</sup>, E.A. Chabanov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Perm branch of Volga State University Of Water Transport, Perm

<sup>2</sup>Perm National Research Polytechnic University, Perm

This article focuses on improving safety on passenger ships and introducing new control systems. Namely, the introduction of the «smart home» system on ships, thereby upgrading them, and giving them a «second life», increasing safety and speed of response to Troubleshooting. First, the concept is given, then the systems that need to be controlled. Finally, a visual example of a control point, its advantages and feasibility is given.

**Keywords:** modernization of the control system; remote control system; water transport safety; diagnostics; Central control point; innovations; ship; Wi-Fi.

Безопасность на водном транспорте. Эта проблема с каждым годом приобретает все большую актуальность. Термин «транспортная безопасность» предполагает собой систему мер, которая обеспечивает сохранность груза, здоровья и жизни людей.

В настоящее время наука движется семимильными шагами в направлении высоких технологий, улучшающих качество жизни и работы людей. Такое движение возможно с развитием теории, которая должна подтверждаться практикой, а следовательно, приводить к появлению всё новых и новых устройств. Любое устройство, каким бы простым или тем более сложным оно ни было, нуждается в обслуживании и контроле работоспособности. Большое количество подобных устройств увеличивает финансовые и временные затраты, направленные на поддержание их в рабочем состоянии. Именно по этим причинам возникает необходимость развивать существующие и разрабатывать новые «умные технологии», которые основываются в том числе на дистанционном управлении. Эти современные технологии должны быть гибкими, поэтому носят цифровой характер и позволяют смоделировать и в дальнейшем сконструировать широкий спектр технологических процессов. Основной задачей дистанционного управления (ДУ) является сбор информации о текущем состоянии объектов системы (диагностика) и передача на них управляющих воздействий в реальном режиме времени [1].

При дистанционном управлении устройством или сборе информации о его текущем состоянии передача сигнала от рабочего персонала (системы) к объекту управления осуществляется без непосредственного контакта, т.е. они разнесены в пространстве на некоторое расстояние. Обычно в качестве устройства дистанционного управления используется электромагнитное устройство, в котором применяются специальные коммутационные аппараты (кнопки как органы управления; ключи, обычно электронные; переключатели для установки параметров) [1]. Дистанционное управление минимизирует трудозатраты, а следовательно, может значительно облегчить труд человека. Управление объектом будет обеспечивать точность заданных команд только при наличии автоматического контроля, благодаря которому система мгновенно реагирует и устраняет тот или иной недочет. Контроль характеристик и параметров объекта должен осуществляться автоматически (без участия человека) или в автоматизированном режиме (с минимальным участием человека). Такой контроль предполагает сбор информации о величинах тех параметров и характеристик

объекта, которые необходимо регулировать и которые полностью соответствуют правильному протеканию технологического процесса [2]. На самом деле водный транспорт не прощает каких-либо ошибок. Этот вид транспорта является очень опасным, при работе на нем важна четкость и слаженность работы всех систем, обеспечивающая безопасность жизни человека.

Инновационный процесс развития науки и техники не стоит на месте. XXI в. – век высоких технологий и повсеместной модернизации. Именно модернизация (обновление) является отправной точкой для всех технологий в настоящее время. Так, система «Умный дом» приобрела большую популярность и спрос. Близкое ознакомление с этой системой позволило выдвинуть идею внедрения подобной ей на судах («Умное судно» или «Умный корабль»), которые морально уже почти устарели, а, что важно, физически еще нет, т.е. способны еще на данный момент выполнять перечень возложенных на них операций. Эти самые суда нуждаются в модернизации, чтобы быть востребованными и составить достойную конкуренцию приходящим на смену новым, современным, усовершенствованным и более безопасным судам [3].

Система «Умный корабль» объединит вместе судовые коммуникации, которые обеспечивают контроль текущего состояния и движения судна, а также кают пассажиров. Капитан (или вахтенный начальник) будет видеть состояние кают, иметь возможность настраивать и контролировать оборудование на судне в соответствии с текущими требованиями в любое удобное время, а именно:

- регулировать степень внутреннего и наружного освещения;
- контролировать частоту вращения валов главных ДВС;
- управлять климатической системой в целом по судну или в каждом помещении индивидуально;
- осуществлять круглосуточный мониторинг температуры во всех производственных и жилых помещениях с отображением текущего состояния на центральном пульте управления;
- управлять системой контроля доступа во все помещения судна с возможностью оперативного вмешательства в связи с изменившимися текущими условиями;

- осуществлять видеонаблюдение общественных мест (коридоров, холлов, лестничных пролетов, обеденных залов, прогулочных палуб и др.) и рабочих помещений (машинного отделения, камбуза, рабочей палубы и др.) с целью контроля их текущего состояния, особенно по направлениям эвакуации людей при неблагоприятных ситуациях;

- управлять дистанционно дизель-генераторными агрегатами, обеспечивающими электроэнергией оборудование судна и аккумуляторные батареи;

- контролировать уровень различных жидкостей: горючесмазочных материалов, питьевой и технической воды;

- осуществлять мониторинг показаний приборов, установленных на различных устройствах судна;

- контролировать состояние различных систем сигнализации: аварийной, противопожарной, «помощи кают».

Центральный пункт управления целесообразно разместить на капитанском мостике, образуя единый логический и функциональный модуль. Физически этот пункт может быть реализован в виде современного электронно-вычислительного комплекса, состоящего из:

- персонального компьютера (сервера);

- сетевого концентратора для объединения всех цифровых устройств судна (в том числе отдельно стоящих ЭВМ) в единую компьютерную сеть;

- набора цифро-аналоговых и аналогово-цифровых преобразователей для приема сигналов от устройств и передачи им управляющих команд;

- комплект специализированного программного обеспечения, в котором представляется интерактивная 3D-модель судна (рис. 1), позволяющая при нажатии на любую точку получать полную картину интересующего помещения с полным перечнем неполадок;

- панель сенсорного управления.

Система «Умный корабль» также будет отслеживать «состояние кают»: если пассажир будет нуждаться в помощи, то система мгновенно среагирует, а именно на экране высветится световой, а через



К достоинствам беспроводной системы можно отнести следующее:

- отсутствие необходимости прокладки сигнальных кабелей и сопутствующей этому аппаратуры;

- низкая стоимость установки и обслуживания оборудования;
- малая продолжительность монтажа;
- высокая степень интерактивности;
- простота и удобство в использовании.

Для получения сигнала хорошего качества и обеспечения бесперебойного режима работы усилители сигналов Asus RP-AC68U располагают равномерно по всему судну (рис. 3) [4].

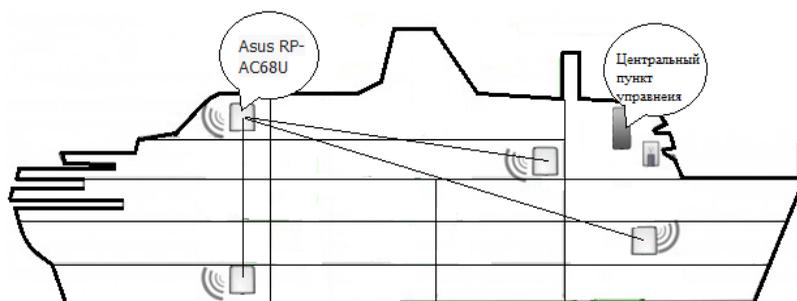


Рис. 3. Пример расстановки усилителей сигналов Asus RP-AC68U

Рассматриваемая автоматическая система управления имеет блочную структуру.

Каждый блок системы отвечает за определенные функции, поэтому обеспечивает соответствующий набор компьютерных программ.

Система имеет собственную базу данных, обеспечивая тем самым хранение истории появления всех процессов и событий, а также их содержательную часть и предпринятые меры по устранению неисправностей, что может в дальнейшем помочь ее ликвидации при повторном появлении [2, 5–7].

XXI в. – время новых открытий и модернизаций. Новые технологии преобразуют производимое оборудование, обеспечивая безопасность и комфорт использования.

Положительными сторонами рассмотренной технологии модернизации стареющих судов являются:

- экономия ресурсов по всем направлениям;
- повышение эргономичности;
- увеличение конкурентоспособности;
- повышение уровня безопасности (противопожарной, охранной и др.);
- снижение трудоемкости;
- увеличение потребительской заинтересованности у туристов;
- продление ресурса судна.

Предложенная модернизация может стать первой ступенью на пути к организации на судне системы «Умный корабль». Эта система позволит не только управлять всем оборудованием, но и повысит безопасность эксплуатации судов, что немаловажно [5].

### **Библиографический список**

1. Абашев Д.Р., Чабанов Е.А., Чабанова Е.В. Дистанционная диагностика и управление электрическим оборудованием судов // Транспорт: проблемы, цели, перспективы (ТРАНСПОРТ 2020): материалы всерос. науч.-техн. конф. (Пермь, 15 февраля 2020 г.) / под ред. канд. пед. наук., доц. Е.В. Чабановой – Пермь: Пермский филиал «ВГУВТ», 2020. – С. 10–12.

2. Шайхануров Р.Р., Злобин В.Е., Чабанов Е.А. Дистанционное управление водным транспортом // Транспорт: проблемы, цели, перспективы (ТРАНСПОРТ 2020): материалы всерос. науч.-техн. конф. (Пермь, 15 февраля 2020 г.) / под ред. канд. пед. наук., доц. Е.В. Чабановой – Пермь: Пермский филиал «ВГУВТ», 2020. – С. 73–75.

3. Шурыгина А.П., Чабанова Е.В. Автоматизированные информационные системы на автомобильном комплексе // Транспорт: проблемы, цели, перспективы (ТРАНСПОРТ 2020): материалы всерос. науч.-техн. конф. (Пермь, 15 февраля 2020 г.) / под ред. канд. пед. наук., доц. Е.В. Чабановой – Пермь: Пермский филиал «ВГУВТ», 2020. – С. 76–80.

4. Разработка альтернативного питания на судне/ М.И. Ажгихин, Е.А. Чабанов // Транспорт: проблемы, цели, перспективы (ТРАНСПОРТ 2020): материалы всерос. науч.-техн. конф. (Пермь, 15 февраля 2020 г.) / под ред. канд. пед. наук., доц. Е.В. Чабановой – Пермь: Пермский филиал «ВГУВТ», 2020. – С. 84–87.

5. Кудрин А.С., Скорюпина Л.С. Водный транспорт будущего // Транспорт: проблемы, цели, перспективы (ТРАНСПОРТ 2020): материалы всерос. науч.-техн. конф. (Пермь, 15 февраля 2020 г.) / под ред. канд. пед. наук., доц. Е.В. Чабановой – Пермь: Пермский филиал «ВГУВТ», 2020. – С. 188–190.

6. Казанцев Е.В., Брызгалова Е.А., Чабанова Е.В. Речные информационные системы // Транспорт: проблемы, цели, перспективы (ТРАНСПОРТ 2020): материалы всерос. науч.-техн. конф. (Пермь, 15 февраля 2020 г.) / под ред. канд. пед. наук., доц. Е.В. Чабановой – Пермь: Пермский филиал «ВГУВТ», 2020. – С. 28–32.

7. Четин А.В., Чабанов Е.А. Системы автоматического управления движением судна // Транспорт: проблемы, цели, перспективы (ТРАНСПОРТ 2020): материалы всероссийской научно-технической конференции (Пермь, 15 февраля 2020 г.) / под ред. канд. пед. наук, доц. Е.В. Чабановой – Пермь: Пермский филиал «ВГУВТ», 2020. – С. 69–72.

#### **Сведения об авторах**

**Абашев Данис Раисович** – студент Пермского филиала Волжского государственного университета водного транспорта, Пермь, e-mail: abashev.danis@yandex.ru

**Чабанова Евгения Владимировна** – кандидат педагогических наук, доцент, заведующая кафедрой «Специальности водного транспорта и управления на транспорте» Пермского филиала Волжского государственного университета водного транспорта, Пермь, e-mail: jentosina@yandex.ru

**Чабанов Евгений Александрович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Специальности водного транспорта и управления на транспорте» Пермского филиала Волжского госу-

дарственного университета водного транспорта, доцент кафедры «Электротехника и электромеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: ceapb@mail.ru

### **About the authors**

**Abashev Danis Raisovich** – Student of the Perm branch of the Volga State University of Water Transport, Perm, e-mail: abashev.danis@yandex.ru

**Chabanova Evgeniya Vladimirovna** – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Specialties of Water Transport and Transport Management, Perm Branch of the Volga State University of Water Transport, Perm, e-mail: jentosina@yandex.ru

**Chabanov Evgeny Aleksandrovich** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Specialties of Water Transport and Transport Management, Perm Branch of the Volga State University of Water Transport, Associate Professor of the Department of Electrical Engineering and Electromechanics Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: ceapb@mail.ru

**Секция 3**

**ИННОВАЦИОННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ.  
ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

## **АВТОНОМНАЯ СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ДЛЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ПЕРМСКОГО КРАЯ (РАЙОН пос. УСТЬ-ЧЕРНАЯ)**

**И.А. Мальцев**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

Данная статья посвящена солнечной и ветряной энергетике, рассмотрен проект автономной системы электроснабжения для индивидуальных потребителей.

**Ключевые слова:** эскизный проект; автономная система; электроснабжение; ветрогенератор; фотоэлектрический модуль; аккумуляторная батарея; солнечная инсоляция; скорость ветра.

## **AUTONOMOUS POWER SUPPLY SYSTEM FOR INDIVIDUAL CONSUMERS IN THE NORTH-WESTERN PART OF THE PERM REGION (UST-CHERNAYA DISTRICT)**

**I.A. Maltsev**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

This article is devoted to solar and wind power, the project of an Autonomous power supply system for individual consumers is considered.

**Keywords:** preliminary design; autonomous system; electrosupply; wind turbine; photovoltaic module; rechargeable battery; solar insolation; wind speed.

Проект автономной системы электроснабжения для индивидуальных потребителей северной-западной части Пермского края (район пос. Усть-Черной) с потребляемой суммарной энергией в неделю 600 кВт·ч, следовательно, в день это 85,7 (кВт·ч), в час 3,7 (кВт·ч).

В проекте обоснован выбор всех устройств, составлена схема электроснабжения, определена стоимость основного оборудования. В работе учтен вопрос импортозамещения и невозможность подключения к общей сети электроснабжения. Рассчитываемая система будет полностью автономной.

Среднее значение скорости ветра за 2019 г. в районе пос. Усть-Черная, равняется 3,275 (м/с) [1]. Эта информация нужна для выбора нашего ветрогенератора. Комплект выбранного оборудования должен

обеспечивать нормальное электроснабжение круглый год, так как для района пос. Усть-Черной характерно низкое значение скорости ветра, следовательно? необходимо выбрать ветроустановку малой мощности. Для работы в соответствующих условиях был выбран ветрогенератор компании EDS Group вертикально-осевого исполнения – Sokol Air Vertical 5кВт. Характеристики выбранной ветроустановки приведены ниже (табл. 1).

Таблица 1

Характеристики выбранной ветроустановки

Наименование	Sokol Air Vertical 5кВт
Страна, фирма-производитель	Россия, EDS-Grup
Диаметр ветроколеса, м	3,7
Максимальная мощность, кВт	5,15
Высота лопасти, м	4
Номинальное число оборотов, об/мин	90-95
Стартовая скорость ветра, м/с	1,6-2
Номинальная мощность, кВт	5
Номинальная скорость ветра, м/с	7,5

При скорости ветра 3,275 м/с ветрогенератор, согласно источнику [2], вырабатывает 2,3 кВт, следовательно, среднее значение вырабатываемой энергии в сутки составит 55,2 кВт·ч, оставшиеся 30,5 кВт·ч энергии будут вырабатываться при использовании солнечной энергии.

Производим расчет солнечной электростанции. Средние месячные значения инсоляции на поверхности Земли в день с оптимальным углом наклона в 48° составляет 3,114 кВт/м<sup>2</sup> [1], что продемонстрировано на рис. 1.

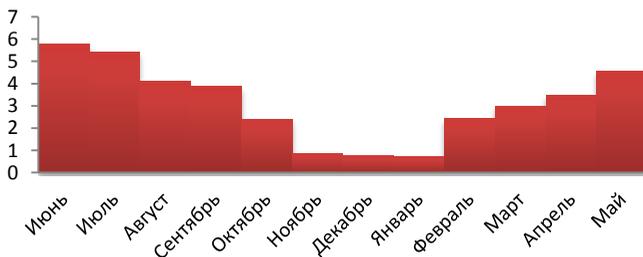


Рис. 1. Среднее годовое значение солнечной инсоляции, кВт/м<sup>2</sup>, в районе пос. Усть-Черная

В связи с тем, что в районе пос. Усть-Черная преобладают пасмурные дни ( $\approx 190$  дней в год), выбор сделан в пользу фотоэлектрических модулей на основе мультикристаллического кремния, так как данная структура лучше преобразовывает рассеянный свет и имеет более низкую стоимость.

Технические характеристики выбранных фотоэлектрических модулей ТСМ-250В приведены в табл. 2.

Таблица 2

Характеристика панелей

Модель	Фирма, страна	$\eta$ , %	P, Вт	$U_{\max}$ , В	$U_{\text{кк}}$ , В	$I_{\max}$ , А	Мак. P <sub>max</sub> кВт	Габариты [В×Г×Ш], мм
ТСМ-250В	ТЕЛЕКОМ-СТВ, Россия	20	240	34	42	7,3	0.25	1633×996×40

Комплект выбранного оборудования должен обеспечивать нормальное электроснабжение круглый год. Расчет количества солнечных модулей будем производить для 2 последовательно соединенных модулей, образующих одну линейку по формулам (1)–(5), основываясь на источнике [4].

1. Вычисляем площадь активной части:

$$1633 \cdot 996 = 1,63 \text{ м}^2. \quad (1)$$

2. Вычисляем возможную получаемую энергию за день:

$$3,114 \cdot 0.2 = 0,623 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}. \quad (2)$$

3. Площадь для 2 последовательно соединенным модулям:

$$1,63 \cdot 2 = 3,26 \text{ м}^2. \quad (3)$$

4. Максимально возможная получаемая энергия в день с линейки:

$$0,623 \cdot 3,26 = 2,031 \text{ кВт} \cdot \text{ч}. \quad (4)$$

5. Расчет необходимого числа фотоэлектрических модулей с учетом вырабатываемой энергией ветрогенератора:

$$\frac{30,5}{2,031} \cdot 2 = 30. \quad (5)$$

Производим выбор солнечного контроллера заряда АКБ. Использование АКБ общим напряжением 48 В, позволит добиться снижения потерь на преобразование электроэнергии в контроллере заря-

да, а также уберет необходимость использовать провода большого сечения. Рассчитываем емкость аккумулятора, с учетом работы от АКБ в течение 8 ч

$$Q = \frac{(P \cdot t)}{V \cdot k} = \frac{(5000 \cdot 8)}{48 \cdot 0,7} = 1,2 \text{ кА} \cdot \text{ч}, \quad (6)$$

где  $Q$  – необходимая емкость аккумулятора, А·ч;  $P$  – имеющаяся нагрузка, Вт;  $V$  – напряжение каждой аккумуляторной батареи, В;  $t$  – время резервирования, ч;  $k$  – коэффициент использования емкости аккумуляторов.

В качестве АКБ выбраны панцирные батареи 2В 720 А·ч, фирмы «МикроАРТ» с рекуператорами водорода, которые позволяют увеличить интервал обслуживания АКБ до 6 лет. Для покрытия необходимого объема запасаемой энергии нужно последовательно соединить два блока из 24 АКБ. В итоге получится АКБ с характеристиками 48 В, 1440 А·ч, суммарная емкость АКБ больше необходимой, что создаст резервный запас емкости.

Из возможных контроллеров заряда выбор пал на солнечный контроллер КЭС PRO MPPT 200/60. Контроллеры MPPT находят и отслеживают точку максимальной мощности солнечной батареи и используют всю доступную мощность путем широтно-импульсного преобразования при всех режимах заряда. Таким образом, использование MPPT контроллера позволяет увеличить количество используемой солнечной энергии от одной и той же батареи на 10–30 % в зависимости от глубины разряда аккумулятора.

Для обеспечения объекта необходимой мощностью электроэнергии был выбран следующий инвертор: «МикроАРТ» МАП DOMINATOR 48В (Россия).

Для резервирования энергии и для обеспечения автономной работы необходимо использование дизельного или бензинового генератора. В качестве генератора выбрана модель бензиновой электростанции Fubag BS 7500 A ES. Выпускается в комплектации с разъемом для автоматики и выносным блоком Starmaster для автоматического запуска генератора в случае аварийной ситуации, восстанавливая электроснабжение

Для возможности зарядки АКБ необходимо выпрямить переменный ток, идущий от резервного генератора, для этого был выбран блок питания ИПС-1500-220/48В-30А.

Система удаленного мониторинга может быть построена на базе современного одноплатного компьютера «Малина» v4 на базе Raspberry Pi 4 (1 ГБ). В качестве программного обеспечения используется ПО монитор МАП-КЭС-АКБ для ОС Linux с открытым исходным кодом. Функционально ПО абсолютно аналогично ПАК «Малина» Данные программа снимает непосредственно с МАП. Распространяется на основе лицензии GNU GPL. Схема автономной системы энергоснабжения приведена на рис. 2.

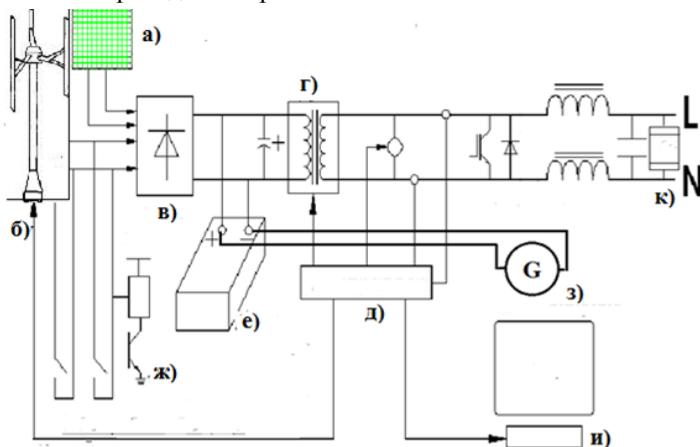


Рис. 2. Схема электроснабжения объекта: *а* – фотоэлектрический модуль; *б* – горизонтальная ветряная установка; *в* – выпрямитель; *г* – инвертор; *д* – контроллер; *е* – аккумуляторная батарея; *ж* – защита от перенапряжения; *з* – дизельный генератор; *и* – пульт автоматического управления; *к* – устройство защиты от импульсных напряжений

Все использованное оборудование было выбрано от российских производителей с целью импортозамещения. В табл. 3 приведена итоговая стоимость системы автономного электроснабжения [3].

Таблица 3

#### Расчет стоимости оборудования с учетом импортозамещения

Наименование	Цена, руб.	Кол-во, шт.	Стоимость, руб.
Вертикально-осевой ветрогенератор Sokol Air Vertical 5кВт	355 000	1	355 000
Фотоэлектрический модуль TSM-250B	23 940	30	718 000
Аккумулятор тяговый панцирный 2 (В) 720 (А·ч) ООО «МикроАРТ»	12 300	48	590 400

ПЖ 165 (195) для соединения между собой 720 А·ч	980	26	25 480
Электролит особо чистый	610	44	26 840
Контроллер КЭС PRO MPPT 200/60	36 500	1	36 500
Коннекторы типа MC4	150	546	81 900
Коннекторы типа MC4У	600	134	80 400
Стойки для солнечных батарей	5062	15	75 930
ПЖ 225 (255) для поворота АКБ 720 А·ч,	1350	3	4050
Ручной насос для перекачки электролита	850	1	850
9 кВт DOMINATOR (инвертор)	128 900	1	128 900
Генератор Fubag BS 7500 A ES	95 520	1	95 520
Выпрямитель ИПС-1500-220/48В-30А	48 000	1	48 000
Система удаленного мониторинга Raspberry Pi 4 (1 ГБ)	6790	1	6790
Итого, руб	1 955 060		

Технические характеристики автономной системы электро-снабжения:

1. Максимальная мощность одновременно включенных приборов – до 9 (кВт).

2. Время работы системы от полностью заряженных аккумуляторов на максимальной мощности более 8 ч. При включенном резервном генераторе – до 17 ч без подпитки от альтернативных источников питания.

3. Срок службы аккумуляторов АКБ «МикроАРТ» в условиях автономии не менее 10 лет при правильной эксплуатации (или 1500 циклов 80 % разрядов), или 15–17 лет при резервном питании.

4. Срок службы фотоэлектрических модулей составляет не менее 20 лет.

5. Система удаленного мониторинга на основе Raspberry Pi 4 (1 ГБ) имеет 28 разъемов программируемой шины GPIO, с помощью которой возможно снимать дополнительные параметры системы или использовать как контроллер системы «Умный дом».

В заключение можно отметить следующее: польза данного проекта заключается в возможности перехода на альтернативные источники энергии практически в любом субъекте Пермского края, а также за его пределами. По данному алгоритму можно рассчитать объект и время его окупаемости для определенного региона. Данный расчет проекта автоматической системы электроснабжения способен поддерживать круглогодично потребителя, находящегося удаленно от

ЛЭП, использование возобновляемых источников энергии позитивно отражается на состоянии окружающей среды, а также достаточно выгодно с экономической точки зрения.

### **Библиографический список**

1. NASA Prediction of Worldwide Energy Resources [Электронный ресурс]. – URL: <https://power.larc.nasa.gov/> (дата обращения: 10.11.2020).

2. Energy альтернативная энергетика. Как рассчитать количество солнечной энергии в регионе [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.betaenergy.ru/insolation/> (дата обращения: 10.11.2020).

3. Телеком-СТВ розничные цены на солнечные модули [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.telstv.ru/?page=ru\\_solar\\_modules](http://www.telstv.ru/?page=ru_solar_modules) (Дата обращения 7.11.2020).

### **Сведения об авторе**

**Мальцев Илья Анатольевич** – магистрант кафедры «Электроэнергетика и электротехника» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: [malcevia18.08.1997@mail.ru](mailto:malcevia18.08.1997@mail.ru)

### **About the author**

**Maltsev Ilya Anatolievich** – Master's Student of the Department of electric power and electrical engineering of the Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: [malcevia18.08.1997@mail.ru](mailto:malcevia18.08.1997@mail.ru)

## **ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ БЕСТРАНСФОРМАТОРНОГО НЕПОСРЕДСТВЕННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ АМПЛИТУДЫ ЭТАЛОННОГО НАПРЯЖЕНИЯ**

**В.Г. Сугаков, Н.С. Варламов, Ю.С. Малышев**  
Волжский государственный университет водного  
транспорта, Нижний Новгород

В статье представлены результаты имитационного моделирования бестрансформаторного непосредственного преобразователя частоты. В качестве результатов исследования приведены графики коэффициента нелинейных искажений и амплитуды выходного напряжения в зависимости от амплитуды эталонного напряжения. Показано, что качество выходного напряжения во многом определяется амплитудой эталонного напряжения.

**Ключевые слова:** непосредственный преобразователь частоты; судовая электроэнергетическая система; коэффициент нелинейных искажений; моделирование.

## **OUTPUT VOLTAGE QUALITY ASSESSMENT OF THE TRANSFORMERLESS CYCLOCONVERTER AT CHANGE OF AMPLITUDES OF THE REFERENCE VOLTAGE**

**V. G. Sugakov, N. S. Varlamov, Yu. S. Malyshev**  
Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod

The article presents the results of simulation modeling of a transformerless direct frequency converter. As the results of the study, the graphs of the nonlinear distortion coefficient and the amplitude of the output voltage depending on the amplitude of the reference voltage are given. It is shown that the quality of the output voltage is largely determined by the amplitude of the reference voltage.

**Keywords:** cycloconverters; ship electric power system; total harmonic distortion; modeling.

В настоящее время одной из актуальных задач в области водного транспорта является разработка энергосберегающих решений. Двигатели внутреннего сгорания, работающие с постоянной частотой вращения, в составе судовой электростанции имеют повышенный удельный расход топлива и горюче-смазочных материалов при работе на долевых нагрузках [1].

Разработка технических решений судовых электростанций на основе дизель-генераторов переменной частоты вращения позволяет решить задачу сбережения энергетических ресурсов, поскольку данные системы позволяют перевести режим работы электростанции в наиболее экономичный по расходу топлива во всем диапазоне изменения нагрузок. Однако главной особенностью предложенных систем является изменение частоты напряжения на выходных клеммах генератора [2, 3].

Недостатком технических решений систем управления полупроводниковым преобразователем электрической энергии, которые разрабатываются для судовых электроэнергетических систем с постоянной частотой напряжения, является зависимость параметров выходного напряжения от изменения амплитуды и частоты напряжения источника электроэнергии [4].

Устранение указанных недостатков возможно путем применения бестрансформаторного непосредственного преобразователя частоты (БТНПЧ), который формирует выходное напряжение с заданными параметрами и обеспечивает подключение выходных зажимов к наиболее подходящему напряжению питающей сети вне зависимости от вариации ее параметров (амплитуды, частоты и формы кривой напряжения) [5].

При исследовании БТНПЧ установлено, что значение коэффициента нелинейных искажений напряжения  $K_U$  на выходе БТНПЧ не зависит от частоты эталонного напряжения [6] и во многом определяется моментом начала формирования выходного напряжения (таблица) [7].

Параметры имитационной модели БТНПЧ

Наименование параметра	Обозначение	Значение параметра	Единица измерения
Частота напряжения источника электроэнергии	$f_1$	50	Гц
Амплитуда линейного напряжения источника электроэнергии	$U_{1л}$	565,7	В
Амплитуда фазного напряжения источника электроэнергии	$U_{1ф}$	327	В
Мощность нагрузки на выходе БТНПЧ (при $\cos\varphi = 1$ )	$P_n$	4	кВт
Заданное значение частоты выходного напряжения БТНПЧ	$f_{зад}$	50	Гц
Время начала формирования выходного напряжения БТНПЧ	$t_{нач}$	0,042	с

Так при синфазном формировании выходного напряжения с одной из синусоид входных напряжений и при равенстве амплитуды и частоты входных и заданных напряжений наблюдается минимальное значение  $K_U$ , которое может достигать 0,77 % [7].

Целью данной работы является исследование влияния амплитуды заданного (эталонного) напряжения на качество выходного напряжения БТНПЧ. Исследование и анализ выходного напряжения  $U_{\text{вых}}$  осуществляются в соответствии со структурной схемой, проиллюстрированной в работе [6].

Коэффициент нелинейных искажений и спектральный состав сигнала вычислялся для десяти периодов выходного напряжения на основе быстрого преобразования Фурье. Результаты моделирования изображены на рис. 1 и 2.

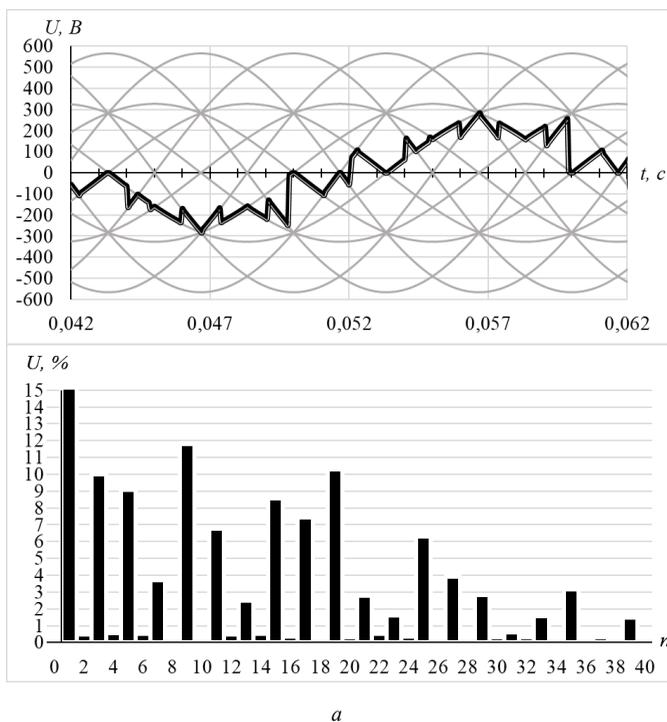


Рис. 1. Результаты имитационного моделирования БТНПЧ для амплитуды заданного напряжения 212,1 В (а), 327 В (б), 424,26 В (в) и 565,7 В (г)

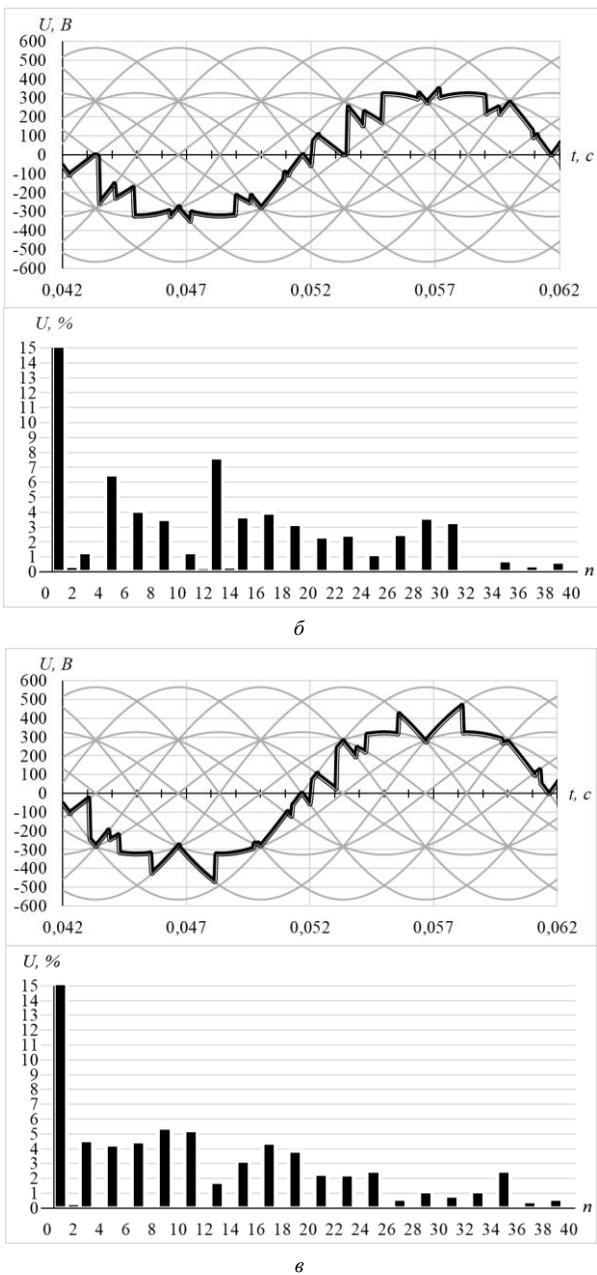
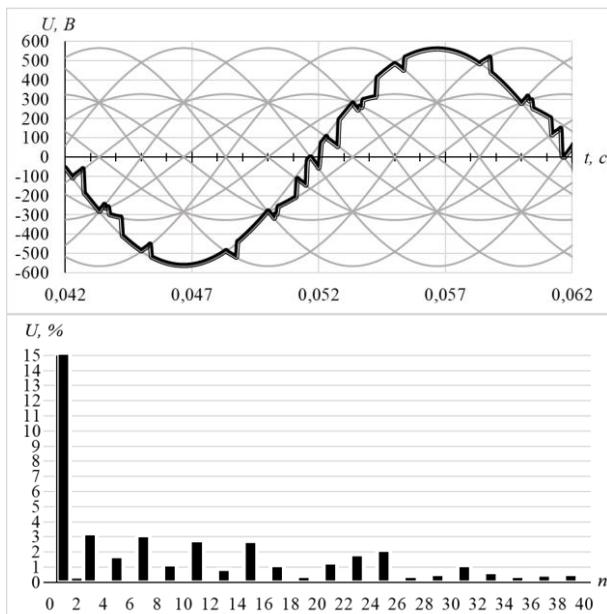


Рис. 1. Продолжение



2

Рис. 1. Окончание

В первом случае, когда  $U_{\text{зад}} < U_{1\Phi}$  (рис. 1, а), амплитуда выходного напряжения  $U_{\text{вых}}$  составляет 209,7 В, а  $K_U$  – 31,72 %. Максимальные значения гармонических составляющих напряжения наблюдается на третьей, пятой, девятой, одиннадцатой, пятнадцатой, семнадцатой, девятнадцатой и двадцать третьей гармониках. При этом амплитуда этих гармоник превышает 5 % от амплитуды основной гармоники.

При  $U_{\text{зад}} \approx U_{1\Phi}$  (рис. 1, б)  $U_{\text{вых}} = 328,6$  В, а  $K_U = 18,57$  %. Максимальные значения гармонических составляющих наблюдаются на пятой и тринадцатой гармонике и составляют соответственно 6,53 и 7,63 % от амплитуды основной гармоники.

В третьем случае, когда амплитуда заданного напряжения находится в диапазоне  $U_{1\Phi} < U_{\text{зад}} < U_{1Л}$  (рис. 1, в)  $U_{\text{вых}}$  составляет 389,7 В, а  $K_U$  – 18,44 %. При этом максимальные значения амплитуды гармонических составляющих не превышает 5 % за исключением девятой (5,42 %) и одиннадцатой (5,23 %) гармоники.

В случае  $U_{\text{зад}} \approx U_{1\text{Л}}$  (рис. 1, г)  $U_{\text{вых}} = 553,8 \text{ В}$ , а  $K_U = 11,01 \%$ . Максимальное значение амплитуды гармонических составляющих наблюдается на третьей гармонике и оставляет 3,09 % от амплитуды основной гармоники.

При этом во всех случаях амплитуда четных гармоник не превышает 0,5 %, что связано с равенством заданной частоты напряжения  $f_{\text{зад}}$  и частоты напряжения источника электроэнергии  $f_1$ , что более подробно отражено в работах [6, 7].

Результаты исследования зависимости коэффициента нелинейных искажения  $K_U$  и величины амплитуды напряжения  $U_{\text{вых}}$  на выходе БТНПЧ при изменении амплитуды заданного напряжения  $U_{\text{зад}}$  изображено на рис. 2.

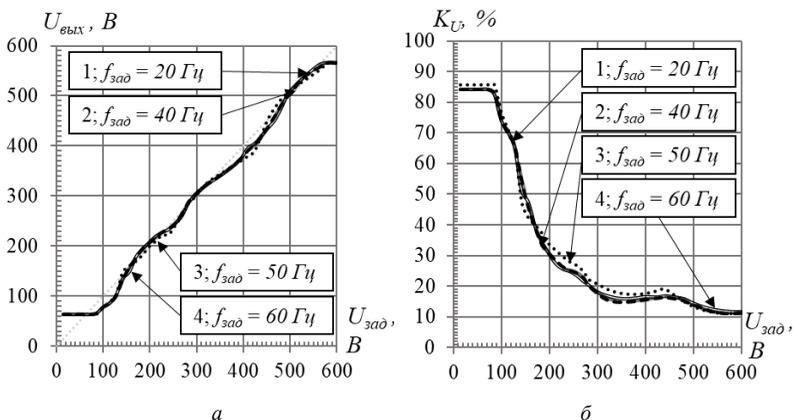


Рис. 2. Результаты имитационного моделирования БТНПЧ при изменении амплитуды заданного напряжения: а – график зависимости амплитуды выходного напряжения; б – график изменения коэффициента нелинейных искажения

На основании результатов моделирования (рис. 2) можно сделать вывод, что БТНПЧ позволяет сформировать выходное напряжения в диапазоне значений  $0,11 \cdot U_{1\text{Л}} \leq U_{\text{вых}} < U_{1\text{Л}}$  амплитуды линейного напряжения, при этом зависимость  $U_{\text{вых}}(U_{\text{зад}})$  в этом диапазоне имеет практически линейный характер.

При  $0 \leq U_{\text{зад}} < 0,11 \cdot U_{1\text{Л}}$  (рис. 2, а), на выходе БТНПЧ формируется напряжение  $U_{\text{вых}}$ , амплитуда которой  $0,11 \cdot U_{1\text{Л}}$ . В этом случае наблюдается максимальное значение  $K_U$ , равное 84 %. В диапазоне значений  $0,11 \cdot U_{1\text{Л}} < U_{\text{зад}} < 0,58 \cdot U_{1\text{Л}}(U_{1\Phi})$  напряжение на выходе БТНПЧ

характеризуется высоким коэффициентом нелинейных искажений, который находится в диапазоне от 84 до 18 %.

В режиме работы, когда  $U_{1\Phi} \leq U_{\text{зад}} \leq U_{1Л}$  (рис. 1, в–з), происходит значительное снижение гармонических искажений, при этом  $K_U$  находится в диапазоне от 19 до 11 %. По мере увеличения значения  $U_{\text{зад}}$  происходит уменьшение значения  $K_U$  до 11 % при  $U_{\text{зад}} \geq U_{1Л}$ , однако амплитуда выходного напряжения  $U_{\text{вых}}$  не превышает амплитуды линейного напряжения  $U_{1Л}$  источника электроэнергии (рис. 1, з).

При этом, как видно из рис. 2, изменение частоты заданного напряжения  $f_{\text{зад}}$  (характеристики 1 – 4) практически не оказывает влияния на формирование выходного напряжения.

Таким образом, на основе результатов имитационного моделирования установлено, что амплитуда выходного напряжения  $U_{\text{вых}}$  изменяется в соответствии с заданным значением в диапазоне  $0,11 \cdot U_{1Л} \leq U_{\text{зад}} < U_{1Л}$ . Качество выходного напряжения во многом определяется амплитудой эталонного напряжения  $U_{\text{зад}}$  и моментом начала формирования выходного напряжения  $t_{\text{нач}}$  [7]. Так минимальные значения  $K_U$  наблюдается при  $U_{1\Phi} \leq U_{\text{зад}} \leq U_{1Л}$ .

Результаты исследований показали, что БТНПЧ обеспечивает подключение выходных зажимов к наиболее подходящему напряжению питающей сети, что позволяет сформировать выходное напряжение в соответствии с заданными параметрами амплитуды и частоты напряжения вне зависимости от вариации параметров напряжения источника электроэнергии.

### Библиографический список

1. Герасимов А., Толмачев К., Уткин К. Дизель-генераторные электростанции. Работа при переменной частоте вращения дизеля [Электронный ресурс] // Новости электротехники. – 2005. – № 4(34). – URL: <http://www.news.elteh.ru/arh/2005/34/> (дата обращения: 10.09.2020).

2. Григорьев А.В., Колесниченко В.Ю. Повышение эффективности эксплуатации судовых дизельных электростанций // Вестник Государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2014. – № 6(28). – С. 39–43. DOI: 10.21821/2309-5180-2014-6-6-39-43

3. Хватов О.С., Дарьенков А.Б., Тарасов И.М. Дизель-генераторная электростанция с переменной частотой вращения вала // Вестник ИГЭУ. – 2010. – № 2. – С. 53–57.

4. Анисимов Я.Ф. Особенности применения полупроводниковых преобразователей в судовых электроустановках. – Ленинград: Судостроение, 1973. – 227 с.

5. Пат. 2691968 Российская Федерация, МПК Н02М 5/27. Бестрансформаторный непосредственный преобразователь частоты / В.Г. Сугаков, О.С. Хватов, Н.С. Варламов; – № 2018123270; Заявл. 26.06.2018; Опубл. 19.06.2019; Бюл. № 17.

6. Сугаков В.Г., Варламов Н.С. Анализ выходного напряжения бестрансформаторного непосредственного преобразователя частоты при изменении частоты эталонного сигнала // ВГАВТ труды 22-го Международного научно-промышленного форума «Великие реки – 2020»: тр. конгресса ВГАВТ. – Н. Новгород, 2020. – С. 1–4.

7. Сугаков В.Г., Варламов Н.С., Малышев Ю.С. Особенности формирования выходного напряжения бестрансформаторного непосредственного преобразователя частоты // Актуальные проблемы электроэнергетики: сб. науч.-техн. статей. – Н. Новгород: Нижегородский гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева, 2020. – С. 36–40. DOI: 10.46960/39255930\_2020\_36

### **Сведения об авторах**

**Сугаков Валерий Геннадьевич** – доктор технических наук, профессор кафедры «Электротехника и электрооборудование объектов водного транспорта» Волжского государственного университета водного транспорта, Нижний Новгород, e-mail: elektrikasp@mail.ru

**Варламов Никита Сергеевич** – аспирант кафедры «Электротехника и электрооборудование объектов водного транспорта», Волжского государственного университета водного транспорта, Нижний Новгород, e-mail: varlamov\_nikita@mail.ru

**Малышев Юрий Сергеевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электротехника и электрооборудование объектов водного транспорта» Волжского государственного университета водного транспорта, Нижний Новгород, e-mail: elektrikasp@mail.ru

### **About the authors**

**Sugakov Valerij Gennad'evich** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Electrical engineering and electrical equipment of water transport, Volga State University of Water Transport, Nizhnii Novgorod, e-mail: elektrikasp@mail.ru

**Varlamov Nikita Sergeevich** – Postgraduate student, Department of Electrical engineering and electrical equipment of water transport, Volga State University of Water Transport, Nizhnii Novgorod, e-mail: varlamov\_nikita@mail.ru

**Malyshev Yuriy Sergeevich** – Ph. D. in Technical Sciences, Associate professor, Department of Electrical engineering and electrical equipment of water transport, Volga State University of Water Transport, Nizhnii Novgorod, e-mail: elektrikasp@mail.ru

## ВЫНОСНОЕ СООРУЖЕНИЕ НАЛИВА СПГ

**Р.А. Шестаков, И.А. Бобков**

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

В данной статье рассмотрены типовые конструкции выносных сооружений налива (ВСН) сжиженного природного газа (СПГ). Детально проанализированы недостатки и преимущества ВСН, приведен сравнительный анализ со стационарными причалами и ВСН для нефти и нефтепродуктов. Дана поверхностная оценка экономической эффективности выносных сооружений налива СПГ.

**Ключевые слова:** выносных сооружений налива, сжиженного природного газа ВСН; СПГ; среднетоннажный; причальное сооружение.

## THE EXTERNAL CONSTRUCTION OF THE LNG LOADING

**R.A. Shestakov, I.A. Bobkov**

Russian State University of Oil and Gas (National Research  
University) named after I.M. Gubkina, Moscow

This article discusses the typical design of the external construction of the liquefied natural gas (LNG) loading. The disadvantages and advantages of the external construction of the LNG loading are analyzed in detail, and a comparative analysis with stationary berths and the external construction for oil. A superficial assessment of the economic efficiency the external construction of the LNG loading is given.

**Keywords:** the external construction; LNG; medium-tonnage; berthing facility.

В последнее время все активнее развивается индустрия сжиженного природного газа (СПГ). Всю отрасль можно разделить на крупнотоннажное производство, цель которого – сжижение и поставка природного газа для потребления мировыми рынками [1], и среднее- и малотоннажное производство, нацеленные на межрегиональную торговлю и удовлетворение спроса на внутреннем рынке как топливо для удаленных районов или альтернативного моторного топлива [2].

В России первый крупнотоннажный завод СПГ был построен и введен в эксплуатацию на острове Сахалин в феврале 2009 г. Данный завод имеет проектную мощность 9,6 млн т на ресурсной базе Лунского месторождения. Одним из следующих воплощенных проектов стал завод Ямал СПГ на базе Южно-Тамбейского месторожде-

ния. К числу среднетоннажных реализованных производств можно отнести проект Высоцк СПГ, Комплекс СПГ КС «Портовая» [3].

Инфраструктура для отгрузки СПГ на экспорт с вышеперечисленных заводов осуществляется за счет сооружения отгрузочного комплекса, расположенного на отдалении от берега, который соединяется со всеми береговыми сооружениями с помощью эстакад и переходных мостов.

Отгрузочный комплекс зарекомендовал себя как безопасное и надежное решение для отгрузки СПГ. Однако длина эстакад может варьироваться от десятков до сотен метров. Строительство такого стационарного комплекса обусловлено рядом требований к местности и трудностями при реализации проекта, сильно увеличивающих капиталовложения.

Альтернативным решением для отгрузки СПГ является использование выносного причального сооружения.

Примеров в мире по отгрузке СПГ на танкер таким способом нет, что делает актуальным более подробное изучение типов и видов конструкций выносных сооружений налива (ВСН) с целью применения для СПГ промышленности [4].

**Типовые конструкции выносных сооружений налива.** Для реализации сравнительно небольших, малотоннажных проектов в затрудненных условиях строительства обычных классических стационарных причальных сооружений сложно и экономически нецелесообразно, на глубинах 50–60 м, возможно возведение морских выносных сооружений налива, которые являются передаточным элементом между эксплуатационной платформой, хранилищем и танкером.

Как правило, ВСН соединяются подводными или плавучими трубопроводами с морскими или береговыми хранилищами. Существует ряд конструкций морских выносных сооружений налива для разнообразных погодных условий и глубин моря.

Востребованность ВСН могут объяснить рядом бесспорных преимуществ при их применении, таких как:

- сниженные требования к инфраструктуре порта;
- минимальный объём земляных работ;
- сравнительно невысокая стоимость сооружения;
- минимальные сроки строительства и простой ввод в эксплуатацию;
- минимальные затраты труда;

- минимум технического обслуживания и контроля;
- продолжительный срок службы (25 лет и более) [4].

Рассмотрение типовых конструкций ВСН можно сделать на примере решений для отгрузки нефти и нефтепродуктов, так как решений для отгрузки СПГ на практике не существует.

Из них можно выделить следующие типы:

- выносные точечные причалы с анкерным креплением (Catenary Anchor Leg Mooring – CALM);
- стационарно или шарнирно закрепленные устройства башенного типа (Fixed and Monopile Towers);
- турельные швартовые терминалы [5].

Из-за ограниченности опыта реализации таких проектов в сфере СПГ возникает ряд технических проблем, которые требуют первоочередного решения.

К подобным проблемам в первую очередь стоит отнести следующее:

- строительство подводных трубопроводов, способных транспортировать криогенные продукты, такие как СПГ и сжиженные углеводородные газы (СУГ);
- создание поворотных вертлюгов для соединения с отгрузочной стрелой точечного причала, способных передавать криогенные жидкости;
- разработка гибких шлангов большого сечения и комплекта разъемных соединений для подключения и отгрузки криогенных жидкостей на танкер-газовоз;
- разработка устройства-манифольда на танкере-газовозе для приема криогенных жидкостей через нос судна.

Выбор типа криогенного выносного сооружения налива определяется в первую очередь суровостью окружающих климатических условий и место использования. В зависимости от этого возможны следующие конфигурации ВСН:

- криогенное выносное сооружение налива с использованием временной швартовки в суровых климатических условиях. Швартовка может осуществляться за счет буксировочного каната во время загрузки/разгрузки;
- криогенное выносное сооружение налива для постоянной швартовки с использованием системы мягкого троса, при этом газо-

воз превращается в плавучую единицу хранения. Погрузо-разгрузочные работы осуществляются по стандартной системе транспортировки и отгрузки СПГ борт о борт с газовоза. Это решение не требует переделки торговых судов-газовозов;

- криогенное выносное сооружение налива, соединенное с промежуточными плавучими или подводными СПГ хранилища [6].

**Сравнение экономических затрат на строительство.** В первую очередь при реализации любого проекта следует определить его экономическую эффективность по сравнению с имеющимися решениями. В первую очередь стоит сравнивать затраты на строительство со стационарными причалами, которые используются на всех внешних крупных СПГ заводах.

Из-за ряда технологических проблем, описанных выше, и отсутствия примеров ВСН для СПГ стоит рассмотреть экономические затраты на строительство выносных сооружений налива из смежной отрасли нефтеотгрузки.

Строительство стационарного причала требует проведения следующих капиталоемких операций:

1. Выполнение дноуглубительных работ для прокладки фарватера, а также поддержание глубины всего порта на протяжении всего срока его эксплуатации.
2. Создание операционной акватории (углубление на территории порта для кораблей с большой осадкой).
3. Строительство оградительных сооружений (волнозащитные молы).
4. Формирование проходного канала.
5. Возведение эстакад и причальной стенки [5].

Все перечисленные операции в разы увеличивают стоимость строительства стационарного причала. При строительстве ВСН такие работы не требуются. Из этого можно сделать вывод, что криогенное выносное сооружение налива может обеспечить более экономичный экспорт и импорт СПГ, в первую очередь, если речь идет о малых и среднетонажных проектах.

Наиболее затратными этапами строительства ВСН станут: прокладка криогенного трубопровода по дну моря до места отгрузки, а также строительство самого выносного причала.

**Закключение.** Таким образом, выносное криогенное сооружение налива может стать экономически выгодным средством для отгрузки СПГ для малых и среднетоннажных производств.

Данный вариант обладает рядом преимуществ перед береговым причалом, которые в совокупности дают хорошую альтернативу существующим решениям отгрузки. ВСН даёт возможность отказаться от строительства полноценной портовой инфраструктуры и освобождает от всех сопутствующих трат, например: проведение дноуглубительных работ, а также поддержание необходимой глубины. Возможна реализация в любых погодных условиях и климатических зонах. Более того, срок сооружения значительно снижается за счет осуществления в условиях судостроительной верфи.

Минусом данной установки является новизна и отсутствие примера реализованных проектов по отгрузке СПГ.

### **Библиографический список**

1. Традиционная углеводородная энергетика в рамках устойчивого развития / Д.И. Дауди, Г.И. Рожнятовский, С.И. Нуржиц [и др.] // Деловой журнал Neftegaz.RU. – 2020. – № 5 (101). – С. 94–101.

2. Комаров Д.Н., Шестаков Р.А. Анализ обеспечения промышленной безопасности в условиях применения альтернативных источников моторного топлива // Сборник избранных статей Всероссийской научно-практической конференции ГНИИ «Нацразвитие». – 2018. – С. 57–62.

3. Российские производства по сжижению природного газа - Техническая библиотека Neftegaz.RU [Электронный ресурс]. – URL: <https://magazine.neftegaz.ru/articles/spg/500005-rossiyskie-proizvodstva-ro-szhizheniyu-prirodnogo-gaza/> (дата обращения: 11.08.2020).

4. Криогенный выносной причал отгрузки СПГ. Экономически эффективная альтернатива терминалам для импорта СПГ / Й. Домпельинг [и др.] // Газовая промышленность. – 2019. – № 3. – С. 36–42.

5. ГОСТ Р ИСО 28460-2018 Нефтяная и газовая промышленность. Сооружения и оборудование для сжиженного природного газа. Порядок взаимодействия судно-берег и портовые операции [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200158852> (дата обращения: 10.08.2020).

б. Богатырева Е.В. Анализ систем и технических средств транспорта углеводородов с морских месторождений // Вестник Ассоциации буровых подрядчиков. – 2010. – № 3. – С. 26–30.

### **Сведения об авторах**

**Шестаков Роман Алексеевич** – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Нефтепродуктообеспечение и газоснабжение» Российского государственного университета нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, Москва, e-mail: shestakov.r@gubkin.ru

**Бобков Иван Александрович** – студент Российского государственного университета нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, Москва, e-mail: bobkov.ivan.rsu@gmail.com

### **About the authors**

**Shestakov Roman Alexeevich** – Ph. D. in Technical Sciences, Senior Lecturer of the of petroleum products and gas supply department Russian State University of Oil and Gas (National Research University) named after I.M. Gubkina, Moscow, e-mail: shestakov.r@gubkin.ru

**Bobkov Ivan Aleksandrovich** – Student Russian State University of Oil and Gas (National Research University) named after I.M. Gubkina, Moscow, e-mail: bobkov.ivan.rsu@gmail.com

## **«ЗЕЛЕННЫЕ» ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК ПЕРСПЕКТИВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ В ЭНЕРГЕТИКЕ**

**А.Е. Пырма**

Томский политехнический университет, Томск

Статья посвящена важности использования «зеленых» технологий в современной энергетике. Рассмотрены причины экологического спада и возможные последствия при их игнорировании. Рассмотрено водородное топливо как одно из перспективных направлений в зеленой энергетике.

**Ключевые слова:** «зеленые» инновационные технологии; сохранение экологии; экологический ущерб; водородное топливо.

## **«GREEN» INNOVATIVE TECHNOLOGIES AS A PROMISING DIRECTION IN THE ENERGY SECTOR**

**A.E. Pyрма**

Tomsk Polytechnic University, Tomsk

The article is devoted to the importance of using «green» technologies in the modern energy industry. The reasons for the ecological decline and possible consequences if ignored are considered. Hydrogen fuel is considered as one of the promising directions in «green» energy.

**Keywords:** green innovative technologies; fuel; environmental protection; environmental damage; hydrogen fuel.

Актуальность темы исследования обусловлена тем, что в настоящее время на нашей планете наблюдается ухудшение качества экологической среды. Значительный вклад в деградацию экологической обстановки вносит автомобильный транспорт. Для сравнения: в 1986 г. мировой автопарк превысил отметку в 500 млн единиц техники, а уже спустя 24 года, в 2010 г., мировой автопарк насчитывал более 1 млрд единиц техники [5]. С каждым годом число транспортных средств растет, но вместе с этим будет возрастать число вредных выбросов в окружающую среду. Основным топливом для транспорта на данный момент является бензин, который при сгорании в двигателе выделяет множество опасных газов, например: двуокись углерода, окись углерода, сернистый газ, свинцовые соединения. Данный прогноз наталкивает на мысль о переходе на альтернативные, «зеленые» источники топлива. Одним из таких источников является водородное топливо.

Целью исследования является определение степени воздействия автомобильного сектора на экологию и объяснение важности применения водородного топлива для сохранения окружающей среды. Для достижения поставленной цели решается ряд задач: рассматривается влияние транспортных средств на экологию, прогнозируется ущерб от пользования традиционными источниками топлива, сравниваются альтернативные источники энергии, оцениваются положительные и отрицательные стороны использования водородного топлива.

Объект исследования – перспективные направления в энергетике.

Предмет исследования – «зеленые» инновационные технологии.

Проблема экологии в современном мире становится все актуальнее. Немалую роль в этом сыграли автомобили, вредные выхлопы которых ставят под угрозу, не только состояние окружающей среды, но и здоровье людей. Автомобильный транспорт является главным потребителем нефтепродуктов, что делает его фактором постоянного загрязнения окружающей среды. Колоссальный ущерб экологии причиняется выхлопами токсичных веществ, выделяемых при работе двигателя внутреннего сгорания автомобиля. В настоящее время насчитывается около 800 млн автомобилей с ДВС, и по прогнозам на ближайшие 15 лет их число вырастет до 1 млрд. Поэтому автокомпаниям стоит обратить внимание на проблемы экологии, снизить потребление нефтяного топлива и взять курс на развитие альтернативных источников энергии.

Если же компании решатся и дальше использовать органические виды топлива, то планету могут ожидать следующие последствия: загрязнение атмосферы, отрицательное влияние на сельскохозяйственные и кормовые культуры на полях рядом с дорогами, отравление растений. Если рассматривать последствия выхлопных газов на людей, то здесь ситуация складывается не лучшим образом. Вследствие постоянного воздействия ядовитых веществ у человека могут возникать заболевания дыхательных путей: астма, опухоли, аллергические реакции, гайморит. Вследствие действия углекислого газа уменьшается количество кислорода поступающего к сердцу, а это негативно сказывается на всей системе кровообращения в целом. Некоторые химические соединения могут оседать в организме, провоцируя серьезные заболевания, в редких случаях раковые опухоли [1].

Уже на данный момент существуют альтернативные источники энергии. Например: биодизель, электроэнергия и сжатый природный

газ. Разберем каждый вид топлива подробнее. Биодизелем называют топливо, полученное в результате химической реакции между растительными жирами и спиртами в присутствии катализатора. Данный вид топлива обладает рядом преимуществ: не токсичен; при попадании в воду не причиняет вред окружающей среде; разлагается в естественных условиях; источниками данного топлива являются возобновляемые ресурсы, которые не накапливают газы, провоцирующие парниковый эффект. Но данный вид топлива имеет и весомые минусы: нестабильная работа в холодную погоду, из-за выпадения парафинов, которые затрудняют подачу топлива в двигатель. Также есть вероятность, что при массовом использовании биодизеля резко вырастут цены на сельскохозяйственную продукцию [2].

Электроэнергия как альтернативное топливо получает все большее распространение. Во многом это обусловлено наличием конкурентных преимуществ электромотора над ДВС, а именно: хороший крутящий момент, обеспечивающий хороший разгон; электродвигатель менее требователен и не требует замены масла и дозаправки жидким топливом; зарядка электромобиля обходится значительно дешевле – примерно половина от стоимости заправки бензином. Минусами данного топлива является: небольшой пробег с одной зарядки аккумулятора, примерно 200 км против 800 км на жидком моторном топливе [2]; также электромобили способны выбрасывать вредные вещества в окружающую среду. Происходит это, потому что производство энергии на электростанции задействует органическое топливо. Этот недостаток является особо важным в рамках сохранения окружающей среды.

Еще одним видом топлива, способным составить конкуренцию бензину, является сжатый природный газ. По сравнению с нефтепродуктом, природный газ выделяет в 5–10 раз меньше ядовитых веществ, тем самым являясь более экологически чистым топливом, имеет более низкую стоимость, оказывает менее негативное влияние на комплектующие автомобиля. Стоит отметить, что запасы сжатого природного газа превосходят запасы нефти в разы, что может послужить отличным поводом для массового внедрения данного вида топлива. Но при детальном анализе данного вида топлива были выделены следующие недостатки: ограниченность запасов, газ нужно хранить в специальных баллонах, а это подразумевает дополнительные траты на их установку и обслуживание [3]. Все вышеперечисленные

виды моторного топлива имеют явные преимущества по сравнению с бензином, но наиболее выгодным с точки зрения экологии и экономики является водород.

Водородная энергетика является одним из перспективных направлений в области «зеленых» инновационных технологий, так как водород в чистом виде или в виде примесей с другими видами топлив более эффективно преобразуется в энергию. На данный момент водород рассматривается как альтернатива существующим природным видам топлива: нефть, уголь, природный газ. Стоит учитывать, что при сгорании водорода выделяются пары воды, что в свою очередь схоже с природным кругооборотом. Данный принцип работы обеспечивает стабильную экологическую обстановку в автомобильном секторе [4].

Водородное топливо не имеет широкого распространения на рынке транспорта, но имеет огромные перспективы для развития. На данный момент разработками в этой области занимаются: Россия, Китай, Япония, США. По всей планете устанавливаются заправочные станции для машин на водородном топливе. Модернизацией транспорта на водородном топливе занимаются лидеры автомобильного рынка, такие как Toyota, Nissan, Ford Motor Company, Volkswagen. Весомая доля научных исследований посвящена технологиям добычи, обработки, транспортировки и хранения водородного топлива.

Интерес к данному топливу проявляется ввиду его обширного спектра преимуществ перед другими видами топлива. Главными особенностями водородного топлива являются:

1. Доступность. Водород очень распространен во вселенной.
2. Продукты, содержащие водород, и сам водород при утечке не оказывают негативного влияния на окружающую среду.
3. Высокий КПД топливных элементов.
4. Водород менее взрывоопасен. Но даже если взрыв произойдет, его сила будет в разы меньше чем при взрыве бензинового топлива.
5. Водород выгоднее транспортировать. Потери энергии при транспортировке водорода оцениваются вдвое меньше чем при передаче энергии по линиям передачи.
6. Низкая рабочая температура, обеспечивающая быстрый запуск энергоустановки.
7. Водородное топливо оказывает меньше вреда на окружающую среду.

Основными недостатками водорода как моторного топлива являются:

1. Дорогостоящие водородные элементы.
2. Дорогой и трудоемкий процесс добычи топлива в промышленных объемах.
3. Слаборазвитая водородная инфраструктура.
4. Отсутствие четких стандартов транспортировки и хранения топлива на водороде.

Нынешняя экологическая обстановка дает ясно понять, что нужно искать пути снижения токсичных выхлопных газов. Проанализировав сильные и слабые стороны водородного топлива, становится очевидным, что данный вид топлива имеет потенциал для развития. Но основной преградой к изучению данной области являются большие финансовые вложения. Но если автомобильным компаниям не безразлична экологическая ситуация нашей планеты, они должны задуматься над важностью инвестиций в область водородных разработок.

### **Библиографический список**

Абдурахманова Э.Г. Влияние выхлопных газов на организм человека [Электронный ресурс] // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2015. – № 1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-vyhlopnuyh-gazov-na-organizm-cheloveka> (дата обращения: 15.12.2020).

1. Биодизель – альтернативный источник энергии [Электронный ресурс] / Бердиев Нодир Шарифович, Зиявитдинов Жамолитдин Фазлитдинович, Фазлиддинов Шамсиддин Жамолитдинович, Саъдуллаев Шохрух Тулкин Угли, Шеримбетов Санжар Гулмизоевич // Universum: химия и биология. – 2019. – № 6(60). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/biodizel-alternativnyy-istochnik-energii> (дата обращения: 15.12.2020).

2. Петров В.Ю. Конкурентоспособность водорода как моторного топлива на автомобильном транспорте [Электронный ресурс] // Научные труды: Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН. – 2008. № 6. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/konkurentosposobnost-vodoroda-kak-motornogo-topliva-na-avtomobilnom-transporte> (дата обращения: 15.12.2020).

3. Соломенник С.Ф., Белоусов М.Ю. Водородное топливо – основа глобальной энергоэкологической революции XXI века [Элек-

тронный ресурс] // Вологдинские чтения. – 2007. – № 64. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vodorodnoe-toplivo-osnova-globalnoy-energoekologicheskoy-revolyuitsii-xxi-veka> (дата обращения: 15.12.2020).

4. Тетиор А.Н. Автомобильная революция и ее возможный финал [Электронный ресурс] // Sciences of Europe. – 2018. – № 26–4(26). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomobilnaya-revolyuitsiya-i-ee-vozmozhnyu-final> (дата обращения: 16.12.2020).

#### **Сведения об авторе**

**Пырма Артём Евгеньевич** – студент Томского политехнического университета, Томск, e-mail: [aep27@tpu.ru](mailto:aep27@tpu.ru)

#### **About the author**

**Pyрма Artyom Evgenievich** – Student Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: [aep27@tpu.ru](mailto:aep27@tpu.ru)

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ УТИЛИЗАЦИИ БУРОВЫХ ОТХОДОВ В НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

**А.А. Лапыкина**

Российский государственный геологоразведочный  
университет им. Серго Орджоникидзе (МГРИ), Москва

Одной из наиболее востребованных задач в экологии нефтегазового производства в данный период времени является повышение уровня безопасности для окружающей среды при утилизации буровых отходов. В данной статье приведено сравнение существующих методов утилизации отходов бурения, их экономическая и экологическая невыгодность, представлен актуальный безопасный для окружающей среды метод переработки буровых отходов.

**Ключевые слова:** экология; буровые отходы; утилизация; переработка; буровые скважины; нефтешлам.

## PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF TECHNOLOGIES FOR THE DISPOSAL OF DRILLING WASTE IN THE OIL AND GAS INDUSTRY

**A.A. Lapykina**

Sergo Ordzhonikidze Russian State University  
for Geological Prospecting (MGRU), Moscow

One of the most demanded tasks in the ecology of oil and gas production in this period of time is to increase the level of safety for the environment during disposal of drilling waste. This article compares the existing methods of disposal of drilling waste, their economic and environmental disadvantages, presents an environmentally friendly method of processing drilling waste.

**Keywords:** ecology; drilling waste; utilization; processing; drilling wells; oil sludge.

По приблизительным отметкам специалистов, которые были представлены во время всероссийской конференции «Эффективные решения актуальных проблем переработки нефтешламов – экологическая безопасность России» в настоящее время на территории Российской Федерации накоплено свыше 3 млн т нефтяных шламов, имеющих разное происхождение [1, 2]. Большая часть из них имеет возраст, достигающий до нескольких десятков лет. Наглядно о масштабах проблемы можно понять по данным, представленным организа-

цией «Экологическая вахта Сахалина», о том, что при разработке месторождений на шельфах операторской компанией Sakhalin Energy Investment Co. Ltd с одной платформы прогнозируется сброс бурового материала в объеме 60 тыс. м<sup>3</sup>/г. и пластовой воды около 640 м<sup>3</sup>/сут. За пару лет эксплуатационного бурения на Пильтун-Астохском нефтегазоконденсатном месторождении с платформ было сброшено в океан 70 тыс. м<sup>3</sup> отходов бурения. Подобные размеры выбросов разрушающе воздействуют на экологическую обстановку местности.

Влияние буровых и, в частности, нефтяных шламов на окружающую среду приводит к большому количеству негативных последствий [3]:

- сокращение продолжительности жизни различных организмов, снижение репродуктивности, гибель особей;
- исчезновение некоторых видов животных, растений, микроорганизмов;
- изменение физических характеристик вод – pH, солености, температурного режима, светопропускного режима, загрязнение водоемов частицами тяжелых металлов;
- загрязнение подземных вод;
- нарушение структуры, химического состава почвы, которое ведет к снижению плодородности почв, пригодности земель для сельского хозяйства;
- в целом нарушение естественных процессов в экологических системах и др.

В настоящее время один из самых распространенных способов переработки и утилизации буровых отходов состоит в захоронении отфильтрованного шлама в специальных могильниках. Широкая распространенность подобной системы в первую очередь определена низкой стоимостью проводимых мероприятий, но, несмотря на этот фактор, назвать удовлетворительной её невозможно. Из-за недостаточной гидроизоляции котлована и разрушающего воздействия его содержимого на изоляционный материал на постоянной основе случаются утечки отходов бурения в окружающее пространство, ведущие к загрязнению почв, что влечет за собой сокращение сельскохозяйственных земель и попадание нефтесодержащих продуктов в подземные воды. Также этот способ нецелесообразен из-за использования большегрузной техники, работа которой ведет к загазованности атмосферы, из-за вырубки лесных массивов для создания хранилищ.

Кроме того, компании нефтегазовой промышленности используют термический метод переработки отходов (сжигание в печах и топках), который в настоящее время стал менее актуальным в связи с ужесточением мер природоохранного законодательства, так как в процессе сжигания образуются вредные выбросы, попадающие в атмосферу, далее переносимые на большие расстояния и выпадающие с осадками, и метод микробиологического обезвреживания, проведение которого зачастую не предоставляется возможным из-за неподходящих природно-климатических условий, высокая стоимость реагентов делает его экономически невыгодным.

Альтернативным вариантом решения поставленной задачи может стать комплексный метод утилизации отходов бурения, он является ресурсосберегающим и наиболее экологически безопасным и позволяет рационально использовать нефтешлам. На рисунке изображена схема метода реагентного капсулирования.

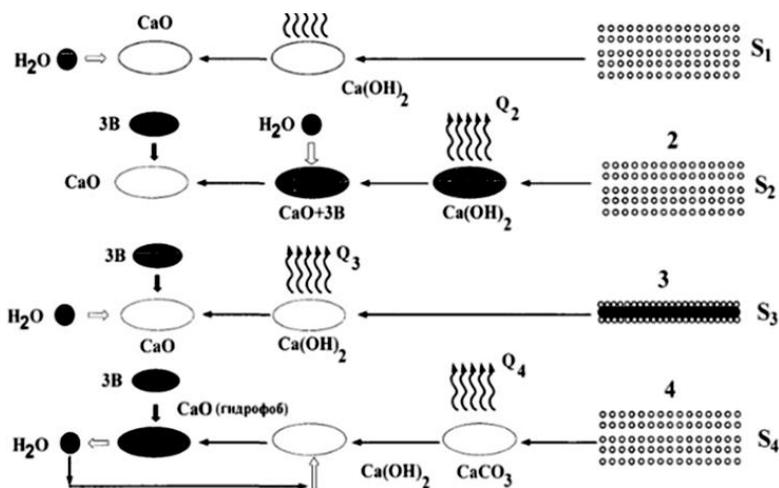


Рис. Схематическое изображение метода реагентного капсулирования

Основу рецептуры реагента капсулирования составляет оксид кальция и нефтешлам, применяемый в качестве гидрофобизатора. Данная рецептура позволяет провести высокоэффективное обезвреживание бурового шлама с получением водонепроницаемого продукта утилизации. Данный метод даёт возможность провести совместную утилизацию бурового и нефтяного шлама, а также цементной

пыли, что обеспечивает высокую степень экологической безопасности и максимальный оборот ресурсов. В ходе проведенных исследований было выяснено, добавка капсулированного бурового шлама в количестве 5–10 % масс к портландцементу дает увеличение прочности при сжатии получаемой крепи на 15–35 %, это позволяет использовать вяжущий материал для цементирования обсадных колонн скважин в интервалах, где отсутствует водоносность и имеются горные породы, изолирующие выше- и нижезалегающие водные горизонты. Выявлено, что применение капсулированного бурового шлама в качестве примеси при цементировании не оказывает деструктивного воздействия на окружающую среду и способствует улучшению прочностных характеристик тампонажного раствора [4]. Материал, полученный путем реагентного капсулирования, схож с бетоном, что позволяет использовать его при строительстве для создания блоков и фундамента зданий. Однако плотность этого материала находится в пределах от 1886 до 2052 кг/м<sup>3</sup>, что делает его в значительной степени легче обыкновенного строительного бетона. Предложенный способ переработки буровых отходов можно использовать также для приготовления материала для укладки дорог из шлама на местах разработки месторождений, так как он обладает высокой прочностью, не теряет своих свойств при колебании температур.

Таким образом, предложенный метод актуален тем, что он не только безопасен для окружающей среды, но и целесообразен с экономической точки зрения, так как в итоге мы получаем экологически чистый, прочный материал с широким спектром применения.

### **Библиографический список**

1. Хаустов А.П., Редина М.М., Канзафарова Р.Ф. Проблемы оценки экологической опасности нефтешламов // Экспозиция. Нефть. Газ. – 2011. – № 6. – С. 55–56.
2. Экологический мониторинг токсического загрязнения почвы нефтепродуктами с использованием методов биотестирования / А.В. Васильев, В.В. Заболотских, О.В. Тупицына, А.М. Штеренберг // Нефтегазовое дело. – 2012. – № 4. – С. 242–249.
3. Пичугин Е.А. Оценка воздействия бурового шлама на окружающую природную среду // Молодой ученый. – 2013. – № 9. – С. 122–123.

4. Литвинова Т.А., Винникова Т.В., Косулина Т.П. Реагентный способ обезвреживания нефтешламов // Экология и промышленность России. – 2010. – № 10. – С. 40–43.

#### **Сведения об авторе**

**Лапыкина Алина Александровна** – заместитель руководителя комитета по развитию науки секции MGRI SPE, студент Российского государственного геологоразведочного университета им. Серго Орджоникидзе, Москва, e-mail: lapykinaalina@gmail.com

#### **About the author**

**Lapykina Alina Alexandrovna** – deputy head of science development committee of MGRI SPE, Student Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, e-mail: lapykinaalina@gmail.com

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАПЫЛЕННОГО ПОТОКА

Л.В. Мостовенко<sup>1</sup>, Е.А. Рыжникова<sup>1</sup>,  
В.П. Белоглазов<sup>1</sup>, П.М. Тоцких<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Нижевартовский государственный университет, Нижневартовск

<sup>2</sup>Омский государственный технический университет, Омск

Целью данной статьи является проведение анализа литературных источников на предмет исследования влияния газодинамических и термодинамических параметров на излишнюю турбулизацию потока в установке. Задачами исследования является оценка поведения потока на всех участках сложной конфигурации в ИВЗ (инерционно-вакуумном золоуловителе). В заключение представлены выводы, необходимые для учета в расчете математической модели в ANSYS/CFX.

**Ключевые слова:** газодинамика сложных участков; запыленный поток; инерционно-вакуумный золоуловитель.

## INVESTIGATION OF GAS-DYNAMIC CHARACTERISTICS OF A LADEN FLOW

L.V. Mostovenko<sup>1</sup>, E. A. Ryzhnikova<sup>1</sup>,  
V.P. Beloglazov<sup>1</sup>, P.M. Totskikh<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk

<sup>2</sup>Omsk State Technical University, Omsk

The purpose of this article is to analyze the literature sources in order to study the influence of gas-dynamic and thermodynamic parameters on excessive turbulization of the flow in the installation. The objectives of the study are to assess the flow behavior in all areas of complex configuration in the IVDC (inertial vacuum dust collector). In conclusion, the conclusions necessary for accounting in the calculation of the mathematical model in ANSYS/CFX are presented.

**Keywords:** gas dynamics of complex areas; laden flow; inertial vacuum dust collector.

Целью данной статьи является улучшение эффективности золоулавливающего устройства (инерционно-вакуумного золоуловителя ИВЗ) благодаря учёту особенностей движения запыленного потока в его математической расчетной модели. К задачам относится исследование конструктивно сложных участков на предмет возникновения

пульсационных скоростей, изменения температур на отдельных участках. Пульсации могут привести к изменению турбулизации потока и увеличению разрежения золоуловителя. Увеличение разрежения золоулавливающего аппарата снижает эффективность работы дымососа, из чего можно сделать вывод, что изменение напорной характеристики нагнетателя отклоняет обеспечение эффективной работы аппарата от его рабочей точки.

Несмотря на увеличение производственных мощностей и неограниченное потребление природных ресурсов, одной из главных задач сохранения окружающей среды остается рациональное использование природных ресурсов и развитие качественных объектов управления. Однако рациональное использование природных ресурсов влияет не только на сокращение выбросов в окружающую среду, но и на сферы деятельности ученых – повышение эффективности оборудования за счет внедрения инновационных технологий в производственные процессы. Хотя современное оборудование герметично закрыто, все производственные процессы сопровождаются пылью, аэрозолями, туманами и другими выбросами [1].

Одной из основных проблем ТЭЦ, работающих на угле, являются выбросы твердых частиц как вследствие пыления с оборудования, так и при уносе из дымовых труб. Присутствие твердых частиц может приводить как к тепловым потерям, так и к износу оборудования: как дымососа, так и поверхностей самого золоуловителя. Объектом исследования в данной статье являются отдельные поверхности ИВЗ, представленные на рис. 1 [2].

Движение дисперсного потока обусловлено одновременным изменением ряда параметров на всех испытательных участках, таких как характеристики барьера [3, 4] на теле линии течения, зоны закручивания и турбулентные дорожки [5, 6]. Частицы, сталкивающиеся с поверхностью, преобразуют кинетическую энергию в тепловую, изменяя не только траекторию своего потока, но и структуру потока тела, событие потока [7, 8], шероховатость поверхности и т.д. Интенсивность описанных выше процессов, сопровождающихся двухфазным потоком взвешенных частиц, зависит от инерции и концентрации частиц.

Характеристики дисперсных потоков разделяются на интенсивные (физические свойства частиц – диаметр, плотность) и экстенсивные (характеристики двухфазных потоков – концентрация дисперси-

онной примеси). Данными параметрами необходимо оперировать при прогнозировании характера движения потока на сложных участках поверхностей, уязвимых с точки зрения эрозионного разрушения.

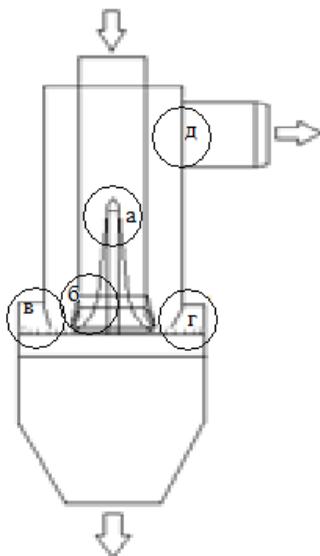


Рис. 1. Инерционно-вакуумный золоуловитель (ИВЗ): *а* – обтекание затупленного участка; *б* – прохождение запыленного потока через конфузорное сечение; сброс частиц в поворотную камеру; *в* – преодоление потоком поворотной камеры; *г* – движение дисперсной фазы вдоль колец; *д* – восходящее движение с последующим сбором и выходом из патрубка

Инерционно-вакуумный золоуловитель [9] относится к аппаратам инерционного действия, соответственно определяющими параметрами эффективности аппарата считаются скорость потока в конфузорном сечении. Пульсационные скорости потока определяются турбулентной природой течения самого потока. Скорость пульсации частиц может быть вызвана различными причинами. Поведение частиц в турбулентных потоках подложки и их обратное влияние на характеристики газовой фазы во многом обусловлено их инерционностью [7]. Процесс столкновения с частицами или соударения со стенками канала дисперсной фазы также может иметь свои уникальные закономерности, которые характеризуются, например, числом Стокса [10]. Число Стокса (1) характеризует

инерцию движения дисперсной примеси по отношению к определенным масштабам течения.

Для того чтобы начать исследование газодинамических характеристик потока, необходимо определить основные уравнения критерия подобия для запыленного потока.

$$Stk_i = \frac{\tau_p}{T_i}, \quad (1)$$

где  $\tau_p$  – комплексная характеристика инерционности частиц, время динамической релаксации;  $T_i$  – некоторое характерное время несущей фазы.

В ряде работ [10–12] по изучению гидрогазодинамики и теплофизики двухфазных потоков в рамках кластеризации частиц в турбулентных и вихревых двухфазных потоках выделяют три основных класса. Они характеризуются числами Стокса трёх типов движения потока – крупномасштабного, мелкомасштабного, усредненного импульсного движения потока. В зависимости от изменения числа Стокса [10] выделяют четыре основных класса бифазных течений – равновесное, квазиравновесное, неравновесное течения с крупными частицами. Ранее в исследовании ИВЗ предполагалось, что течение с маломасштабными импульсными движениями уравнивается и с учетом турбулентности потока.

В пульсации турбулентного газа важную роль играет механизм турбулентной миграции осаждения твердых частиц вблизи поверхности перегрузки [13]. На движение пылевых потоков влияют также процессы, приводящие к перераспределению частиц пылевого потока с различными скоростями по поперечному сечению канала – турбулентная диффузия [14], турбулентная миграция.

После рассмотрения всех влияющих на газодисперсный поток сил, выявления важных газодинамических характеристик, хотелось бы перейти к анализу газодинамики на отдельных сложных участках проточной части золоуловителя. К сложным участкам можно отнести (рис. 1): конфузорный проходной участок вдоль рассекателя; «сброс» потока с поверхности рассекателя; движение запыленного потока в области колец; преодоление поворотной камеры, поворот на 180°, удаление из золового бункера. Для этого оценим: термодинамику и газодинамику потока на данных участках.

**Обтекание затупленного участка и преодоление конфузорного проходного участка вдоль рассекателя.** Для анализа физичес-

ких процессов, происходящих в области обтекаемого запыленным потоком тела, необходимо знание распределений скоростей, температур (в случае неизотермического течения) и концентрации частиц; а также основные характеристики несущего потока (вроде скорости, расхода). Перечисленные характеристики частиц (по отношению к объему расхода) во многом определяются режимом обтекания, который реализуется в том или ином случае. Режим же зависит от числа Стокса (рис. 2).

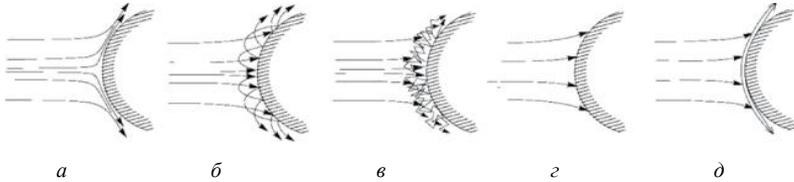


Рис. 2. Классификация режимов течений при обтекании тел двухфазным потоком:  
 а – равновесное (квазиравновесное) течение,  $Stk_f \rightarrow 0$ ; б – слабозапыленное  
 неравновесное течение,  $Stk_f \approx O(1)$ ; в – сильнозапыленное неравновесное  
 течение,  $Stk_f \approx O(1)$ ; г – обтекание в случае поглощающей стенки;  
 д – обтекание с образованием пленки.

В случае осесимметричного течения (например, при обтекании сферы, в нашем же случае – рассекателя), когда размер частиц пренебрежимо мал по сравнению с размером тела, частицы равномерно распределены в набегающем потоке, а траектории их движения симметричны, коэффициент осаждения можно определить как (2)

$$\eta = \bar{y}_{cr}^2, \quad (2)$$

где  $\bar{y}_{cr}^2 = y_{cr}/R$  – безразмерное расстояние от оси симметрии потока, находясь на котором (в невозмущенном присутствии тела потоке) частицы лишь соприкасаются с телом при его обтекании. Опираясь на данные расчетов и результаты экспериментов, перечислим основные факторы, оказывающих влияние на величину  $\eta$  1) потенциальность обтекания (влияние пограничного слоя ведет к снижению  $\eta$  и становится существенным при  $Stk_f < 0$ ); 2) сила тяжести (приводит к существенному росту  $\eta$  при  $Stk_f < 0$ ); 3) неизотермичность течения (вызывает рост  $\eta$  при  $Stk_f < 0$ ); 4) осесимметричность течения (искривление линий тока газа начинается на меньшем расстоянии по сравнению с плоским течением, что приводит к росту инерционности частиц и увеличению  $\eta$ ).

Особый акцент нужно сделать на особенности межчастичных столкновений и учет обратного влияния частиц на характеристики несущего газа. В случае течения с полидисперсными частицами показано, что мелкие из них успевают нагреться в сжатом слое и вызывают нагрев обтекаемого тела, в то время как крупные частицы, охлажденные ускоряющим потоком до скачка уплотнения, наоборот, понижают энтальпию тела после отскока. Только относительно инерционные частицы сохраняют свои траектории прямолинейными и имеют одинаковые скорости и углы встречи с ударной волной и поверхностью тела. Частицы, обладающие малой инерцией, могут существенно изменять свою траекторию, а также нагреваться при движении в сжатом слое газа.

Взаимодействие частиц с поверхностью тела. Для нахождения различных видов нагрузок (механических, тепловых, эрозионных) на элементы конструкции необходимо знать параметры газовой и дисперсной фаз на поверхности обтекаемого тела. При задании граничных условий частицами на поверхности тела часто используются коэффициенты восстановления скорости, которые, как показывают результаты проведенных испытаний, зависят от скорости, угла воздействия, формы, ударных органов, шероховатости поверхности, а также физико-механических свойств материалов. В литературе коэффициент восстановления скорости имеет несколько зависимостей от нескольких параметров (скорости и угла удара, удельной поверхности и твердых частиц и т.д.), которые применимы к условиям отдельных испытаний [15].

Вывод по теоретическому материалу: важно проведение в ANSYS нестационарного расчета, который бы показал основные параметры времени движения потока и частиц, вследствие чего можно было бы установить точный вид потока по режимным критериям Стокса. При преодолении конфузорного сечения будет снижаться толщина пограничного слоя, что скажется на концентрации частиц непосредственно у кромок поверхности. Его скорость напрямую зависит от скоростей и углов соударения частиц между собой. Также необходимо оценить неизотермичность процесса вследствие оценки преобразования одной энергии в другую (кинетической в тепловую) при соударении частиц, а также влияние возникновения при этом турбулентных пульсаций.

**«Сброс» дисперсного потока частиц из несущей фазы с поверхности рассекателя.** Сила, действующая на поверхность частицы, зависит только от течения жидкости в непосредственной близости от частицы. Однако на характер течения будут влиять также близлежащие объекты, например, другие частицы. Чтобы упростить задачу, необходимо вначале рассмотреть одиночную частицу, движущуюся со скоростью и в относительно бесконечной неньютоновской жидкости, в которой нет других источников появления сдвига. В этом случае также предполагается, что скорость частицы относительно жидкости остается постоянной, что может выполняться в условиях гравитационного осаждения [15].

При определении формулы (1) выше: время динамической релаксации  $\tau_p = \frac{\rho_d d^2}{18\rho\nu U_s}$ ,  $U_s = \frac{1 + Re_d^{2/3}}{6}$ ,  $Re_d = \frac{[U - U_s]d}{\nu}$ , здесь  $\rho_d$  – плотность дисперсных частиц,  $d$  – диаметр частицы,  $\nu$  – коэффициент кинематической вязкости,  $U$ ,  $U_s$  – осредненные скорости газовой и дисперсной фазы.  $T_i = \frac{\eta_k^2}{\nu}$ ,  $\eta_k = 2R_1 Re_{c1}^{-3/4}$  – колмогоровский временной и пространственный масштабы; здесь  $R_1$  – радиус трубы до отрыва,  $Re_{c1} = \frac{2R_1 \langle u_{c1} \rangle}{\nu}$ ,  $\langle u_{c1} \rangle$  – среднеквадратическая скорость пульсаций скорости газа на оси трубы перед сечением отрыва; характерное время несущей фазы в осредненном движении  $\tau_f = \frac{5H}{U_{m1}}$  – турбулентный микромасштаб,  $U_{m1}$  – характерная скорость – характерная скорость несущей среды перед сечением отрыва. Такое выражение для  $\tau_f$  используется как для потока за плоским обратным уступом, так и за внезапным расширением трубы, что применимо к нашей задаче по изучению конструктивно сложных участков. Бифазный поток может быть осложнен фазовыми переходами и осаждением частиц на стенку, их взаимодействием с турбулентными пульсациями газа, перераспределением дисперсной фазы по поперечному сечению потока [8].

**Преодоление поворотной камеры, поворот на 180°, удаление из золотого бункера [14].** В случае вертикальных потоков, когда скорость газа снижается или расход частиц слишком высок, суспензия может перекрыть подъемный канал, поток нарушается и возникает режим потока «пробка». Это проявляется в очень сильных импульсах давления. В системах с мелкими частицами

закрытие потока возможно в тех областях, где процесс агломерации преобладает над процессом разрушения. Однако это должно быть подтверждено проведением повторного полномасштабного эксперимента.

Падение давления при течении взвеси в трубе может быть обусловлено трением, ускорением жидкости или силой тяжести.

Если измеренный в трубе перепад давления равен  $\Delta p_m$  и только некоторая часть этого перепада  $\Delta p_i$  обусловлена трением, то

$$\Delta p_i = \Delta p_m - \Delta p_{as} - \Delta p_{ag} - \Delta p_{\rho s} - \Delta p_{\rho g}, \quad (3)$$

где  $\Delta p_{as}$ ,  $\Delta p_{ag}$  вызваны соответственно ускорением частиц и газа. Гидростатическое давление газа и частиц также приводит к перепадам давления  $\Delta p_{\rho s}$  и  $\Delta p_{\rho g}$ . При точных измерениях, когда величина  $\Delta p_{\rho g}$  имеет большое значение, разность между  $\Delta p_{\rho g}$  и высотой столба воздуха в линиях отбора давлениях, используемых для измерений  $\Delta p_m$ , также может оказаться важной поправкой для определяемой величины  $\Delta p_m$  – это сказывается существенно лишь тогда, когда температура взвеси сильно отличается от температуры окружающей среды.

Падение давления из-за ускорения газа можно рассчитать по такой же формуле, как и для твердых частиц:

$$\Delta p_{as} = 2\pi \left[ \left( \int_0^{D/2} r \rho_{ds} U_s^2 dr \right)_{\text{ВЫХ}} - \left( \int_0^{D/2} r \rho_{ds} U_s^2 dr \right)_{\text{ВХ}} \right]. \quad (4)$$

Из непосредственных измерений более простым расчетом по формуле

$$\Delta p_{as} \approx R \left( \frac{U_f}{A} \right)^2 \left( \frac{T_0}{p_0} - \frac{T_1}{p_1} \right), \quad (5)$$

где в данном случае  $R$  – газовая постоянная. Давление газа  $p$  и его температуру  $T$  измерить сравнительно легко. С другой стороны, расчет по формуле выше провести трудно. Однако если скорость скольжения фаз достаточно мала, то разность  $U_j - U_s$  на входе и выходе из трубы приблизительно одинакова. В этом случае

$$\Delta p_{as} \approx \frac{W_s}{W_g} - \Delta p_{ag}. \quad (6)$$

Очевидным исключением является течение крупных частиц в короткой трубе, когда время релаксации для обмена количеством движения может быть достаточно большим по сравнению со временем пребывания частиц в трубе.

Использование закона Стокса не вносит большой погрешности. Вязкими силами можно пренебречь. Вводится поправочный коэффициент  $\psi/\delta$  для определения силы аэродинамического сопротивления. Скорость мелких частиц можно и вовсе принять скорость газа. Определенное влияние на величину продольного скольжения частиц оказывают изменение скорости (разгона) частиц по длине канала, взаимодействие частиц друг с другом (концентрация дисперсной фазы) и со стенками канала, однако основную роль, видимо, играют процессы, связанные с перераспределением частиц с разной скоростью по сечению канала: турбулентная диффузия, подъемная и турбулентная поперечная миграция.

Присутствие твердых частиц в потоке может приводить к значительному (порой многократному) увеличению тепловых потоков. Эти явления обусловлены совместным изменением ряда параметров, таких как характеристики развивающегося на обтекаемом теле пограничного слоя [2, 12, 14–16], вихревых зон и турбулентных следов параметры частиц при соударении с поверхностью, в том числе изменение структуры течения набегающего на тело потока [17–18], а также шероховатости поверхности. Исследование процессов взаимодействия частиц с обтекаемой поверхностью, газодинамическое напыление крайне важно принимать во внимание, особенно с учетом пограничного слоя. Для реализации расчета математической модели запыленного потока необходимо проведение расчета в ANSYSFluent и верификация расчета на установке.

### **Библиографический список**

1. Дружакина О.П. Проектирование сооружений пылегазоочистки: учебно-метод. пособие. – Ижевск: Удмуртский ун-т, 2014. – 44 с.
2. Мостовенко Л.В., Парамонов А.М. Проведение исследовательских испытаний на инерционно-вакуумном золоотделителе // Промышленная энергетика. – 2019. – № 12. – С. 43–49.
3. Осипцов А.Н. О структуре ламинарного пограничного слоя дисперсной примеси на плоской пластине // Изв. АН СССР. МЖГ. – 1980. – № 4. – С. 48.
4. Измерения полей скоростей газа и твердых частиц в пограничном слое турбулированного гетерогенного потока / А.Ю. Вараксин, Д.С. Михатулин, Ю.В. Полежаев, А.Ф. Поляков // ТВГ. – 1995. – Т. 33, № 6. – С. 915.

5. Пахомов М.А., Терехов В.И. Влияние испарения капель на турбулентность газа и теплообмен при течении двухфазного потока за внезапным расширением трубы // Изв. РАН. МЖГ. – 2016. – № 1. – С. 69.

6. Вараксин А.Ю. Воздушные торнадоподобные вихри: математическое моделирование // ТВТ. – 2017. – Т. 55, № 2. – С. 291.

7. Вараксин А.Ю., Зайчик Л.И. Влияние мелкодисперсной примеси на интенсивность турбулентности несущего потока в трубе // ТВТ. – 1998. – Т. 36, № 6. – С. 1004.

8. Вараксин А.Ю. Влияние частиц на турбулентность несущего потока газа // ТВТ. – 2015. – Т. 53, № 3. – С. 441.

9. Пат.175570 Российская Федерация. Инерционно-вакуумный золоотделитель для дымовых газов / № 2017100591: заявл. 12.01.2017, опубл. 11.12.2017; Л.В. Белоглазова (Л.В.Мостовенко) В.П. Белоглазов, В.Н. Градобоев; патентообладатели Фонд поддержки научной, научно-технической и инновационной деятельности «Энергия без границ».

10. Вараксин А.Ю., Гидрогазодинамика и теплофизика двухфазных потоков: проблемы и достижения (обзор) // ТВТ. – 2013. – Т. 51, № 3. – С. 421–455.

11. Вараксин А.Ю. Кластеризация частиц в турбулентных и вихревых двухфазных потоках // ТВТ. – 2014. – Т. 52, № 5. – С. 777.

12. Сугак Е.В., Кузнецов Е.В., Шахрай С.Г. Динамика газодисперсного потока в вертикальном канале // Вестник Сибирского гос. аэрокосмического ун-та им. акад. М.Ф. Решетнева. – 2005. – № 4. – С. 18–23.

13. Абрамович Г.Н. О влиянии примеси твердых частиц или капель на структуру турбулентной газовой струи // ДАН СССР. – 1970. – Т. 190, № 5. – С. 1052.

14. Суган Е.В., Войнов Н.А., Николаев Н.А. Очистка газовых выбросов в аппаратах с интенсивными гидродинамическими режимами. – Казань: Школа, 1999. – 224 с.

15. Белоглазова Л.В. Влияние изменения высоты конфузторного участка на эффективность инерционно-вакуумного золоуловителя // Тр. первой науч.-техн. конф. молодых ученых Уральского энергетического института. – Екатеринбург: Изд-во УрФУ. – 2016. – С. 38–40.

16. Бусройд Р. Течение газа со взвешенными частицами. – М., Мир, 1975. – 378 с.

17. Кучанов С.И., Левич В.Г. Диссипация энергии в турбулентном потоке, содержащем взвешенные частицы // ДАН СССР. – 1967. – Т. 174, № 5. – С. 1033.

18. Деревич И.В. Влияние примеси крупных частиц на турбулентные характеристики газозвеси в каналах // ТВТ. – 1994. – Т.2, №2. – С. 70–78.

### **Сведения об авторах**

**Мостовенко Любовь Владимировна** – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Энергетика» Нижневартковского государственного университета, Нижневартовск, e-mail: teploblv@mail.ru

**Рыжникова Екатерина Антоновна** – студентка Нижневартковского государственного университета, Нижневартовск, e-mail: ryzhnikova.k@yandex.ru

**Белоглазов Владимир Петрович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Энергетика» Нижневартковского государственного университета, Нижневартовск, e-mail: vpbnp@mail.ru

**Тоцких Павел Михайлович** – аспирант кафедры «Теплоэнергетика» Омского государственного технического университета, Омск

### **About the authors**

**Mostovenko Lyubov Vladimirovna** – Ph. D. in Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Power Engineering Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk, e-mail: teploblv@mail.ru

**Ryzhnikova Ekaterina Antonovna** – Student Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk, e-mail: ryzhnikova.k@yandex.ru

**Beloglazov Vladimir Petrovich** – Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Power Engineering, Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk, e-mail: ryzhnikova.k@yandex.ru

**Totskikh Pavel Mikhailovich** – Graduate Student of the Department of Heat Power Engineering Omsk State Technical University, Omsk

## РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ГЕНЕРАЦИЯ В РОССИИ

**Е.А. Арютина, Н.В. Васильченков, А.А. Демидов**  
Нижевартовский государственный университет,  
Нижевартовск

В данной статье рассмотрено понятие распределенной генерации и ее состояние на сегодняшний день. Представлены особенности развития распределенной генерации в России. Перечислены проблемы, связанные с эксплуатацией объектов распределенной генерации, и причины их возникновения. Кроме этого, освещены перспективы развития распределенной генерации.

**Ключевые слова:** распределенная генерация; электростанции малой мощности; электрическая сеть; распределенная сеть; электрическая энергия.

## DISTRIBUTED GENERATION IN RUSSIA

**E.A. Aryutina, N.V. Vasilchenkov, A.A. Demidov**  
Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk

This article discusses the concept of distributed generation and its state to date. Features of distributed generation development in Russia are presented. The problems associated with the operation of distributed generation facilities and the reasons for their occurrence are listed. In addition, prospects for the development of distributed generation are highlighted.

**Keywords:** distributed generation; low-power power plants; electric network; distributed network; electric energy.

Распределенная генерация (РГ) представляет собой такую концепцию, когда в непосредственной близости от потребителей строятся генерирующие мощности, независимые от централизованной энергетической системы. Эти объекты генерации вырабатывают количество энергии, необходимое только для питания конкретных ближайших потребителей, как правило, вырабатываемая ими мощность находится в пределах 100 кВт – 50 МВт.

В последнее десятилетие в России началось активное развитие распределенной генерации, тем не менее ее процент намного ниже чем в европейских странах. Данная ситуация связана с особенностями развития, которые определяются экономическими, историческими факторами и техническим уровнем развития. Например, в Европе РГ основывается на возобновляемых источниках энергии (энергии солнца, ветра, прилив-

ной энергии и т.д.), в России же основной рост происходит за счет появления новых электростанций малой мощности (ЭСММ), где, как правило, используются газотурбинные, газопоршневые и дизельные установки. На сегодняшний день объекты РГ располагаются в отдаленных районах (в районах Крайнего Севера, Арктических зонах и на Дальнем Востоке), они принадлежат нефтегазодобывающим, горнодобывающим организациям и организациям химической, металлургической, бумажной и деревообрабатывающей промышленности [1]. Однако они являются перспективным направлением и для крупных городов, где помогут справиться с проблемой роста потребления электроэнергии. Их внедрение способствует уменьшению перетоков мощности по распределительным сетям, а также избавит от необходимости реконструкции распределительной сети и трансформаторных подстанций [2].

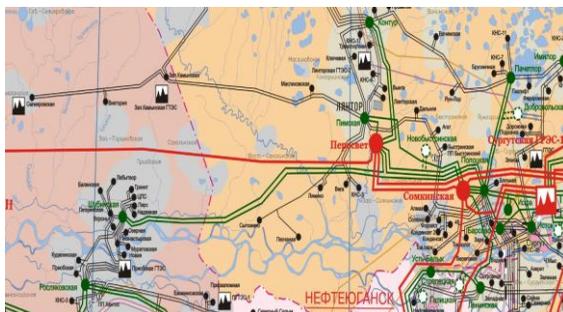


Рис. Фрагмент электрической сети с объектами РГ

Развитие РГ решает важные экономические и экологические проблемы. Использование ЭСММ позволит [3]:

- использовать попутный нефтяной газ в качестве топлива для выработки электрической энергии вместо сжигания (эффективная утилизация попутного нефтяного газа);
- использовать в качестве топлива шахтный и доменный газы для выработки электрической и тепловой энергии;
- использовать вторичные энергоресурсы (биогаз, опилки и т.д.);
- избежать сложного технологического присоединения удаленных районов к централизованной электрической сети;
- значительно уменьшить стоимость услуг по передаче электроэнергии.

На рисунке представлен фрагмент электрической сети, где располагается большое количество объектов РГ.

Важным аспектом является то, что с увеличением объектов РГ возрастает и их влияние на энергосистему, в ряде случаев это будет значительно влиять на надежность и устойчивость работы крупных энергорайонов. Тогда требуется разработка новых устройств противоаварийной автоматики, однако данный вопрос требует отдельного рассмотрения.

При использовании ЭСММ сетевые компании и собственники объектов РГ сталкиваются с рядом технических проблем, которые влекут за собой и финансовые потери [3]:

- механические повреждения агрегатов ЭСММ из-за воздействия ударных токов при возникновении многофазных коротких замыканий (КЗ);

- нарушения динамической устойчивости агрегатов ЭСММ при многофазных КЗ;

- неселективные отключения генераторов в ситуациях, когда отсутствует угроза механического или термического повреждения генераторов, при возникновении и ликвидации КЗ защитами сетевых элементов;

- возникновение синхронных качаний агрегатов ЭСММ при неправильной настройке автоматического регулятора возбуждения (АРВ);

- неуспешное выделение районов с ЭСММ на сбалансированную нагрузку (агрегаты ЭСММ отключаются технологическими защитами);

- после действия автоматики выделения на сбалансированную нагрузку (АВСН) появляется проблема длительной работы агрегатов ЭСММ, так как имеется ограничение по технологическому минимуму нагрузки;

- значительные сложности в обеспечении селективного отключения КЗ в сети.

В настоящее время регулярно проводится анализ проблемных вопросов, возникающих при эксплуатации объектов РГ:

- трудности в получении разрешения на технологическое присоединение к электрическим сетям;

- ожидаемая экономическая эффективность от внедрения объекта РГ в отличие от первоначальной, значительно снижается в связи с удорожанием проекта, увеличением расхода топлива и др.;

- в большинстве аварийных ситуаций возникает проблема невозможности обеспечения надежного энергоснабжения потребителей при выделении энергорайона на автономную работу;

- происходит повреждение генерирующих установок при нормативных возмущениях в сети.

Указанные проблемы возникают вследствие неправильного выбора оборудования (вида, типа, мощности и т.д.), режима работы и неправильной организации эксплуатации агрегатов ЭСММ, создание проекта без учета особенностей внешней распределительной сети. Актуальной проблемой является и недостаток нормативной документации в области эксплуатации ЭСММ. Однако ЭСММ вводятся большими темпами и в больших объемах, подключаются на параллельную работу с энергосистемой. Многие специалисты полагают, что в течение ближайших двадцати лет РГ сможет покрыть всю потребность страны в электроэнергии [3].

Для решения перечисленных проблем ежегодно проводятся всероссийские конференции, где рассматриваются вопросы развития малой распределенной генерации, привлечения внебюджетных средств для строительства ЭСММ и меры стимулирования. Так, мерами, используемыми государством для развития РГ, являются налоговые льготы, льготное кредитование, ужесточение экологических требований и др.

РГ будет и дальше широко внедряться в электрические сети, чему способствует удаленность большинства районов России от центра (централизованной энергосистемы). Климатические условия также предполагают большой спрос на тепловую энергию, что дает потенциал развитию небольших ТЭЦ. Еще одним фактором является малый срок окупаемости, который составляет всего 2–3 года [4].

По мнению экспертов, существует возможность преобразования промышленных и коммунально-бытовых объектов, которые работают на газе, в ЭСММ, причиной этому является существенный износ используемого оборудования. Кроме того, в отдельных регионах России возможно создание ЭСММ на основе ветровых и солнечных электростанций [1, 5].

Представленные выше аргументы доказывают, что развитие РГ – это тот тренд в энергетике, которому необходимо следовать, кроме того в настоящее время малая распределенная энергетика является единственным действенным инструментом снижения стоимости электроэнергии для предприятий малого и среднего бизнеса.

Поэтому необходимо найти баланс в использовании объектов РГ и их взаимодействии с централизованной системой. Однако в ближайшее время основную роль продолжат играть крупные электростанции, но внедрение ЭСММ позволит обеспечить достаточным количеством энергии удаленные районы, что положительно скажется на всей электрической системе.

## Библиографический список

1. Распределённая энергетика в России: потенциал развития / А. Хохлов, Ю. Мельников, Ф. Веселов, Д.Холкин, К. Дацко. – М.: Энергетический центр Московской школы управления «Сколково», 2018. – 87 с.

2. Веселов Ф.В., Макаров А.А., Макарова А.С. Методы и результаты оценки эффективности ускоренной модернизации электроэнергетики России // Теплоэнергетика. – 2013. – № 1. – С. 6–17.

3. Илюшин П.В. Проблемные технические вопросы работы объектов распределенной генерации в составе энергосистемы // Энергоэксперт. – 2015. – № 1. – С. 58–62.

4. Веселов Ф.В., Кулагин В.А., Макарова А.С. Перспективы развития электроэнергетики мира и России с учётом влияния технологического прогресса // Вести в электроэнергетике. – 2019. – № 4. – С. 4–16.

5. Горшкова Н.А., Гуревич Ю.Е., Илюшин П.В. Перспективные направления в автоматизации объектов распределенной генерации при их интеграции в распределительные сети // Релейная защита и автоматизация. – 2013. – № 01(10). – С. 48–55.

## Сведения об авторах

**Арютина Елизавета Андреевна** – магистрант Нижневартовского государственного университета, Нижневартовск, e-mail: liza.aryutina@mail.ru

**Васильченков Никита Владимирович** – магистрант Нижневартовского государственного университета, Нижневартовск, e-mail: nikit\_vasil213@mail.ru

**Демидов Артем Александрович** – магистрант Нижневартовского государственного университета, Нижневартовск, e-mail: a.a.demidov\_98@mail.ru

## About the authors

**Aryutina Elizaveta Andreevna** – Master's Student Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk, e-mail: liza.aryutina@mail.ru

**Vasilchenkov Nikita Vladimirovich** – Master's Student Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk, e-mail: nikit\_vasil213@mail.ru

**Demidov Artem Aleksandrovich** – Master's Student Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk, e-mail: a.a.demidov\_98@mail.ru

## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДАТЧИКА ДУБЛИРОВАННОГО БЕСКОНТАКТНОГО СИНУСНО-КОСИНУСНОГО ТРАНСФОРМАТОРА ДЛЯ ВХОДНОГО НАПРАВЛЯЮЩЕГО АППАРАТА ГАЗОТУРБИННОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ**

**Д.А. Ведерников, Г.А. Килин**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

В данной статье представлена разработка математической модели датчика ДБСКТ для применения ее в модели ГТУ. Собран теоретический материал по протеканию физических процессов в реальном датчике. Выполнено моделирование и сравнение полученных характеристик с реальным объектом. Произведен и доказан расчет угла поворота ротора реального датчика и математической модели.

**Ключевые слова:** дублированный бесконтактный синусно-косинусный трансформатор; газотурбинная установка, газотурбинная электростанция; газотурбинный двигатель; математическая модель.

## **MATHEMATICAL MODEL OF THE SENSOR OF THE DUPLICATED CONTACTLESS SINO-COSINE TRANSFORMER FOR THE INPUT GUIDE UNIT OF A GAS TURBINE POWER PLANT**

**D.A. Vedernikov, G.A. Kilin**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

This article presents the development of a mathematical model of the DBSCT sensor for its application in the GTU model. Theoretical material on the course of physical processes in a real sensor is collected. Simulation and comparison of the obtained characteristics with a real object are performed. The calculation of the rotation angle of the rotor of the real sensor and the mathematical model is made and proved.

**Keywords:** duplicated contactless sine-cosine transformer; gas turbine plant, gas turbine power plant; gas turbine engine; mathematical model.

Применение в электроэнергетике и электротехнике газотурбинных двигателей в наземных электростанциях является одним из актуальных направлений, поскольку может обеспечить электроэнергией не только бытовых электропотребителей, но и промышленные предприятия.

Газотурбинная электростанция (ГТЭС) является сложным и дорогостоящим механизмом, поскольку включает в себя много мелких деталей. На сегодняшний день с развитием компьютерной техники строят патетические модели данных электростанций. Это делается для того, чтобы можно было предугадать возможное поведение системы, провести проверки на отказоустойчивость работы ГТЭС, получить расчет возможного КПД установки [1, 2].

Если говорить о математическом моделировании, то необходимо понимать, что это такое и что в себя включает? Прежде всего, любое моделирование подразумевать применение теоретических аспектов знаний. Если же говорить о математическом моделировании технических систем, то оно основано на применении математического аппарата, в частности, алгебраических и дифференциальных уравнений, алгебры, логики и др. Одной из положительных характеристик математического моделирования является возможность проверки и доработки механизмов до включения в рабочий режим реальных установок. Поскольку основной составляющей ГТЭС является газотурбинная установка (ГТУ), в состав которой входят управляющие и следящие системы.

Наиболее важным в ГТУ является узел входного направляющего аппарата (ВНА), который необходим для создания постоянного и одинакового давления в компрессор низкого давления ГТУ газотурбинной электростанции. Лопатки ВНА не представляется возможным выполнить жестко закрепленными, что привело бы к получению только одного режима работы ГТУ. Это негативно сказалось бы на работе двигателя. Так как невозможно получить одинаковые параметры окружающей среды для нормальной работы двигателя. Поэтому для отслеживания угла поворота используется датчик ДБСКТ. Общий вид датчика ДБСКТ-250-1Ш представлен на рис. 1.

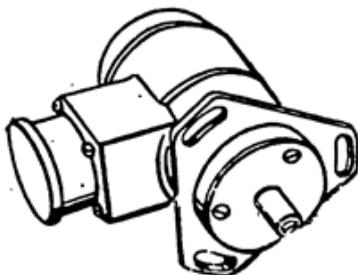


Рис. 1. Общий вид датчика ДБСКТ-250-1Ш

Актуальность разработки и применения данного устройства в ГТЭС подтверждается тем, что при определении угла поворота лопаток ВНА можно значительно влиять на энергоэффективность ГТУ [2].

Активная работа в развитии трансформаторов относится еще к XIX веку. С тех пор разработано множество конструкций трансформаторов. В свою очередь, датчик ДБСКТ является трансформатором с поворотным ротором, похожим конструктивно на асинхронный двигатель (АД) [3].

Датчики ДБСКТ предназначены для выдачи в САУ информации об угловом положении ВНА КВД и заслонки (тарелки) клапана перепуска воздуха за КНД. Применение ВНА дает возможность изменять режим работы двигателя [1].

Данный тип датчика включает в себя статор и ротор в виде магнитопроводов с пазами на наружных сторонах. Имеет четыре обмотки, расположенные две на статоре ( $w_1$  и  $w_k$ ) и две на роторе ( $w_2$  и  $w_3$ ) (рис. 2). Статорные обмотки сдвинуты относительно друг друга в пространстве на угол  $90^\circ$ , и чаще всего эти обмотки имеют одинаковое число витков, следовательно, получаем одинаковое сопротивление ( $Z_1$  и  $Z_k$ ).

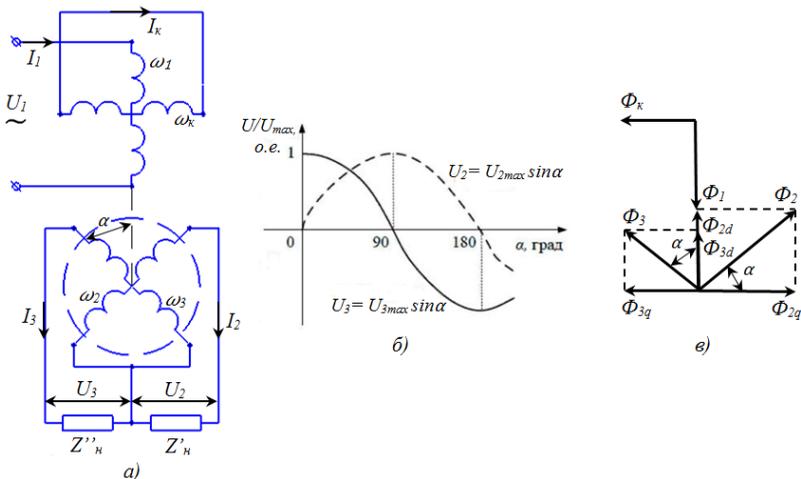


Рис. 2. Синусно-косинусный вращающийся трансформатор в синусно-косинусном режиме

При включении обмотки статора в цепь переменного синусоидального напряжения, ЭДС на обмотке  $w_1$  будет меняться по закону синуса. Следовательно, ЭДС обмотки будет также меняться по закону синуса. Получаем напряжение  $\dot{U}_2$  на выходе в зависимости от угла поворота ротора  $\alpha$ :

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_{2m} \sin \alpha, \quad (1)$$

тогда, поскольку напряжение на выходе обмотки  $w_3$  сдвинуто на  $90^\circ$ , то  $\dot{U}_3$ :

$$\dot{U}_3 = \dot{U}_{3m} \sin \left( \frac{\pi}{2} + \alpha \right) = \dot{U}_{3m} \cos \alpha. \quad (2)$$

Из зависимостей (1) и (2) видно, что напряжения меняются по синусной и косинусной зависимостям. Также из этих выражений и условий равенства обмоток получаем значения напряжений  $\dot{U}_{2m}$ , и  $\dot{U}_{3m}$  будут одинаковы и определяются выражением (3) [4]:

$$\dot{U}_{2m} = \dot{U}_{3m} = (w_2/w_1)\dot{U}_1, \quad (3)$$

где  $\dot{U}_1$  – входное напряжение ПТ, определяемое на зажимах обмотки возбуждения  $w_1$ .

Используя выражение (3), получаем напряжения на выходе синусной и косинусной обмотках:

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_1(w_2/w_1) \sin \alpha, \quad (4)$$

$$\dot{U}_3 = \dot{U}_1(w_3/w_1) \cos \alpha. \quad (5)$$

В том случае, если трансформатор предназначен для измерения угла поворота, чаще всего используют синусоидальную обмотку в качестве выходного сигнала. Косинусная обмотка применяется в том случае, если необходимо получить калибровочную характеристику [5, 6].

Технические данные датчика необходимые для моделирования:

- 1) напряжение источника питания –  $6 \pm 0,6$  В;
- 2) частота напряжения, генерируемая на источнике питания, –  $2000 \pm 100$  Гц;
- 3) максимальное выходное напряжение –  $3,8 \pm 0,4$  В.

Как уже было выше сказано, величина напряжения на выходе одной из обмоток пропорционально  $\sin \alpha$ , а другой  $\cos \alpha$ .

Математическая модель датчика ДБСКТ представлена на рис. 3.

На схеме (см. рис. 3) модель датчика состоит из 3 блоков (блок I, II, III) и блок считывания напряжения и преобразования его в угол

(IV). Блок I – производит расчет коэффициента трансформации трансформатора по выражению (6):

$$k = \frac{U_1}{U_2}, \quad (6)$$

где  $U_1$  – напряжение, источника питания, а также статорное напряжение датчика,  $U_2$  – напряжение на выходе, снимаемое с вторичной обмотки.

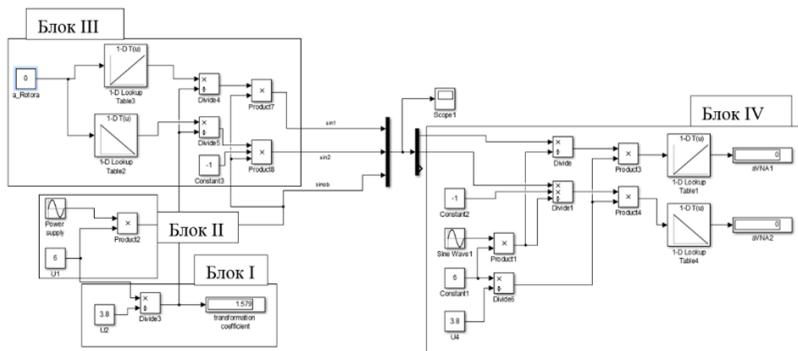


Рис. 3. Математическая модель датчика ДБСКТ

Паспортные данные реального датчика ДБСКТ-250-1Ш: постоянная величина напряжения на статоре датчика  $U_1 = 6$  В, а выходное напряжение с датчика  $U_2$  может меняться от  $-3,8$  В до  $3,8$  В в зависимости от поворота вала ротора датчика.

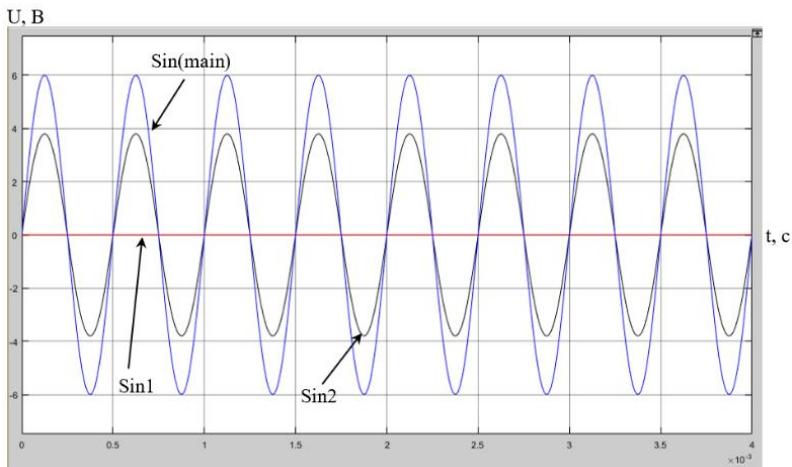
Используя формулу (6), рассчитаем коэффициент трансформации. Данный коэффициент необходим для связи напряжений первичной и вторичной обмоток. Величина коэффициента трансформации в модели представлена на дисплее «Блоком I» (см. рис. 3).

$$k = \frac{6 \text{ В}}{3,8 \text{ В}} = 1,579. \quad (7)$$

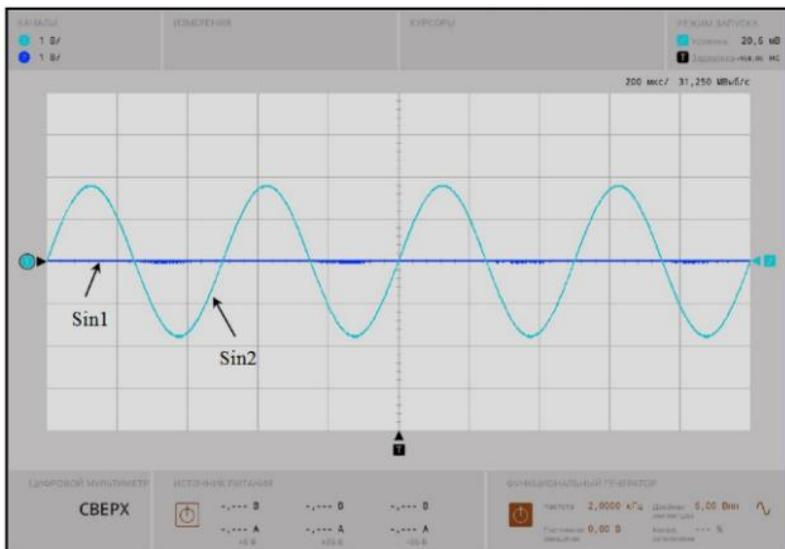
Полученные данные идентичны.

Блок II математической модели выполняет функции источника питания и соответственно обмотку статора с параметрами напряжения 6 В и частотой 2 кГц (12566.400 рад/с). Блоком III модели выполняется функция поворота ротора. На рис. 3 в  $a\_Rotora$  можно задавать величину угла поворота ротора. В реальном же датчике это выполняется вращением ротора. Блок IV – блок для считывания величины напряжения с вторичной обмотки и преобразования его в электрический сигнал с последующей выдачей значения в САУ. Выполняя мо-

делирование при повороте угла ротора реального датчика в положение ноль и задании нулевого положения математической модели, видно, что характеристики идентичны (рис. 4).

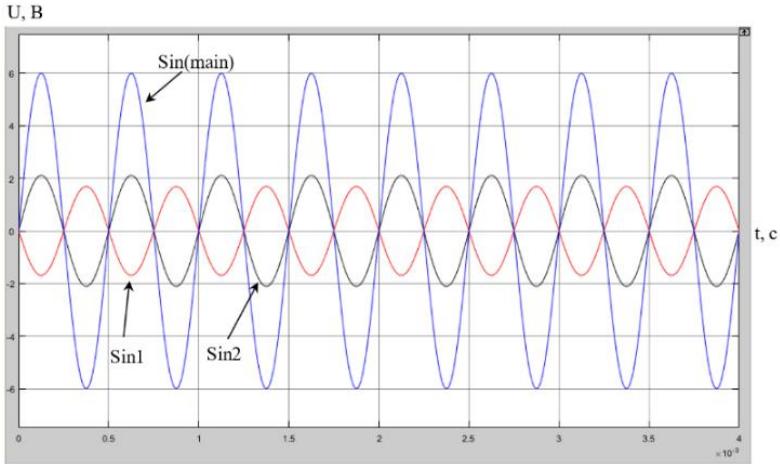


*a*

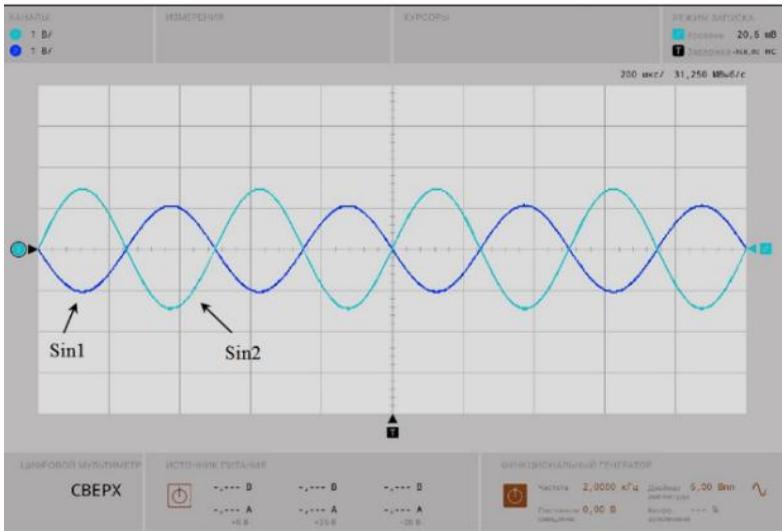


*б*

Рис. 4. Графики выходного напряжения при  $\alpha = 0^\circ$ : *a* – в результате имитационного моделирования датчика ДБСКТ, *б* – реальный режим работы датчика ДБСКТ



*a*

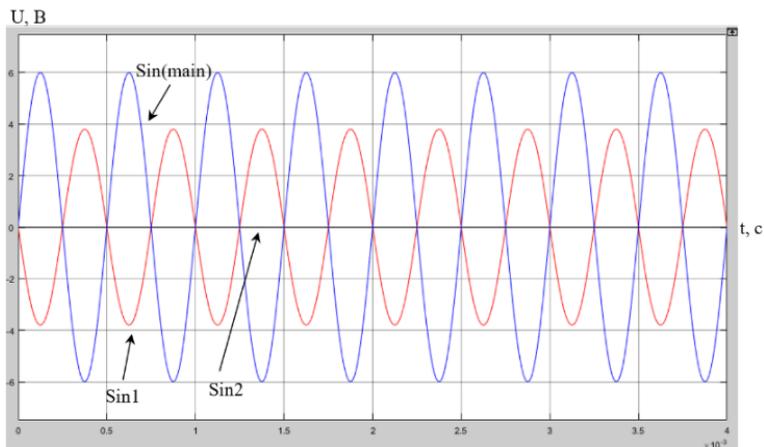


*б*

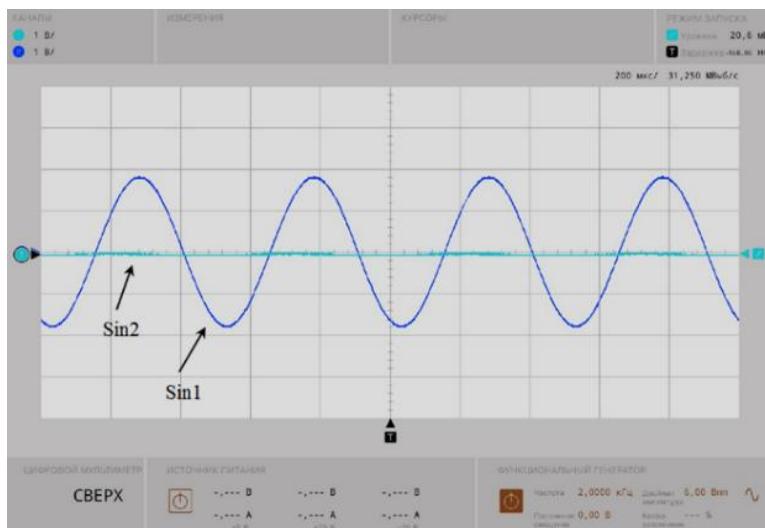
Рис. 5. Графики выходного напряжения при  $\alpha = -40^\circ$ : *a* – в результате имитационного моделирования датчика ДБСКТ, *б* – реальный режим работы датчика ДБСКТ

Если проверить теоретически, подставив  $\alpha = 0^\circ$  в уравнения (1) и (2), получим величину  $\sin(0^\circ) = 0$ , поэтому величина напряжения  $U_1 = 0$  В, а напряжение  $U_2$  пропорционально  $\sin\left(\frac{\pi}{2} + \alpha\right)$  (сдвинуто на

90°). Поэтому можно сказать, что величина  $U_2$  будет изменяться по  $\cos \alpha$ , а  $\cos 0^\circ = 1$ , следовательно, напряжение  $U_2 = 3,8$  В. Изменяя угол поворота как модели, так и реального датчика на  $\alpha = -40^\circ$ . Напряжение на выходе будут зависеть от угла  $\alpha = -40^\circ$ . Расчет производим аналогично как для  $\alpha = 0^\circ$ . Графики представлены на рис. 5.



*a*



*б*

Рис. 6. Графики выходного напряжения при  $\alpha = -90^\circ$ : *a* – в результате имитационного моделирования датчика ДБСКТ, *б* – реальный режим работы датчика ДБСКТ

В случае угла  $\alpha = -90^\circ$  получим величину  $\sin(-90^\circ) = -1$ , поэтому величина напряжения  $U_1 = -3,8$  В, а напряжение  $U_2$  пропорционально  $\sin\left(\frac{\pi}{2} + \alpha\right)$  (сдвинут на  $90^\circ$ ) или это есть  $\cos \alpha$ . Подставив  $\alpha$  в косинус, получаем  $\cos(-90^\circ) = 0$ , получаем напряжение  $U_2 = 0$  В. Результат моделирования математической модели и реального датчика представлен на рис. 6. Как видно из рисунков, характеристики получились идентичные. Это говорит о том, что данную модель можно включить в математическую модель ГТУ.

Таким образом, в рамках разработки математической модели ГТУ АО «ОДК-Авиадвигатель» была подготовлена математическая модель датчика ДБСКТ. В процессе работы также была доказана необходимость применения данного устройства в работе ГТУ. Для этого была изучена техническая документация на датчик. Описан принцип работы и физика процессов, происходящих внутри датчика. Представлены аналитические уравнения, при помощи которых выполнено построение математической модели. Полученные характеристики модели и реального датчика получились идентичными, что говорит о возможности использования данной модели в общей модели ГТУ.

### **Библиографический список**

1. Баканов М.В., Лыска В.А., Алексеев В.В. Информационные микромашинные следящих и счетно-решающих систем (вращающиеся трансформаторы, сельсины). – М.: Сов. радио, 1977.
2. Ведерников Д.А., Килин Г.А. Резервное питание предприятий на основе газотурбинных электростанций [Электронный ресурс] // Материалы X Междунар. интернет-конф. молодых ученых, аспирантов, студентов «Инновационные технологии: теория, инструменты, практика». – Пермь, 2018. – С. 301–307. – URL: <https://innotech.pstu.ru/archive/2018.pdf> (дата обращения: 05.12.2020).
3. Вращающийся трансформатор [Электронный ресурс] / Электрические трансформаторы. – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Вращающийся\\_трансформатор](https://ru.wikipedia.org/wiki/Вращающийся_трансформатор) (дата обращения 10.11.2020).
4. Леонов А.И. Инерционные автоматические трансформаторы вращающего момента. – М.: Машиностроение, 1978.

5. Осин И.Л., Юферов Ф.М. Электрические машины автоматических устройств: учеб. пособие для вузов. – М.: Изд-во МЭИ, 2003.

6. Юферов Ф.М. Электрические машины автоматических устройств: учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 1976.

### **Сведения об авторах**

**Ведерников Дмитрий Андреевич** – магистрант 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** – Master's student Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: vedernikov.d.a98@mail.ru

**Kilin Grigory Alexandrovich** – Senior Lecturer of the Department of Electrical Engineering and Electromechanics Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: thisisforasm@rambler.ru

## **РАЗРАБОТКА ГЕОФИЗИЧЕСКОГО ПРИБОРА НЕЙТРОННОГО КАРОТАЖА С АППАРАТУРОЙ ДЛЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ И ОСТАНОВКИ РЕАКЦИИ СИНТЕЗА**

**А.М. Бойко**

Российский государственный геологоразведочный  
университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ), Москва

В данной статье рассматривается разработка NeoTron, которая направлена на модернизацию источника реакции для геофизических исследований скважин. Идея разработки заключается в наличии в приборе аппаратуры, которая будет способна инициировать и останавливать синтез нейтронов.

**Ключевые слова:** бурение; каротаж; экология; нейтронный источник.

## **DEVELOPMENT OF A GEOPHYSICAL NEUTRON LOGGING DEVICE WITH EQUIPMENT FOR EXCITATION AND STOPPING OF THE SYNTHESIS REACTION**

**A.M. Boiko**

Sergo Ordzhonikidze Russian State University  
for Geological Prospecting (MGRI), Moscow

This article discusses the development of Neutron, which is aimed at upgrading the source of the reaction during the well logging. The main idea is to include in an equipment in the device that will be able to initiate and stop the synthesis of neutrons.

**Keywords:** drilling; logging; ecology; neutron source.

Цель исследования – усовершенствование производственной технологии – источника нейтронов модуля, который определяет степень пористости пласта, контролирующего радиоактивное излучение, необходимое для измерения пористости пласта горной породы, являющейся коллектором флюидов нефти.

Данная разработка позволит избежать опасных ситуаций при использовании источника, его транспортировке и при его утрате в скважине.

Назначение научно-технического продукта состоит в том, что источник в данной конструкции исследует и передает информацию об уровне пористости пласта после процесса бурения гидравлическими забойными двигателями и передачи информации материнской телесистеме, с применением контролируемого радиоактивного излучения.

При исследовании скважин существует множество самых разнообразных проблем: смятие, разрывы, обрывы или поломки вследствие скручивания труб, буровые долота могут разбиваться, замковые соединения могут отвинчиваться от колонны труб и сами трубы могут часто застревать в скважине. Последнее – самый распространенный вид аварии во время ГИС.

Наличие радиоактивных химических источников в случае аварии создает опаснейшую ситуацию радиоактивного захоронения. Также необходимо использование защитного корпуса в любое время при загрузке и разгрузке источника. Создается угроза для здоровья работников, находящихся в непосредственной близости к источнику излучения [7].

Буровые компании на постоянной основе несут огромные убытки по причине прихвата бурильного инструмента:

- трата времени на его ликвидацию;
- потеря части бурильной колонны;
- необходимость бурения бокового в обход, оставленного в скважине;
- потеря скважины.

В нейтронном каротаже есть три процесса, представляющие интерес: эмиссия нейтронов, рассеяние нейтронов и поглощение нейтронов. Нейтронный инструмент испускает нейтроны высокой энергии (4,5 МэВ) из радиоактивного источника. Они движутся очень быстро, и их энергия связана с их скоростью. Они называются быстрыми нейтронами. Источники нейтронов, используемые в каротаже, представляют собой смесь двух элементов (i) источника альфа-излучения, такого как радий, плутоний или америций, и (ii) бериллия-9. Альфа-частицы из радия, плутония или америция взаимодействуют с бериллием-9 в атомной реакции, которую производят углерод-12, быстрый нейтрон и гамма-лучи. Быстрые нейтроны взаимодействуют с ядрами атомов внутри образования. Взаимодействие представляет собой форму упругого рассеяния с участием нейтрально заряженного нейтрона и неподвижного положительно заряженного ядра. При каждом взаимодействии (столкновении) нейтрон теряет некоторую энергию и замедляется, а ядро атома в формирующемся материале приобретает энергию. Такие столкновения происходят с ядрами ВСЕХ элементов. Однако процесс передачи энергии (то есть потери энергии от нейтрона) наиболее эффективен, когда массы нейтрона и ядра одина-

ковы и становится гораздо менее эффективным, когда ядра формирующего материала более массивны, чем нейтрон. Нейтрон имеет примерно ту же массу, что и ядра водорода (самый легкий элемент). Следовательно, нейтроны теряют энергию за счет упругого рассеяния наиболее эффективно при взаимодействии с ядрами водорода и гораздо менее эффективно при взаимодействии с более массивными ядрами, такими как кремний или кислород.

Первоначально быстрые нейтроны ( $>0,5$  МэВ) быстро теряют свою энергию и становятся медленнее, проходя через стадии, называемые промежуточными нейтронами (102 – 105 эВ), эпитепральные нейтроны (от 0,1 до 100 эВ) и, наконец, тепловые нейтроны ( $<0,1$  эВ). В твердых материалах, содержащих умеренное количество элементов с низкой атомной массой, этот процесс может происходить очень быстро для данного нейтрона (порядка микросекунд). Однако время, необходимое для замедления до заданной энергии, будет варьироваться от нейтрона к нейтрону в зависимости от случайных столкновений с ядрами. Тепловые нейтроны называются так потому, что они имеют энергию, которую частица имеет в результате ее существования при комнатной температуре. Другими словами, они имеют только малую энергию, связанную со случайным кинетическим движением, связанным с комнатной температурой. Когда нейтроны достигают эпитепальной или тепловой энергии столкновения происходят гораздо реже, потому что нейтроны движутся от ядра к ядру гораздо медленнее. В течение нескольких микросекунд после воздействия источника быстрых нейтронов образование замедляет поступление нейтронов до эпитепального и теплового уровней, и облако этих тепловых нейтронов существует в образовании, окружающем источник. Столкновения продолжаются, что приводит к незначительным дальнейшим потерям энергии и медленной диффузии тепловых нейтронов из зоны вокруг детектора. Во время этого процесса нейтроны поглощаются ядрами образования. Тепловые (и в некоторой степени эпитепральные) нейтроны могут поглощаться ядрами образующихся атомов. Эффективность поглощения нейтронов варьируется от элемента к элементу. Единственными элементами, которые проявляют значительное поглощение нейтронов и существуют в разумных количествах в горных породах, являются водород и хлор. В нейтронном каротаже детекторы измеряют эпитепральные нейтроны, некоторые тепловые нейтроны и некоторые гамма-лучи, испускаемые при поглощении нейтрона.

Чем меньше тепловых нейтронов возвращается в детектор, тем большее количество водорода находится в горной породе. Чем выше водородный индекс, тем выше пористость [1, 2, 5].

На рисунке представлено схематическое изображение комплекса NeoTron.

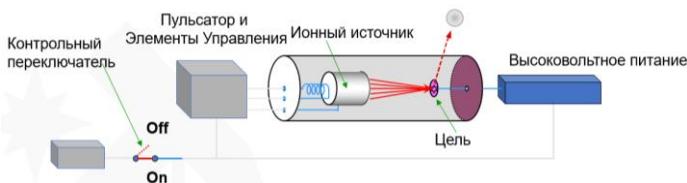


Рис. Схематическое изображение комплекса NeoTron

Цель разработки NeoTron – это постоянный контроль над процессом излучения нейтронов. Вылетевшая из америция альфа-частица попадает в бериллий, и он превращается в радиоактивный углерод, который избавляется от лишнего нейтрона. Таким образом, на каждый миллион альфа-частиц, вылетевших из америция, получается всего 30 нейтронов. Свободные нейтроны не возникают естественным путем. Они образуются при бомбардировке атомов бериллия альфа-частицами из распадающегося америция, что делает источник опасным для человека и окружающей среды.

NeoTron производит в 10 раз больше нейтронов при втрое большей энергии химического источника.

Основные технические характеристики:

- герметичный корпус высокого давления содержит 55 ГБК трития;
- под давлением газа SF<sub>6</sub> для предотвращения образования высоковольтной дуги;
- генерирует ~108 нейтронов при ~ 14 МэВ.

Данное устройство позволяет минимизировать негативное воздействие на экологическую обстановку. Основные преимущества NeoTron – радиационная безопасность, высокое качество материала, отсутствие химического источника нейтронов, наличие импульсного режима работы нейтронного генератора, извлекаемый источник гамма-квантов [3, 4, 6].

На российском рынке не представлено ни одного вида прибора, имеющего функцию отключения питания, ведь при потере радиоактивного элемента конструкции радиоактивное загрязнение будет катастрофически отравлять окружающую среду на протяжении

500–600 лет. Данная доработка прибора избавит буровые компании от штрафов и административной ответственности. К тому же, с финансовой точки зрения, механизм не является сложным и, соответственно, дорогостоящим, но значительно облегчит эксплуатацию. Необходимость использования прибора доказана многочисленными исследованиями.

### **Библиографический список**

1. Арцыбашев В.А. Ядерно-геофизическая разведка. – М., 1972.
2. Косков В.Н. Определение пористости карбонатных коллекторов по данным нейтронного каротажа // Вестник Пермского университета. Геология. – 2014. – №4 (25).
3. Расширение области применения ядерно-геофизических методов в сложных геолого-технических условиях / К.А. Машкин, О.Е. Рыскаль, А.Г. Коротченко, Р.Г. Гайнетдинов, В.Л. Глухов, А.Н. Огнев, И.Х. Шабиев // Каротажник. – 2012. – № 4. – С. 19–28;
4. Метрологическое обеспечение аппаратуры импульсного нейтронного каротажа при работе с каротажным кабелем длиной до 6 км // Разведочная геофизика. – 1988. – Вып. 107. – С. 134–140.
5. Основы импульсного нейтрон-нейтронного каротажа. – М., 1965.
6. Филиппов Е.М. Прикладная ядерная геофизика. – М., 1973.
7. Применение технологий нейтронного каротажа скважин при разработке нефтегазоконденсатных месторождений. Состояние и перспективы развития / В.В. Черепанов, С.К. Ахмедсафин, С.А. Кирсанов, С.А. Егурцов, Ю.В. Иванов, А.И. Лысенков, А.В. Меркулов // Газовая промышленность. – 2019. – № S1(782).

### **Сведения об авторе**

**Бойко Анна Максимовна** – студентка Российского государственного геологоразведочного университета им. Серго Орджоникидзе, Москва, e-mail: annetaboyko0@gmail.com

### **About the author**

**Boiko Anna Maksimovna** – Student Sergo Ordzhonikidze Russian state geological exploration University, Moscow, e-mail: annetaboyko0@gmail.com

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПЕРЕХОДА БЕЛОРУССКОЙ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ НА ВОДОРОДНОЕ ТОПЛИВО

**В.В. Лесюкова, Д.А. Лапченко**

Белорусский национальный технический  
университет, Минск, Республика Беларусь

В статье рассмотрено экологическое положение в Беларуси, исходя из анализа выбросов парниковых газов из мобильных источников. Детально рассмотрена белорусская авиация и предложен способ перехода гражданской авиации на водородное топливо. Изучены прототипы французских авиалайнеров с нулевым выбросом. Проведен анализ положительных и отрицательных качеств водородного топлива в авиационном секторе.

**Ключевые слова:** авиация; экология; водород; топливо; выбросы.

## PROSPECTS FOR THE TRANSITION OF BELARUSIAN CIVIL AVIATION TO HYDROGEN FUEL

**V.V. Lesyukova, D.A. Lapchenko**

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

In this article the environmental situation in Belarus based on the analysis of greenhouse gas emissions from mobile sources are considered. The Belarusian aviation is considered in detail and a method of transition of civil aviation to hydrogen fuel is proposed. Prototypes of French airliners with zero emissions are studied. The positive and negative qualities of hydrogen fuel in the aviation sector are analyzed.

**Keywords:** aviation; ecology; hydrogen; fuel; emissions.

Экология – неотъемлемая часть окружающего мира. Экологические проблемы влекут за собой катастрофы планетарного масштаба: глобальное потепление, парниковый эффект, изменение климата, вымирание множества видов флоры и фауны. Большая часть факторов, влекущая за собой данные последствия, имеет антропогенный характер. Одной из таких причин являются всевозможные выбросы, загрязняющие окружающую среду.

Для Республики Беларусь характерна положительная тенденция прироста показателя выбросов парниковых газов в отчетном периоде по сравнению с предыдущим. Данные по динамике показателя абсолютных выбросов, а также по выбросам из мобильных источников представлены в табл. 1 [1].

Для снижения отрицательного воздействия на окружающую среду была разработана Стратегия по снижению вредного воздействия транспорта на атмосферный воздух на период до 2020 г., ставшая основой для разработки целевых программ в области транспорта и смежных с транспортом отраслей экономики, в части, касающейся обеспечения экологической безопасности.

Таблица 1

Темпы прироста выбросов парниковых газов  
в Республике Беларусь

Параметр	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017.	2018
Сумме совокупных выбросов парниковых газов (в эквиваленте CO <sub>2</sub> )	2,4%	-0,4%	1,0%	1,1%	-0,9%	-4,9%	1,8%	1,2%	1,0%
Выбросы из мобильных источников (в эквиваленте CO <sub>2</sub> )	-3,5%	8,0%	-5,8%	30,6%	3,5%	-10,1%	-3,3%	3,9%	2,6%

Одним из мобильных источников выбросов является авиация. Несмотря на то что авиация, в сравнении с другими, является относительно «чистым» видом транспорта, ее влияние на климат и экологию становится все более ощутимым из-за постоянно увеличивающегося воздушного трафика, приводящего к росту загрязнения в верхних слоях тропосферы. В Республике Беларусь сохраняет монополию ОАО «Авиакомпания «Белавиа», воздушный флот которой насчитывает 26 гражданских воздушных судов. После выполнения плана Стратегии, а именно после полного вывода из эксплуатации воздушных судов ТУ-154, не соответствующих современным экологическим требованиям, приобретения воздушных судов, соответствующих современным экологическим требованиям в объеме 30 % парка, все авиалайнеры соответствуют требованиям, общемировых стандартов по технической безопасности, шумам [2, 3]. Тем не менее в перспективе как для Беларуси, так и всего мирового сообщества лежит переход к экологически чистому транспорту, имеющему нулевой выброс веществ, отрицательно влияющих на окружающую среду.

Примером решения данного вопроса может стать французская компания Airbus, уже на данный момент насчитывающая более 15 моделей гражданских авиалайнеров, многие из которых уже введены в эксплуатацию. В сентябре 2020 г. концерном были представлены миру три прототипа самолета с нулевым выбросом. Авиалайнеры с кодовым названием ZEROe работают на водородном топливе.

Отличия прототипов состоят как в типах установленных двигателей, так и в устройстве фюзеляжа. На рисунке представлено изображение всех концепций, а именно:

1) верхняя модель авиалайнера имеет турбовентиляторный двигатель; лайнер способен совершать трансконтинентальные полеты. Жидкое водородное топливо хранится и распределяется через резервуары, расположенные за задним гермошпангоутом;

2) средняя модель представляет собой концепт совмещенного с крылом фюзеляжа, также предназначенная для трансконтинентальных перевозок. Просторный салон предоставляет множество возможностей для его компоновки, а также для хранения и распределения в нем водородного топлива;

3) последняя модель имеет турбовинтовой двигатель и способна преодолевать до 1800 км, что делает данный прототип идеальным для перевозок на небольшие дистанции.



Рис. 1. Прототипы авиалайнеров ZEROe

В табл. 2 представлена краткая информация о самолетах, в наибольшем количестве используемых авиакомпанией «Белавиа», и инновационных авиалайнерах ZEROe [4, 5].

Таблица 2

Краткая сравнительная характеристика гражданских авиалайнеров, принадлежащих ОАО «Belavia», и прототипов ZEROe

Наименование авиалайнера	Авиалайнеры					
	Boeing 737-800	Embraer E-195	Embraer E-175	ZEROe <sup>1</sup>	ZEROe <sup>2</sup>	ZEROe <sup>3</sup>
Тип двигателя	Турбовентиляторный (CFM International CFM56-7B26E)	Турбовентиляторный (General Electric CF34-10E5)	Турбовентиляторный (General Electric CF34-8E5)	Турбовентиляторный	Турбовинтовой	«Летающее крыло»
Тип используемого топлива	Реактивное топливо	Реактивное топливо	Реактивное топливо	Водородное топливо	Водородное топливо	Водородное топливо
Вместимость пассажиров, чел	189	107	76	120-200	100	200
Дальность полета, км	5425	3900	3334	более 3700	более 1800	более 3700

Из табличных данных можно заметить, что экологически чистые авиалайнеры концерна Airbus не уступают традиционным самолетам, используемым для гражданских перевозок, но имеют весомый положительный аспект в виде полного отсутствия вреда окружающей среде. Авиалайнеры ZEROe планируются к вводу в эксплуатацию после 2035 г.

Однако, несмотря на все плюсы данного проекта, авиалайнеры на водородном топливе имеют очевидные минусы:

– данный вид экологичного топлива, находясь на начальном этапе мирового использования, абсолютно не распространен и нуждается в значительной инфраструктуре для его производства и транспортировки. Как следствие, использование водорода влечет за собой огромные издержки, превращая его в максимально неэкономичное топливо;

– производство водородного топлива требует создания «зеленой» энергетической базы, способной полностью обеспечивать экологически чистый авиапарк. В ином случае при использовании традиционных источников энергии водород перестает быть экологиче-

ски безопасным видом топлива, так как при его выработке выделяются огромные массы вредных для окружающей среды веществ;

– безопасность использования топливных элементов на водороде стоит под вопросом, исходя из того, что экологичность водородного топлива может не покрыть риски, связанные с его использованием, так как в аварийной ситуации разгерметизация хранилища может привести к высвобождению водорода и, соответственно, к взрыву, не оставляя пассажирам шанса на спасение. Как следствие, безопасность водорода как топлива не имеет должного доверия в глазах ни предпринимателей, ни потребителей;

– необходимо существенное стимулирование авиакомпаний для обновления парка воздушных судов вкупе с государственной поддержкой, что не актуально для Республики Беларусь, так как авиакомпания «Белавиа» является чистой государственной монополией.

Так или иначе, сложно отрицать активное развитие водородной энергетики и перспективы ее вклада в экологическую безопасность окружающей среды. В будущем водород имеет все возможности стать основным видом топлива для мирового сообщества.

### **Библиографический список**

1. В.3. Выбросы парниковых газов [Электронный ресурс]. – Белстат. – URL: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makro-ekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/okruzhayushchaya-sreda/sovместnaya-sistema-ekologicheskoi-informatsii2/b-izmenenie-klimata/b-3-vybrosy-parnikovyyh-gazov> (дата обращения: 21.12.2020).

2. Парк воздушных судов [Электронный ресурс]. – Belavia. – URL: <https://belavia.by/o-kompanii/park-vozdushnyh-sudov> (дата обращения: 23.12.2020).

3. Стратегия по снижению вредного воздействия транспорта на атмосферный воздух Республики Беларусь на период до 2020 года. – 05.11.2013 №06/137-207, с. 214-258

4. Airbus [Электронный ресурс]. – Airbus. – URL: <https://www.airbus.com> (дата обращения: 23.12.2020).

5. Airbus представила концепты авиалайнеров с водородным двигателем – запуск в 2035 году [Электронный ресурс]. – 3dnews. – 22.09.2020. – URL: [https://3dnews.ru/1021185?utm\\_source=yxnews&utm\\_medium=desktop](https://3dnews.ru/1021185?utm_source=yxnews&utm_medium=desktop) (дата обращения: 22.12.2020).

### **Сведение об авторах**

**Лесюкова Валерия Владимировна** – студентка Белорусского национального технического университета, Минск, e-mail: ms.lesyukova@mail.ru

**Лапченко Дарья Александровна** – старший преподаватель кафедры «Экономика и организация энергетики» Белорусского национального технического университета, Минск, e-mail: lapchenko\_d@mail.ru

### **About the authors**

**Lesyukova Valeria Vladimirovna** – Student Belarusian National Technical University, Minsk, e-mail: ms.lesyukova@mail.ru

**Lapchenko Darya Aleksandrovna** – Lecturer of Economics and Organization of Power Engineering department Belarusian National Technical University, Minsk, e-mail: lapchenko\_d@mail.ru

## ПРИМЕНЕНИЕ ВТОРИЧНЫХ РЕСУРСОВ В ЭНЕРГЕТИКЕ

**М.Н. Велитченко, Д.А. Куган**

Белорусский национальный технический  
университет, Минск, Республика Беларусь

В данной работе рассмотрена возможность использования отходов в качестве топливного ресурса в энергетической промышленности.

**Ключевые слова:** топливо из отходов; отходы; переработка; окружающая среда; биогаз; биотопливо; отходы в энергию.

## APPLICATION OF SECONDARY RESOURCES IN THE ENERGY

**M.N. Velitchenko, D.A. Kugan**

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

This paper considers the possibility of using waste as a fuel resource in the energy industry.

**Keywords:** refuse derived fuel; waste; recycling; environment; biogas; biofuel; Waste-to-Energy.

В связи постоянным ростом численности населения растёт объём промышленных и коммунально-бытовых отходов. Остро встаёт вопрос утилизации отходов. В мире широко применяются три основные направления в обращении с отходами: создание мусорных полигонов, вторичное использование ресурсов и сжигание неперерабатываемых отходов.

Энергетическая утилизация отходов, или энергия из отходов (англ. Waste-to-Energy, W2E) – это процесс получения электрической и тепловой энергии в результате сжигания отходов и продуктов, производных из них.

Топливом для мусорных электростанций выступают ТКО и ТБО, прошедшие различную обработку. Первым возможным вариантом использования мусора в RDF-топливе – это гранулы, спрессованные из отходов, не пригодных для дальнейшего использования в качестве вторичных источников сырья. В состав этих гранул может входить кожа, бумага, древесина, резина, некоторые виды пластика и т.д.

В зависимости от качественного состава сырья рабочая теплота сгорания RDF колеблется от 2000 до 20 000 МДж на килограмм. Экологичность такого топлива также зависит от состава: продукты горения пластика имеют более негативное воздействие на атмосферу, чем природного газа. Вопрос безопасности внедрения RDF-топлива остаётся спорным, однако смело можно говорить о его экономических преимуществах. Эксплуатация МСЗ в качестве энергетического объекта повышает прибыль мусоросжигательного завода. В 2023 г. планируется ввести в эксплуатацию первый мусоросжигательный объект в городе Минске, одним из вариантов является его строительство на базе ТЭЦ.

Органические отходы различных секторов народного хозяйства (пищевой промышленности, рыбного и забойного цеха и органические отходы, сельского хозяйства, прочие отходы потребления, отделённые на МПЗ) используются при получении биогаза. Получение биометана (очищенный от CO<sub>2</sub> биогаз) позволяет предотвратить выбросы в окружающую среду газа, образующегося в процессе естественного брожения органической составляющей отходов на мусорных полигонах и свалках. Получение биогаза в Беларуси началось в 2010 г. и с тех пор объем получаемого топлива стабильно растет, что видно по данным таблицы.

Производство (добыча) природных видов  
топливно-энергетических ресурсов

Параметр	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Биогаз, тыс. т у.т.	3	4	6	13	13	14	13	16	17

Биогаз получают в ходе многоэтапного процесса внутри биогазовой установки. Биомасса (отходы пищевых производств, коммунального хозяйства, животноводческой отрасли) периодически подаются в реактор – подогреваемый и утепленный резервуар, оборудованный миксерами для регулярного перемешивания, чаще всего сооружается из железобетона. В реакторе разложение биомассы происходит под воздействием гидролизных, кислотообразующих и метанобразующих бактерий. В резервуаре формируется пищевая цепочка, где одни бактерии питаются продуктами жизнедеятельности предыдущих. Под оптимальными условиями жизнедеятельности бактерий

подразумевается периодическая подача биомассы и постоянное поддержание температуры около 36°. Образующийся биогаз скапливается в газгольдере в верхней части реактора, затем проходит систему очистки. При сбраживании некоторых видов сырья дополнительно возможно использование реактивов и катализаторов. Далее отработанная биомасса может быть использована в качестве удобрения. Подобная технология стремится к концепции Zero waste, которая подразумевает многоэтапное и практически безотходное использование материалов и ресурсов. Расчетная электрическая мощность биогазовых установок для обработки существующего количества биосырья животноводческих комплексов должна составлять 625 МВт. Внедрение установок привело бы к ежегодной экономии около 2,9 млн тонн традиционного топлива. Кроме животноводческих ферм и птицефабрик, в Беларуси насчитывается более 170 свалок бытовых отходов, часть которых можно реорганизовать в биогазовые комплексы. Сегодня в Республике Беларусь функционируют более 20 биогазовых комплексов и электростанций на свалочном газе общей мощностью 25 МВт. Одна из них расположена на санитированном полигоне ТКО «Тростенец», установленная мощность 3,4 МВт.

Таким образом, на современном этапе развитие энергетического использования отходов поможет решить проблему их утилизации, диверсифицировать импортные топливно-энергетические ресурсы и тем самым увеличить уровень энергетической безопасности региона.

### **Библиографический список**

1. Биотопливо: источник собственной энергии [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.belshinajsc.by/about/news/2017/biotoplivo-istochnik-sobstvennoy-energii/> (дата обращения 17.12.2020).

2. Годовые данные. – URL: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/> (дата обращения: 17.12.2020).

3. Многоотраслевая статистика. – URL <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/> (дата обращения: 17.12.2020).

### **Сведения об авторах**

**Велитченко Мария Николаевна** – студентка Белорусского национального технического университета, Минск, e-mail: velitchenko.maria@gmail.com

**Куган Даниил Александрович** – студент Белорусского национального технического университета, Минск, e-mail: vetary3@gmail.com

### **About the authors**

**Velitchenko Maria Nikolaevna** – Student Belarusian National Technical University, Minsk, e-mail: velitchenko.maria@gmail.com

**Kugan Daniil Aleksandrovich** – Student Belarusian National Technical University, Minsk, e-mail: vetary3@gmail.com

## ГИБРИДНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

**К.А. Конев, Н.А. Шилов, К.А. Лейзгольд**  
Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

В статье рассмотрен вопрос обеспечения электроэнергией небольшого хозяйства. Предложена гибридная установка, которая преобразует различные виды энергии в электрическую. Рассмотрены различные источники энергии производства электроэнергии. Показаны технологическая и структурная схемы установки.

**Ключевые слова:** электроэнергия; альтернативные источники энергии; комплекс электростанций.

## HYBRID PLANT FOR THE PRODUCTION OF ELECTRICITY

**K.A. Konev, N.A. Shilov K.A. Leyzgold**  
Perm National Research Polytechnic University, Perm

The article deals with the issue of providing electricity to a small farm. A hybrid installation that converts various types of energy into electrical energy is proposed. Various energy sources of electricity production are considered. The technological and structural diagrams of the installation are shown.

**Keywords:** electricity; alternative energy sources; power plant complex.

В России на данный момент каждый жилой дом запитывается электрической энергией, которая протекает по проводам централизованного электроснабжения. Расстояние между источником и потребителем велико, поэтому появляются большие потери в линиях электропередач, что может сказаться на стоимости электроэнергии. Ввиду данной проблемы для небольших удаленных хозяйств можно рекомендовать установку собственной станции, которая будет гарантировать некую свободу от монополии большой энергетики.

Технологическая схема предлагаемой установки показана на рис. 1.

Предлагается использование системы в виде двух труб, закопанных в землю. Внутри каждой трубы будут закреплены лопасти, связанные общим валом, которые при помощи подъема и спуска воды по трубам будут вращаться. К системе лопастей будет присоединен вер-

тикальный генератор для преобразования энергии. Насос будет использоваться для поднятия грунтовых вод и находиться в центре системы двух труб.

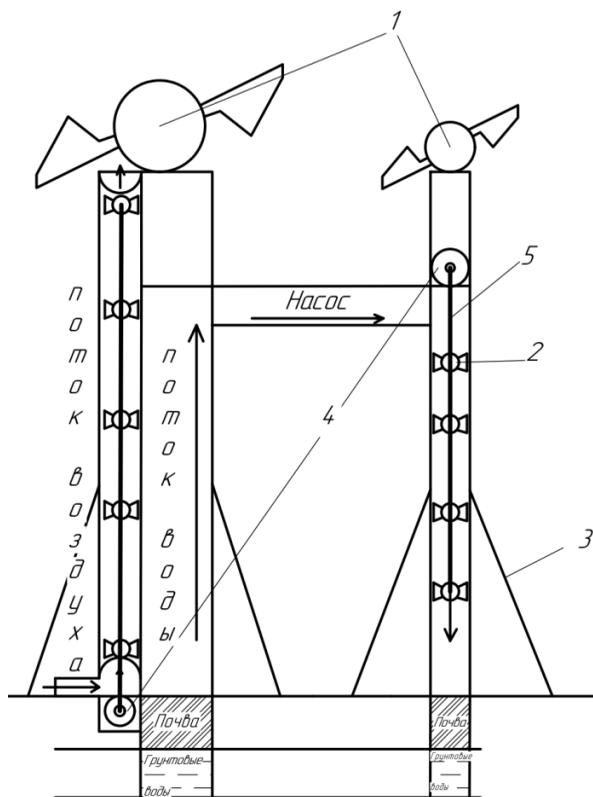


Рис. 1. Технологическая схема гибридной электростанции:  
1 – ветрогенераторы; 2 – лопасти; 3 – опоры; 4 – генераторы; 5 – вал

Поверх труб будут поставлены ветрогенераторы для дополнительной выработки электроэнергии (ЭЭ) и для питания насоса.

Так как ночью потребление электроэнергии гораздо меньше, чем днем, то необходима установка аккумуляторных батарей (АКБ). Для увеличения энергоэффективности трубу с большим диаметром и большим ветряным агрегатом можно разделить и провести еще одну систему внутри неё. Данная система будет раскручивать лопасти и крутить генератор при помощи потока воздуха. Под трубой будет

прорыта небольшая траншея, воздух будет выходить наружу через отверстие сверху трубы. За счет ветровой тяги лопасти внутри трубы будут крутиться и раскручивать генераторную установку, которая будет находиться в земле и располагаться вертикально валу. Тем самым увеличится выработка электроэнергии от комплекса систем.

В предлагаемом комплексе электростанций рассматриваются:

- ветровая электростанция (ВЭС);
- солнечная электростанция (СЭС);
- мини гидроэлектростанция (мини-ГЭС).

Рассмотрим сначала ВЭС. Скорость ветра и отсутствие турбулентностей (завихрений) должны иметь решающее значение при выборе места установки ветрогенератора (ВГ). Из этих соображений идеально подходят [1]:

- берег крупного водоема;
- вершина горы или возвышенности;
- центр протяженного поля.

Большинство городов России расположены на водоемах. Таким образом, ветрогенераторы будут более энергоэффективными в рассматриваемых ниже регионах.

Чем выше будет установлен ВГ, тем лучше будет выработка кВт/ч. В системе будет установлен только горизонтальный ветрогенератор. ВЭС имеет некоторые недостатки, но в данном комплексе станций они легко разрешимы.

Стоимость электростанции можно снизить за счет установки ветрогенераторов на трубы вместо специальных опор.

Использование станции в холодное время уменьшает срок эксплуатации, встроенной в комплекс систем, мини-ГЭС. Для утепления необходимо возвести стены вокруг системы до конечного места протекания воды по трубам. Ветрогенераторы при этом будут находиться в полностью открытом состоянии. Кроме того, стены образуют дополнительное пространство для установки солнечных батарей.

Солнечные батареи [3] для рассматриваемой гибридной станции нужны для выработки дополнительной электроэнергии, которая будет расходоваться на питание насоса в случае безветренных дней. Солнечный модуль недорогой, большую стоимость конструкции несет в себе контроллер и инвертор. Также необходима покупка отдельных АКБ. Далее будет рассматриваться наилучшее место установки гибридной станции.

Грунтовые воды входят в классификацию «подземных вод» и относятся к основным видам водоносных горизонтов. Зачастую залегают определенно близко к поверхности, из-за этого данный тип имеет свое второе название – подпочвенные воды [4].

Из-за близкого расположения к поверхности земли работы и расходы на бурение будут несложными и незатратными. Поиск грунтовых вод не составит большого труда, так как их площади довольно обширны благодаря огромным объемам воды.

Их главная особенность – это постоянство. Гибридную станцию не нужно постоянно «перетаскивать» с места на место и бурить новые скважины – это увеличивает целесообразность установки мини-ГЭС.

Гидроэлектростанции принято считать габаритными установками с большими перепадами мощностей. В рассмотренном комплексе выработка ЭЭ предполагается на уровне с выработкой ЭЭ ветрогенераторов. Насос для перекачки грунтовых вод в рассмотренной системе (см. рис. 1) легок в обслуживании, так как находится на поверхности.

Одно из основных преимуществ мини-ГЭС – это то, что в России множество мест, где грунтовые воды расположены достаточно близко к почве. Наилучшим внедрением системы будет равнинная местность, так как бурение скважины будет менее затратно, и ветрогенераторы установить будет лучше в месте постоянных ветров.

По всем вышеуказанным замечаниям для полной энергоэффективности системы были предусмотрены следующие места расположения: Ульяновская область; Республика Крым; Краснодарский край; Ростовская область.

Все области подходят для установки ВЭС и СЭС, так как каждое место находится у больших водоемов и морей. Во всех указанных местах преобладают жаркие и солнечные дни. Выбор места расположения всей конструкции может осложниться в связи с оседанием почвы под установкой.

Предлагается следующее решение: вокруг труб установить бетонные плиты, на которых расположены опоры, закрепленные к установке (см. рис. 1). Ниже представлена предполагаемая структурная схема гибридной станции (рис. 2). На ней приведено питание от источника до конечного потребителя, так как, для мини-ГЭС нужно

питание собственных нужд, стоит подключить СЭС и ВЭС в распределительное устройство, которое, в свою очередь, будет обеспечивать электроэнергией насос в системе мини-ГЭС и отправлять часть питания к контроллеру. Контроллер регулирует потребление ЭЭ.

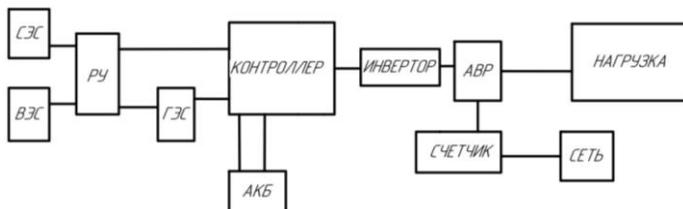


Рис. 2. Структурная схема питания установки

Если выработка ЭЭ будет превышать нужную норму потребителя, она будет накапливаться в АКБ. Также, аккумуляторы нужны для крайних ситуаций при отсутствии ветра и солнца. Ночью из-за низкого потребления они будут накапливать энергию.

Автоматический ввод резерва (АВР) предусмотрен для ситуации, если в АКБ не будет запаса ЭЭ для потребителя или гибридная станция выйдет из строя.

Рассмотренная в статье концепция применения гибридной электростанции для малых хозяйств, безусловно, требует подтверждения расчетами. Следующим этапом будет произведен расчет всех систем с точки зрения механики, электроэнергетики и экономической составляющей.

### Библиографический список

1. Голицын М.В., Голицын А.М., Пронина Н.В. Альтернативные энергоносители. – М.: Наука, 2004.
2. Насколько ветряки опасны для птиц? [Электронный ресурс] // Зеленый дазор. – URL: <https://greenbelarus.info/articles/26-04-2018/naskolko-vetryaki-opasny-dlya-ptic> (дата обращения: 13.12.2020).
3. Солнечная батарея [Электронный ресурс] // After220. – URL: <https://alter220.ru/solnce/solnechnaya-batareya.html> (дата обращения: 13.12.2020).
4. Всеволожский В.А. Основы гидрогеологии. – 2 изд. – М.: МГУ, 2007.

### Сведения об авторах

**Шилов Никита Анатольевич** – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: nikita.shilov99@mail.ru

**Конев Константин Андреевич** – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail:looking\_99@mail.ru

**Лейзгольд Карина Анатольевна** – старший преподаватель кафедры «Микропроцессорные средства автоматизации» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail:leizgold\_ka@pstu.ru

### About the authors

**Shilov Nikita Anatolyevich** – Student of Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: nikita.shilov99@mail.ru

**Konev Konstantin Andreevich** – Student of Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail:looking\_99@mail.ru

**Leyzgold Karina Anatolyevna** – Senior Lecturer of the Department “Microprocessor Automation Tools” Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: leizgold\_ka@pstu.ru

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ НЕФТЕПРОДУКТО- ПРОВОДА ПРИ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ОТКАЧКАХ НА ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ПЕРЕКАЧИВАЮЩЕЙ СТАНЦИИ**

**Д.Р. Макулов, В.В. Уланов, Р.А. Шестаков**

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

В данной статье рассматривается изменение режима работы магистрального нефтепродуктопровода при периодических откачках нефтепродукта на промежуточной перекачивающей станции.

**Ключевые слова:** откачка; подпор; перекачивающая станция; нефтебаза.

## **INVESTIGATION OF THE OPERATING MODE OF THE OIL PRODUCT PIPELINE DURING PERIODIC PUMPING AT AN INTERMEDIATE PUMPING STATION**

**D.R. Makulov, V.V. Ulanov, R.A. Shestakov**

Gubkin University of oil and gas, Russia, Moscow

This article discusses the change in the operating mode of the main oil product pipeline during periodic pumping of oil products at an intermediate pumping station.

**Keywords:** pumping; backup; pumping station; tank farm.

Трубопроводный транспорт на сегодняшний день играет важнейшую роль в своевременном обеспечении потребителей необходимым количеством топлива. Так, нефтепроводы прокладывают от месторождений до нефтеперерабатывающих заводов или до других объектов потребителя. Благодаря трубопроводам осуществляется транспортировка колоссальных объемов нефти и нефтепродуктов в разные уголки не только страны, но и континента [1–3]. В последнее время также часто применяют перекачку только одного нефтепродукта по нефтепродуктопроводу.

Так как трубопроводы проходят вблизи большого количества населенных пунктов различных регионов, то для обеспечения потребителей от магистрального нефтепродуктопровода сооружаются трубопроводы-отводы на местные нефтебазы. Для заполнения резервуаров используют периодические отборы нефтепродукта из магистрального трубопровода. Такие откачки можно производить как непосредствен-

но с промежуточной перекачивающей станции, так и на линейном участке между станциями. При незначительных сбросах (откачках) расчет нефтепродуктопровода проводят без их учета. Однако периодическая откачка продукта из нефтепродуктопровода сильно влияет на параметры работы перекачивающих станций, находящихся после места откачки, так как при больших объемах сброса меняется технологический режим перекачки. В таких случаях приходится проводить регулировку работы перекачивающих станций [4].

Поэтому исследование данных технологических процессов является важной задачей трубопроводного транспорта, решение которой позволяет сбалансированно использовать оборудование перекачивающих станций.

На перекачивающих станциях применяются регуляторы давления и расхода, которые способствуют поддержанию заданных параметров перекачки [1]. При откачке нефтепродукта происходит изменение расхода и, как следствие, остальных параметров перекачки на перекачивающих станциях, расположенных после места откачки. Часть трубопровода до сброса (откачки) называется левой, а часть, находящаяся после откачки и до конечной или перевальной точки, – правая.

Для определения параметров перекачки нефтепродукта при откачке на промежуточной нефтеперекачивающей станции используем систему координат относительного трубопровода, состоящего из  $n$  перекачивающих станций (НПС). Откачка будет вестись на НПС. Перекачка нефтепродуктов проводится в рабочей зоне с координатами  $x \in [0, L]$ .

Так как откачка происходит на промежуточной станции, то достаточно задать координаты и высотные отметки НПС  $\{x_i, z_i\}$  ( $x_i$  – координата станции, км,  $z_i$  – высотная отметка, м).

Кроме того, необходимо задать ряд других характеристик трубопровода и нефтепродукта:  $\rho$  – плотность, кг/м<sup>3</sup>;  $\nu$  – кинематическая вязкость, м<sup>2</sup>/с;  $D_k$  – внешний диаметр участка, мм;  $p_n$  – начальное давление, МПа;  $L$  – длина трубопровода, км;  $\delta_k$  – толщина стенки участка, мм;  $\Delta$  – абсолютная шероховатость стенки, мм;  $G$  – массовый расход, млн т/год;  $q$  – расход откачки, м<sup>3</sup>/ч;  $n$  – количество перекачивающих станций;  $c$  – номер НПС, на которой осуществляется откачка.

На начальном этапе расчета вычисляется ряд параметров, необходимых для гидравлического расчета, а именно:

– внутренний диаметр трубопровода, принимаемый одинаковым на всем технологическом участке:

$$d = D - 2\delta; \quad (1)$$

– диапазон граничных чисел Рейнольдса:

$$10 \cdot \frac{d}{\Delta}; \quad (2)$$

$$500 \cdot \frac{d}{\Delta}; \quad (3)$$

– объемный расход нефтепродукта до сброса (откачки):

$$Q = \frac{G}{\rho}; \quad (4)$$

– объемный расход нефтепродукта после откачки:

$$Q_s = Q - q. \quad (5)$$

– скорость течения нефтепродукта по трубопроводу:

$$v = \frac{4Q}{\pi d^2}. \quad (6)$$

Далее производится базовый гидравлический расчет нефтепродуктопровода. Исходя из чисел Рейнольдса для начального расхода, определяется коэффициент гидравлического сопротивления –  $\lambda$  по классическим формулам гидравлики [5] или согласно нормативным документам [6].

Далее выбирается насосное оборудование по  $Q-H$  характеристике существующих насосов, которое позволит перекачивать нефтепродукт в заданных рабочих параметрах, и определяются коэффициенты аппроксимации напорных характеристик по формулам [1].

Для определения количества работающих магистральных насосов, соединенных последовательно, рассчитываются потери до станции, где производится откачка [7]:

$$h = 1,02 \cdot \lambda \cdot \frac{L_c}{d} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}. \quad (7)$$

Составляется уравнение баланса напоров для левой части нефтепродуктопровода:

$$h_{н1} + (c - 1) \cdot F(Q) = (z_c - z_0) + h_{нc} + 1,02 \cdot \lambda \cdot \frac{L_c}{d} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}. \quad (8)$$

Из формулы (8) вычисляется подпор на станции, где осуществляется сброс (откачка) нефтепродукта.

Далее проводится гидравлический расчет для расхода  $Q_*$  после откачки аналогично расчету для левой части нефтепродуктопровода.

Затем по потерям напора в трубопроводе определяется необходимый напор перекачивающей станции после откачки, по которому определяется режим работы станции, решается вопрос о регулировании. Кроме того, необходимо определить значения критического расхода и откачки, при которых подпор перед станцией сброса будет минимальным, то есть минимальный подпор, обеспечивающий бескавитационную работу магистрального насоса.

Критический расход определяется по балансу напора для левой части трубопровода по формуле:

$$Q_{кр} = \sqrt{\frac{\Delta H + (c-1) \cdot a - (z_L - z_0) - h_{nc(min)}}{(c-1) \cdot b + 1,02 \cdot \lambda \cdot \frac{L_c}{d^5} \cdot \frac{8}{\pi \cdot g}}}, \quad (9)$$

где  $a, b$  – коэффициенты насоса;  $h_{nc(min)}$  – минимальный подпор, обеспечивающий бескавитационную работу магистрального насоса, м.

Важным условием является то, что при расчете критического расхода режим течения остается таким же, как и при заданном расходе, то есть коэффициент гидравлического сопротивления остается таким же, как при начальном расходе  $Q$ .

Для определения значения критической откачки необходимо составить уравнение баланса напоров для правой части трубопровода:

$$\begin{aligned} h_{nc(min)} + (n+1-c) \cdot F(Q_{кр}) = \\ = (z_L - z_c) + h_{нЛ} + 1,02 \lambda_* \cdot \frac{L - L_c}{d} \cdot \frac{v_*^2}{2 \cdot g}, \end{aligned} \quad (10)$$

где  $F(Q_{кр})$  – дифференциальный напор, развиваемый НПС после откачки при критическом расходе.

Тогда критическая откачка определяется по формуле:

$$q_{кр} = Q_{кр} - \sqrt{\frac{h_{nc(min)} + (n+1-c) \cdot a - (z_L - z_c) - h_{нкон}}{(n+1-c) \cdot b + 1,02 \cdot \lambda \cdot \frac{(L - L_c)}{d^5} \cdot \frac{8}{\pi \cdot g}}}. \quad (11)$$

Определяется количеством последовательно включенных насосов, которое выбирается по потерям напора на линейном участке после станции.

Результаты расчета, произведенного с помощью ранее описанного алгоритма, показывают, что при значительных сбросах (откачках) нефтепродукта потери напора на правом участке нефтепродуктопровода уменьшаются из-за уменьшения расхода, поэтому для сбалансированного использования насосных агрегатов перекачивающей станции и экономии электроэнергии необходимо проводить регулировку работы станции. Так как насосные станции технологического участка оборудуются преимущественно однотипными насосными агрегатами, поэтому при периодической значительной откачке невозможно проводить регулировку насоса применением частотного регулирования привода или обточкой колеса. В таких случаях регулировку производят с помощью отключения одного или нескольких насосных агрегатов.

Таким образом, было исследовано изменение технологического режима трубопровода при периодических откачках нефтепродукта на промежуточной перекачивающей станции, определено, что при значительных откачках необходимо отключать часть насосных агрегатов для наиболее экономически эффективной работы перекачивающей станции.

### **Библиографический список**

1. Проектирование и эксплуатация нефтепроводов: учебник для нефтегазовых вузов / М.В. Лурье, Б.Н. Мастобаев, П.А. Ревель-Муроз, А.Е. Сощенко. – М.: Недра, 2019. – 434 с.

2. Основное технологическое оборудование и процессы транспорта нефти и нефтепродуктов: учеб. пособие [Электронный ресурс] / С.В. Дейнеко, А.С. Алихашкин, Р.А. Шестаков, В.В. Уланов. – М.: РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, 2018. – URL: <http://elibr.gubkin.ru/content/23045> (дата обращения: 28.11.2020).

3. Ванчугов И.М. Компьютерное моделирование процессов смеобразования при последовательной перекачке нефти и нефтепродуктов // Нефть и газ – 2019: сб. тез. 73-й Междунар. молодеж. науч. конф. в 5 т. – 2019. – Т. 2. – С. 106–107.

4. Трубопроводный транспорт нефти и газа: учебное пособие для вузов / Р.А. Алиев, В.Д. Белоусов, А.Г. Немудров [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1988. – 368 с.
5. Лурье М.В. Теоретические основы трубопроводного транспорта нефти, нефтепродуктов и газа. – М.: Недра, 2017. – 477 с.
6. РД 24.040.00-КТН-062-14. Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Магистральные нефтепроводы. Нормы проектирования. – М.: ОАО «АК «Транснефть», 2014. – 165 с.
7. Поляков В.А., Шестаков Р.А. Системный подход к проектированию трубопроводов: учеб. пособие [Электронный ресурс]. – М.: РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, 2018. – URL: <http://elib.gubkin.ru/content/22990> (дата обращения: 29.10.2020).

### Сведения об авторах

**Макулов Динар Ранисович** – студент Российского государственного университета нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, Москва, e-mail: d.makulov99@yandex.ru

**Уланов Валерий Владимирович** – ассистент кафедры «Проектирование и эксплуатация газонефтепроводов» Российского государственного университета нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, Москва, e-mail: ulanov.v@gubkin.ru

**Шестаков Роман Алексеевич** – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Нефтепродуктообеспечение и газоснабжение» Российского государственного университета нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, Москва, e-mail: shestakov.r@gubkin.ru

### About the authors

**Makulov Dinar Ranisovich** – Student of Gubkin University, Moscow, e-mail: d.makulov99@yandex.ru

**Ulanov Valeriy Vladimirovich** – Assistant of the department of Gas and Oil Pipelines Engineering and Operation National University of Oil and Gas «Gubkin University», Moscow, e-mail: ulanov.v@gubkin.ru

**Shestakov Roman Alexeevich** –Ph. D. in Technical Sciences, Senior Lecturer of the petroleum products and gas supply department National University of Oil and Gas «Gubkin University», Moscow, e-mail: shestakov.r@gubkin.ru

## ЭФФЕКТ ЗЕЕБЕКА И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ

**И.Ю. Сажин<sup>1</sup>, Е.А. Чабанов<sup>1,2</sup>, Е.В. Чабанова<sup>2</sup>**

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

<sup>2</sup>Волжский государственный университет водного  
транспорта (Пермский филиал), Пермь

Статья посвящена элементу Пельтье, а именно эффекту Зеебека (термоэлектрический эффект), и устройствам, работающим на основе данного эффекта. Выделены основные достоинства и недостатки элемента Пельтье, также элемент рассмотрен как источник генерации. Приведены доказательства того, что генераторы на элементах Пельтье способны решить узкоспециализированную проблематику, связанную с генерацией энергии.

**Ключевые слова:** элемент Пельтье; генерация; электроэнергия; температура; разность температур; полупроводник; термоэлектрический эффект.

## THE SEEBECK EFFECT AND ITS APPLICATION

**I.Yu. Sazhin<sup>1</sup>, E.A. Chabanov<sup>1,2</sup>, E.V. Chabanova<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Perm national research polytechnic university, Perm

<sup>2</sup>Volga State University of Water Transport (Perm branch), Perm

The article is devoted to the Peltier element, namely the Seebeck effect (thermoelectric effect) and devices operating on the basis of this effect. The main advantages and disadvantages of the Peltier element are highlighted, and the element is also considered as a source of generation. Evidence is given that generators based on Peltier elements are able to solve highly specialized problems related to energy generation.

**Keywords:** Peltier element; generation; electric power; temperature; temperature difference; semiconductor; thermoelectric effect.

Термоэлектрический эффект: при наличии разности температур между двух сторон элемента Пельтье возникает ЭДС в замкнутой цепи, состоящей из разнородных проводниковых материалов, которые в свою очередь соединены последовательно.

**Достоинства и недостатки.** Зачастую к достоинствам модулей Пельтье (термоэлектрических модулей, ТЭМ) относят:

– сравнительно небольшие габариты (к примеру, модуль «ТЕС1-127120-50» имеет следующие геометрические параметры: длина – 50 мм; ширина – 50 мм; высота 4,0 мм);

- элемент может работать на нагрев и на охлаждение системы, а также может работать в режиме генератора;
- отсутствие движущихся частей и механических составляющих, что повышает срок службы элемента.

Недостатки модулей Пельтье:

- относительно низкий КПД в режиме генерации, так как мы работаем с тепловой энергией;
- ограниченные габариты и полезные характеристики.

### **Применение элемента Пельтье в различных сферах деятельности:**

1. *Система охлаждения.* Самое распространённое использование модуля в качестве вспомогательного компонента системы охлаждения персонального компьютера.

В качестве примера рассмотрим модуль TEC1-12709 со следующими [1] характеристиками:

- модуль способен обеспечить перепад температуры между сторонами 89,2 °С;
- его полезная мощность лежит в пределах от 0 до 66 Вт;
- максимальное напряжение 15,2 В, максимальный ток 9 А.

Следовательно, энергопотребление 136,8 Вт.

Принцип действия такой системы охлаждения заключается в обеспечении утилизации тепловой энергии, т.е. отвода ее от ТЭМ, а, следовательно, и от компонентов ЭВМ. Для этого необходимо обеспечивать наименьшую температуру «горячей» стороны». КПД такой системы варьируется от 20 до 33 %. Несмотря на КПД, мы видим ощутимую разницу системы с ТЭМ и без него (рис. 1).

2. *Холодильник.* Термоэлектрический холодильник хуже в ряде параметров в сравнении со своими аналогами, но также он имеет ряд преимуществ благодаря своей конструкции [2]:

- простота конструкции;
- низкий уровень шума;
- возможность работы в любом положении;
- небольшое потребление энергии и т.п.

3. *Кондиционер.* Конструктивно такое устройство будет значительно проще, но такой кондиционер будет потреблять в 3–4 раза больше электроэнергии, чем оборудование, работающее на хладагенте.

4. *Устройство для охлаждения и нагрева воды.* Элемент Пельтье может быть использован в качестве водяного охладителя. Подобное устройство конструктивно состоит из: модуля охлаждения, обогревателя и переключающего устройства, управляемого термостатом.



Рис. 1. Сравнительная характеристика системы охлаждения с использованием элемента Пельтье и без такового

Достоинства такого кулера:

– конструкция проще и дешевле аналогов (например, компрессорный).

Недостатки:

– на охлаждение требуется больше времени, чем компрессорному аналогу;

– чувствителен к избытку пыли и внешней температуре.

5. *Устройство осушения воздуха.* Влага, содержащаяся в воздухе, может быть удалена из воздуха в виде конденсата, который оседает на охлажденных предметах. Для увеличения поверхности охлаждения в данном устройстве используется радиатор, поверхность которого охлаждается до температуры ниже точки росы. Охлаждение рабочей поверхности радиатора осуществляется встроенным в него ТЭМ (модулем Пельтье). Такая конструкция осушителя является наиболее простой, а следовательно, надежной и дешевой. Именно по этой причине подобные осушительные устройства получили более широкое распространение, чем кондиционеры, конст-

рукция которых более сложна, а значит, само устройство менее надежно и более дорогое. Конденсат (осевшая вода) накапливается в специальной емкости (накопителе влаги). КПД осушителей подобных конструкций низкий, но их эффективность вполне удовлетворительная, так как они позволяют контролировать уровень влажности в воздухе и являются источниками воды (технической или питьевой после очистки).

6. *Датчик*. Элемент Пельтье также можно использовать как датчик температуры. Схема будет примитивно простая. На выводах можно поставить лампу. При включенном состоянии лампы мы будем понимать, что есть разница температуры в месте, где установлен элемент Пельтье.

7. *Генератор – источник электрической энергии*. Альтернативная энергетика в последнее время развивается очень интенсивно. В качестве альтернативных (возобновляемых) источников энергии чаще всего используют солнце или ветер. Однако существуют и другие возможности получения электроэнергии из таких источников, как приливная волна, пьезоэффект, термальные источники и др. Однако с недавних пор электроэнергию научились получать непосредственно из тепловой энергии без промежуточного преобразования ее в механическую (например на теплоэлектростанциях). Для подобного преобразования энергии используют ТЭМ (модули Пельтье), в которых одну из сторон принудительно нагревают, а на вторую монтируют радиатор, охлаждающийся под действие окружающей среды или также принудительно. Согласно принципу действия элемента Пельтье, на его противоположных сторонах индуцируется разность потенциалов, прямо пропорциональная разности температур. Такой источник электрической энергии имеет большой недостаток, обусловленный ограничением рабочей температуры по причине использования в них низкотемпературного припоя. Несоблюдение температурного режима может привести к выводу источника из строя.

Указанный недостаток существенно снижает КПД подобных устройств. По этой причине подобные устройства применяют крайне редко, только если отсутствует более эффективный источник электроэнергии. Однако термогенераторы электроэнергии малой мощности (на 5–10 Вт) все же пользуются достаточно устойчивым спросом (у жителей отдаленных районов, туристов, геологов и др.).

Далее рассмотрено готовое решение электрогенератор на элементах Пельтье, в качестве примера приведем дровяную печь «Инди-гирка» (рис. 2) [3].



Рису. 2. Дровяная печка длительного горения

Технические характеристики:

- оптимальный объем топлива для загрузки – 30 л;
- внешние размеры: В×Г×Ш, 652×427×540 мм;
- вес – 54 кг;
- мощность тепловая – 4 кВт;
- электромощность на выходе – 50–100 Вт;
- напряжение выходное – 12 В.

Описание термоэлектрогенераторов – на боковых стенках топки зафиксированы 2 термических электрогенератора (ТЭГ) 30-12. При помощи кабеля к генератору происходит подключение разъемов для подсоединения электроприборов. Генераторы трансформируют тепло горящего топлива в электрическую энергию. Устойчивый, полноценный режим работы ТЭГ начинается на десятой минуте после поджога топлива.

По данному принципу можно строить печи для банных комплексов на дачные участки. При определенных условиях этот принцип работы будет полезен. Если элемент Пельтье будет выдерживать большую разницу температур, будет устойчив к высоким температурам, приближенным к температуре внешних сторон печей в момент горения древесины.

Существуют различные виды полупроводников с различными термическими свойствами. Например, Арсенид галлия имеет температуру плавления 1238 °С, соответственно данный полупроводник можно рассматривать как один из пары для элемента Пельтье.

Для повышения температурного диапазона термогенераторов до 300 °С в них используют специальный тугоплавкий припой. В обычных элементах температурный режим имеет ограничение – 150 °С. Что является проблемной зоной в элементах Пельтье? Если решить проблему с припоем, то мы расширим зону применения элемента как генератора.

Генерация электроэнергии с помощью элемента Пельтье имеет низкий КПД, что является очень большим недостатком и делает его использование нецелесообразным. Но данный вид генерации можно отнести к возобновляемым источникам энергии, что, в свою очередь, несет в себе определенные преимущества:

- экологичность;
- отсутствие вреда окружающему ландшафту;
- неисчерпаемость, может компенсировать КПД.

**Заключение.** Элемент Пельтье имеет очень интересные свойства, которые применимы к различным сферам в повседневной жизни. Сегодня их можно встретить в переносных холодильниках, в системах охлаждения электронных устройств, в кулерах с водой и так далее. К сожалению, из-за своего недостатка, связанного с КПД, его применение мало в генерации электроэнергии. Хотя печи типа «Индигирка» пользуются спросом у определенной группы лиц. Если модернизировать данный элемент, то его применение станет еще более целесообразным и широким.

### Библиографический список

1. Элементы Пельтье для охлаждения компьютера [Электронный ресурс]. – URL: <https://pc-01.tech/peltie/> (дата обращения: 27.09.2020).
2. Элемент Пельтье. Он же генератор, он же холодильник, он же подогреватель [Электронный ресурс]. – URL: <https://zen.yandex.ru/media/id/5d803f3bddfef600ac3ef6e1/element-pelte-on-je-generator-on-je-holodilnik-on-je-podogrevatel-5dafac6e97b5d400b22307a3> (дата обращения: 27.09.2020).
3. Дровяная печь индигирка [Электронный ресурс]. – URL: <https://teplo.guru/pechi/indigirka.html> (дата обращения: 27.09.2020).

## Сведения об авторах

**Сажин Илья Юрьевич** – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: ilsazhin@yandex.ru

**Чабанов Евгений Александрович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электротехника и электромеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета; доцент кафедры «Специальности водного транспорта и управления на транспорте» Пермского филиала Волжского государственного университета водного транспорта, Пермь, e-mail: ceapb@mail.ru

**Чабанова Евгения Владимировна** – кандидат педагогических наук, доцент, заведующая кафедрой «Специальности водного транспорта и управления на транспорте Пермского филиала Волжского государственного университета водного транспорта, e-mail: jentosina@yandex.ru

## About the authors

**Sazhin Ilya Yurievich** – Student Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: ilsazhin@yandex.ru

**Chabanov Evgeniy Alexandrovich** – Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Electrical Engineering and Electromechanics Perm National Research Polytechnic University; Associate Professor of the Department "Specialties of Water Transport and Transport Management" Volga State University of Water Transport (Perm branch), Perm, e-mail: ceapb@mail.ru

**Chabanova Evgeniya Vladimirovna** – Ph. D. in Pedagogical Sciences, Associate Professor, Head of the Department "Specialties of Water Transport and Transport Management" Perm branch of Volga State University of Water Transport, e-mail: jentosina@yandex.ru.

**ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НОРМАЛЬНЫХ  
И ТАНГЕНЦИАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО  
ПОЛЯ В ПРОПИТАННОЙ БУМАЖНО-ПЛАСТИКОВОЙ  
ИЗОЛЯЦИИ КАБЕЛЕЙ С СЕКТОРНЫМИ  
ЖИЛАМИ НА НАПРЯЖЕНИЕ 20 КВ**

**А.Г. Щербинин, Р.П. Лукоянов**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

Бумажная и бумажно-пластиковая пропитанная изоляция силовых кабелей представляет собой слоистую структуру. При этом у таких кабелей с секторными токопроводящими жилами (ТПЖ) на напряжение 20 кВ необходимо учитывать тангенциальную составляющую напряженности электрического поля, направленную вдоль бумажных лент, допустимая величина электрической прочности которой в 10 раз меньше электрической прочности изоляции по нормали. В работе предлагается математическая модель по определению электрического поля с учетом слоистой структуры изоляции. Реализация математической модели и численные исследования нормальных и тангенциальных составляющих электрического поля в пропитанной бумажно-пластиковой изоляции проводятся с использованием программного комплекса ANSYS MAXWELL.

**Ключевые слова:** силовая кабель; бумажно-пластиковая пропитанная изоляция; секторные токопроводящие жилы; нормальные и тангенциальные составляющие напряженности электрического поля; математическое моделирование.

**NUMERICAL STUDIES OF NORMAL AND TANGENTIAL  
COMPONENTS OF THE ELECTRIC FIELD IN IMPREGNATED  
PAPER-PLASTIC INSULATION OF CABLES WITH SECTOR  
CORES AT A VOLTAGE OF 20 KV**

**A.G. Sherbinin, R.P. Lukojanov**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

Paper and paper-plastic impregnated insulation of power cables is a layered structure. At the same time these cables with shaped conductors (EC) at 20 kV it is necessary to consider the tangential component of the electric field is directed along the paper strips, the permissible value of electrical strength which is 10 times less than electric strength of insulation normal. The paper proposes a mathematical model for determining the electric field taking into account the layered structure of insulation. The implementation of the mathematical model and numerical studies of

the normal and tangential components of the electric field in impregnated paper-plastic insulation are carried out using the ANSYS MAXWELL software package.

**Keywords:** power cable; sector conductors; normal and tangential components of electric field strength; mathematical modeling.

При разработке силовых кабелей с секторными ТПЖ необходимо учитывать тангенциальные составляющие напряженности электрического поля в бумажной пропитанной и бумажно-пластиковой пропитанной изоляции при напряжениях 20 и 35 кВ. Тангенциальные составляющие напряженности электрического поля способствуют возникновению скользящих разрядов, направленных вдоль бумажных лент [1, 2]. Допустимая величина этих составляющих в 10 раз меньше допустимой величины нормальной составляющей напряженности электрического поля [1].

Проведено исследование электрических полей для силового кабеля с тремя секторными ТПЖ сечением 240 мм<sup>2</sup> с бумажно-пластиковой пропитанной изоляцией напряжением 20 кВ [1, 3]. Каждая изолированная жила имеет медный экран, поэтому рассматривается электрическое поле одной изолированной ТПЖ [4] (рис. 1).

Допущения, принятые при построении математической модели следующие: задача двумерная, поскольку электрический потенциал не изменяется по длине кабеля ( $\partial\varphi/\partial z = 0$ ).

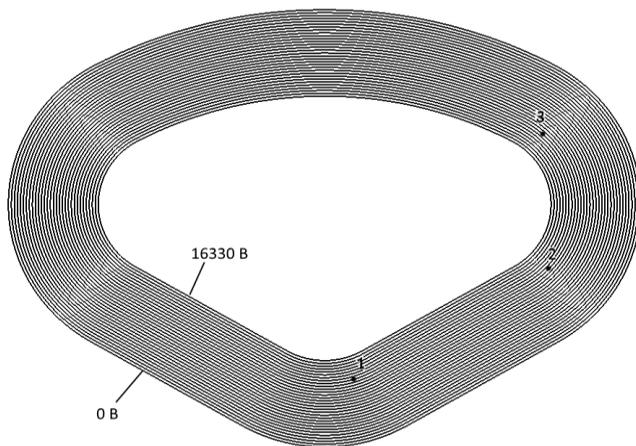


Рис. 1. Изоляция секторной токопроводящей жилы, разбитой на слои: 1, 2, 3 – пиковые значения тангенциальных составляющих электрического поля [6]

Поскольку изоляция не сплошная, а изготавливается путем наматки на токопроводящие жилы лент кабельной бумаги или ламинированной бумаги (с полимерным покрытием) и последующей пропиткой маслоканифольным составом, то проводится исследование электрического поля изоляции с учетом ее слоистой структуры. Для этого изоляция разбивается на 30 слоев (см. рис. 1), в которых последовательно задаются значения относительной диэлектрической проницаемости, приведенные в табл. 1.

Таблица 1

Значения относительной диэлектрической проницаемости

Материал изоляции	Маслоканифольный состав	Пропитанная кабельная бумага	Полимерная лента
$\epsilon$	3,6	4,0	2,5

Распределение электрического потенциала определяется из решения уравнения Лапласа [1, 3]:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \epsilon \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \epsilon \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right) = 0, \quad (1)$$

где  $x$  и  $y$  – декартовы координаты;  $\varphi$  – электрический потенциал.

При решении задачи задаются граничные условия первого рода: на поверхности экрана по жиле – 16330 В, на экране по изоляции – 0 В (см. рис. 1).

Уравнение Лапласа (1) решается методом конечных элементов [4, 5] в программном комплексе ANSYS MAXWELL, результатом решения которого является поле электрического потенциала в поперечном сечении изоляции.

Вектор напряженности электрического поля равняется градиенту электрического потенциала с противоположным знаком и определяется как [5]:

$$\vec{E} = -\text{grad} \varphi. \quad (2)$$

Наибольшие значения напряженности электрического поля наблюдаются в областях с минимальным радиусом закругления сектора ТПЖ [6]. Следовательно, график распределения напряженности электрического поля для сплошной изоляции (диэлектрическая постоянная

ная  $\varepsilon$  постоянна по всей области изоляции) и для слоистой изоляции (с разными значениями  $\varepsilon$ ) по толщине изоляции для бумажно-пластиковой пропитанной изоляции изображен на рис. 2.

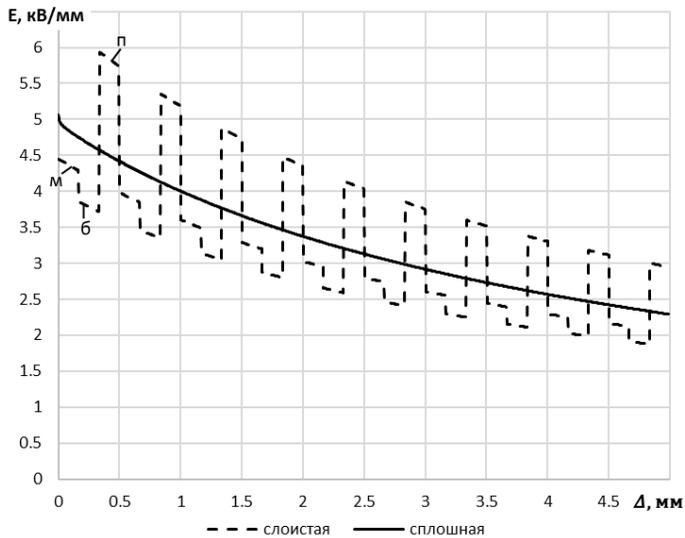


Рис. 2. График напряженности электрического поля в бумажно-пластиковой пропитанной изоляции: *m* – маслоканифольный состав, *б* – бумага, *n* – полимерный слой

Контур каждого слоя бумажно-пластиковой или бумажной пропитанной изоляции подобен внешнему контуру секторной ТПЖ. Для определения тангенциальной составляющей напряженности электрического поля строится семейство линий через равные интервалы по толщине изоляции [6].

Для заданного напряжения максимальные значения нормальных и тангенциальных составляющих электрического поля зависят от радиуса закругления секторной ТПЖ и толщины изоляции [6]. Поэтому были вычислены параметры секторной токопроводящей жилы [7] для каждого варианта с изменением радиуса закругления сектора ТПЖ от 4 до 6 мм и толщиной изоляции от 5 до 6 мм. Построены соответствующие геометрические модели, и в программном комплексе ANSYS MAXWELL определены электрические поля.

Пиковые значения тангенциальных составляющих электрического поля обозначены точками 1, 2, и 3 на рис. 1, которые располагаются от поверхности жилы на расстоянии, равном 1/3 толщины изоляции. В точке 2 наблюдается наибольшее по абсолютной величине значение тангенциальной составляющей напряженности электрического поля.

В табл. 2 и 3 представлены результаты максимальных нормальных  $E_n$  и тангенциальных  $E_t$  составляющих электрического поля для сплошной и слоистой изоляции при толщине изоляции  $\Delta = 5$  мм и радиусе закругления секторной ТПЖ  $r = 4$  мм. Максимальные нормальные составляющие в табл. 2 представлены для каждого материала в первом слое изоляции (рис. 2).

Таблица 2

Максимальные нормальные и тангенциальные составляющие электрического поля в изоляции кабеля

Тип изоляции	Сплошная изоляция	Слоистая изоляция	
		м	б
$E_n$ , кВ/мм	5,08	б	3,9
		п	5,9
$E_t$ , кВ/мм	0,48	0,48	

Из данных табл. 2 видно, что тангенциальные составляющие электрического поля как для сплошной изоляции, так и для слоистой совпадают и равняются 0,48 кВ/мм.

Таким образом, расчет тангенциальных составляющих можно вести с допущением, что диэлектрическая постоянная не изменяется по всей толщине изоляции. Результаты расчетов максимальных нормальных и тангенциальных составляющих электрического поля для всех вариантов геометрии изолированной секторной ТПЖ представлены в табл. 3. Радиус закругления секторной ТПЖ изменялся от 4 до 5 мм, с шагом 1 мм, а толщина изоляции – от 5 до 7 мм с таким же шагом.

Для бумажно-пластиковой изоляции допустимое значение напряженности электрического поля – 4,9 кВ/мм, допустимое значение тангенциальной составляющей – 0,49 кВ/мм. На рис. 3 область допустимых значений радиуса ( $r$ ) закругления сектора и толщины изоляции ( $\Delta$ ) является затемненная часть рисунка.

Таблица 3

Максимальные нормальные и тангенциальные составляющие электрического поля для всех вариантов геометрии

r, мм	$\Delta$ , мм					
	5		6		7	
	$E_{\tau}$ , кВ/мм	$E_n$ , кВ/мм	$E_{\tau}$ , кВ/мм	$E_n$ , кВ/мм	$E_{\tau}$ , кВ/мм	$E_n$ , кВ/мм
4	0,48	5,08	0,46	4,53	0,44	4,03
5	0,41	4,85	0,39	4,19	0,37	3,77
6	0,36	4,58	0,33	3,99	0,31	3,57

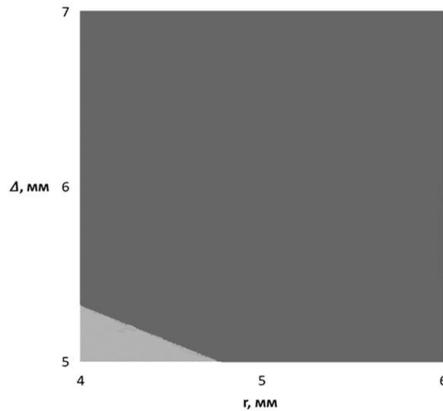


Рис. 3. Область допустимых значений толщины изоляции и радиуса закругления секторной токопроводящей жилы

Таким образом, сравнительный анализ математических моделей по определению электрического поля в однородной и слоистой изоляции кабелей с секторными токопроводящими жилами показал, что для оценки тангенциальной составляющей напряженности электрического поля можно использовать математическую модель с однородной изоляцией. При этом для определения нормальной составляющей напряженности электрического поля необходимо учитывать слоистую структуру изоляции.

В результате численных исследований электрического поля в слоистой изоляции кабелей с секторными ТПЖ сечением  $240 \text{ мм}^2$  на напряжение 20 кВ были получены допустимые значения радиуса ( $r$ ) закругления сектора и толщины изоляции ( $\Delta$ ).

## Библиографический список

1. Основы кабельной техники / под ред. И.Б. Пешкова. – М.: Академия, 2006. – 432 с.
2. Разыграев С.Н. Особенности устройства и поведения бумажной пропитанной изоляции кабелей в электрических полях среднего напряжения // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 6. – С. 516–516.
3. Щербинин А.Г., Кабирова А.И. Математическое моделирование электрического поля кабеля с жилами секторной формы // Научно-технический вестник Поволжья. – 2017. – № 5. – С. 178–180.
4. Бате К.Ю. Методы конечных элементов. – М.: Физматлит, 2010. – 1022 с.
5. Соловейчик Ю.Г., Рояк М.Э., Персова М.Г. Метод конечных элементов для решения скалярных и векторных задач: учебное пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007. – 895 с.
6. Щербинин А.Г., Лукоянов Р.П. Численные исследования электрического поля силового кабеля с секторными жилами с пропитанной бумажно-пластиковой изоляцией на напряжение 20 кВ // Электротехника. – 2020. – № 11. – С. 51–55.
7. Савченко В.Г., Труфанова Н.М., Щербинин А.Г. Расчет секторной жилы // Кабели и провода. – 2011. – № 3(328). – С. 14–17.

## Сведения об авторах

**Щербинин Алексей Григорьевич** – доктор технических наук, профессор кафедры «Конструирование и технологии в электротехнике» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: agshch@mail.ru

**Лукоянов Руслан Павлович** – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: kkk.korol@yandex.ru

## About the authors

**Shcherbinin Alexey Grigorievich** – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Design and Technology in Electrical Engineering Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: agshch@mail.ru

**Lukoyanov Ruslan Pavlovich** – Student Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: kkk.korol@yandex.ru

## **ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ МЕНЕДЖМЕНТ КАК ИНСТРУМЕНТ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ТОРФЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**Н.А. Самосюк, О.Г. Царик**

Белорусский национальный технический  
университет, Минск, Республика Беларусь

В данной статье рассмотрен один вариант повышения энергетической эффективности предприятия – энергетический менеджмент. Также описываются этапы и особенности его проведения. На основе анализа системы управления ресурсами на предприятии торфяной промышленности приводятся примеры мероприятий по повышению энергетической эффективности и эффект от их внедрения.

**Ключевые слова:** энергосбережение; энергетический менеджмент; промышленное предприятие; топливно-энергетические ресурсы; эффективность; энергетический мониторинг.

## **ENERGY MANAGEMENT AS A TOOL FOR ENERGY SAVING AT THE ENTERPRISES OF THE TURNING INDUSTRY**

**N.A. Samasiuk, O.G. Tsarik**

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

This article discusses one options for increasing the energy efficiency of an enterprise – energy management. The stages and features of its implementation are also described. Based on the analysis of the resource management system at the peat industry enterprise, examples of measures to increase energy efficiency and the effect of their implementation are given.

**Keywords:** energy saving; energy management; industrial enterprise; fuel and energy resources; efficiency; energy monitoring.

В современном мире вопросы энергоснабжения имеют первостепенное значение. Энергосбережение является одной из приоритетных задач современного энергетического производства Республики Беларусь. Страна недостаточно обеспечена собственными топливно-энергетическими ресурсами (ТЭР), повышается рост цен на энергоносители, а из-за высокой энергетической составляющей в себестоимости выпускаемой продукции происходит снижение ее конкурентоспособности на внешних и внутреннем рынках [1–3].

Внедрение системы энергетического менеджмента позволяет руководителю принимать оперативные управленческие решения, направленные на минимизацию потребления ТЭР. Это позволит снизить производственные затраты и, как следствие, повысить уровень конкурентоспособности предприятия.

Для успешного проведения энергетического менеджмента следует пройти через несколько этапов (рис. 1) [3]. Энергетический менеджмент на предприятии должен проводиться на постоянной основе.

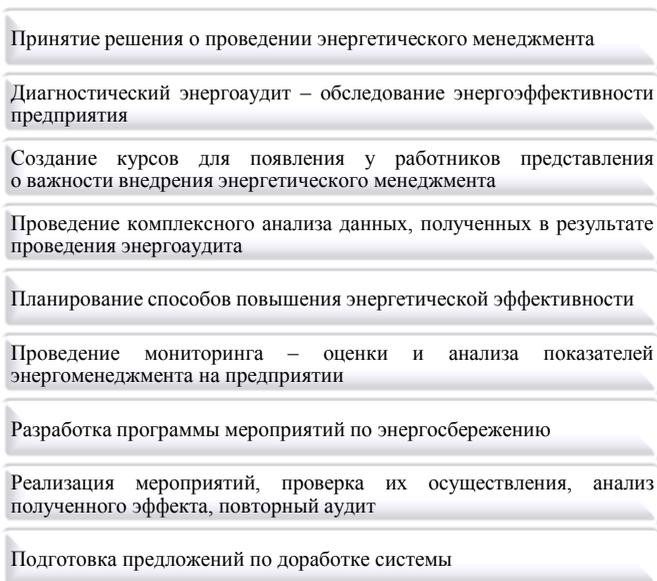


Рис. 1. Этапы проведения энергетического менеджмента предприятия

Одним из важнейших этапов энергетического менеджмента является диагностический аудит – комплексный анализ предприятия для разработки мероприятий по снижению затрат.

При проведении аудита следует ввести контроль над потреблением и расходами на энергоресурсы. Для этого требуется составить энергетический баланс предприятия и собрать сведения по объему производства и использованию сырья. Затем происходит анализ различных систем, котельных, оборудования и т.д.

После проведения всех анализов, а также разработки программ энергосберегающих мероприятий проводится расчёт экономической

эффективности и их целесообразности. На предприятиях возможно проведение нескольких видов энергоаудита: первичный; очередной; внеочередной; предэксплуатационный аудит; локальный; экспресс-аудит [5–6].

Энергоаудит позволяет получить информацию о неполадках в производственном процессе и потерях энергоресурсов на предприятии. Что позволяет своевременно принять решения по устранению потерь и тем самым сократить производственные расходы.

Затем идет этап мониторинга и планирования, в котором происходит систематизация ежемесячных и ежегодных данных о количестве и качестве использования ТЭР и энергии. И происходит выработка предложений и финансовый учет потерь энергии и экономии от внедрения мероприятий [1, 4].

Энергетический мониторинг на предприятиях предусматривает следующие этапы (рис. 2) [1].

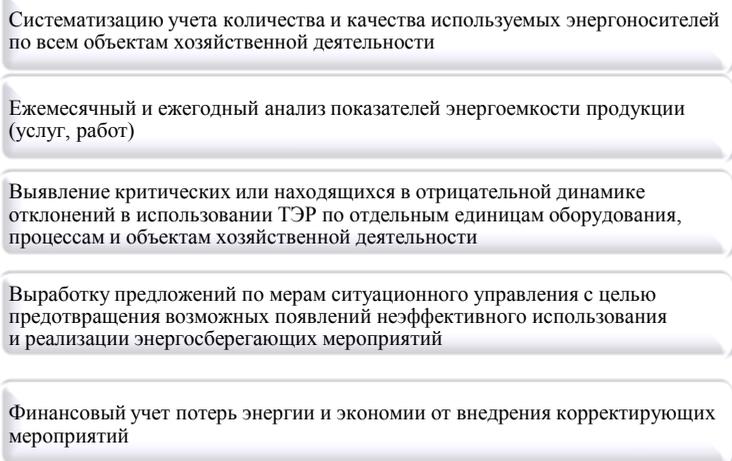
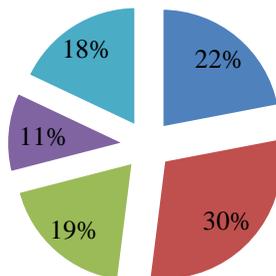


Рис. 2. Этапы проведения энергетического мониторинга предприятия

Внедрение энергетического менеджмента рассмотрим на примере ОАО «ТБЗ Усяж». Структуру затрат на производство продукции ОАО «ТБЗ Усяж» за 2019 г. приведем на рис. 3.

Можно отметить, что наибольшую долю в структуре затрат на производство продукции занимают затраты на оплату труда (30 %). Следующей крупной статьёй расходов являются затраты на энерго-

носители. Потребление топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) на ОАО ТБЗ «Усяж» за 2019 г. составило 7854 т у.т. (котельно-печное топливо 5757 т у.т. и электрическая энергия 2097 т у.т.). Схема потребления ТЭР ОАО ТБЗ «Усяж» за 2019 г. приведена на рис. 4.



- Затраты на энергоносители
- Затраты на оплату труда
- Затраты на амортизацию
- Отчисления на социальные нужды
- Прочие затраты

Рис. 3. Структура затрат ОАО «ТБЗ Усяж» за 2019 г.

ПОТРЕБЛЕНИЕ ТЭР ОАО ТБЗ «УСЯЖ»	
Котельно-печное топливо 5757 т у.т.:	Электрическая энергия 6086 тыс. кВт·ч (2097 т у.т.)
Выработка тепловой энергии 5472 т у.т.	Выработка торфяных брикетов (БТ-2, БТ-ТУ) влажностью 48-51 % 1898 тыс. кВт·ч
Выработка электрической энергии 279 т у.т.	Выработка торфяных брикетов (БТ-2, БТ-ТУ) влажностью 45-48 % 1634 тыс. кВт·ч
Коммунально-бытовое потребление 6 т у.т.	Производство тепловой энергии 899 тыс. кВт·ч
	Подъем и перекачка воды 330 тыс. кВт·ч
	Добыча воды - 132 тыс. кВт·ч
	Производство грунтов - 85 тыс. кВт·ч
	Погрузка брикетов - 9 тыс. кВт·ч
	Добыча торфа - 369 тыс. кВт·ч
	Производство топлива на основе торфа - 43 тыс. кВт·ч
	Прочее производственное потребление - 386 тыс. кВт·ч
	Коммунально-бытовое потребление 132 тыс. кВт·ч
Отпущено другим организациям 169 тыс. кВт·ч	

Рис. 4. Схема потребления ТЭР ОАО ТБЗ «Усяж» за 2019 г.

По данным рис. 4 можно сделать вывод, что основную долю в общем балансе потребления энергоносителей составляет котельно-печное топливо (73 %), на электроэнергию приходится 23 %.

По результатам энергетического обследования была предложена программа мероприятий по экономии ТЭР. Программа включает в себя технические и организационные мероприятия (рис. 5).

ТЕХНИЧЕСКИЕ	ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ
<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Замена остекления оконных проемов в здании котельной и брикетного цеха (экономия условного топлива за год составляет 3,38 т у.т.);</li> <li><input type="checkbox"/> установка частотно-регулируемых приводов на электродвигатели вентиляторов сушилок второго эффекта (экономия условного топлива за год – 120,4 т у.т.);</li> <li><input type="checkbox"/> реконструкция тепловых сетей с применением пи-труб (экономия условного топлива за год – 39 т у.т.);</li> <li><input type="checkbox"/> проведение термореновации запорной арматуры и фланцевых соединений (экономия условного топлива за год – 10,1 т у.т.);</li> <li><input type="checkbox"/> замена энергоемких сварочных аппаратов на сварочные аппараты инверторного типа (экономия условного топлива за год – 2,9 т у.т.);</li> <li><input type="checkbox"/> внедрение автоматизированной системы контроля и учета энергоресурсов (АСКУЭ) (экономия условного топлива за год – 17,5 т у.т.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Наглядная агитация по экономии энергоресурсов;</li> <li><input type="checkbox"/> периодическое повышение квалификации кадров в области энергосбережения;</li> <li><input type="checkbox"/> ежегодное обучение персонала инженером-энергетиком, современным методам экономии электроэнергии</li> <li><input type="checkbox"/> закрепление ответственных лиц за работой энергопотребляющего оборудования и осветительных установок;</li> <li><input type="checkbox"/> разработка и внедрение системы энергетического мониторинга;</li> <li><input type="checkbox"/> разработка и внедрение Положения по премированию руководителей, специалистов, служащих и рабочих за экономию ТЭР;</li> <li><input type="checkbox"/> создание фонда «Энергосбережение»</li> </ul>

Рис. 5. Программа по экономии ТЭР

Реализация предложенных мероприятий предусматривает резервы экономии: тепловой энергии – 260,26 Гкал; электрической энергии – 429,02 тыс. кВт·ч (суммарная экономия ТЭР составит 193,28 т у.т.) [5].

**Заключение.** По результатам энергетического обследования была предложена программа мероприятий по экономии топливно-энергетических ресурсов и произведен расчет экономического эф-

фекта. Суммарный эффект от мероприятий позволит за год сэкономить 193,28 т у.т. или в денежном эквиваленте 115,36 тыс. руб. Благодаря предложенным мероприятиям на предприятии произойдет оптимизация потребления энергии и ресурсов, уменьшатся потери и себестоимость из-за снижения энергетической составляющей в ней.

### **Библиографический список**

1. Самосюк Н.А., Царик О.Г. Повышение эффективности потребления топливно-энергетических ресурсов на промышленных предприятиях Республики Беларусь // Инновационные технологии: теория, инструменты, практика: материалы XI Международной интернет-конференции молодых ученых, аспирантов, студентов (15 ноября – 31 декабря 2019 г.). – Минск. – С. 192–197.

2. Самосюк Н.А., Чиж Е.П. Внедрение энергетического менеджмента на промышленных предприятиях Республики Беларусь // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2017. – № 1(21). – С. 49–76.

3. Царик О. Г., Круподёрова Е.Д., Самосюк Н.А. Система энергетического менеджмента как инструмент повышения энергетической эффективности предприятия // Сборник научных статей по материалам III Междунар. науч.-практ. конф. «Инновационный потенциал развития науки в современном мире: технологии, инновации, достижения» (28 июля 2020 г., г. Уфа). – Уфа: Изд. НИЦ Вестник науки, 2020. – 130 с.

4. Царик О.Г., Самосюк Н.А. Повышение энергоэффективности в торфяной промышленности [Электронный ресурс] // Актуальные проблемы энергетики 2020: материалы студенческой науч.-техн. конф. / сост.: И.Н. Прокопеня, Т.А. Петровская. – Минск: БНТУ, 2020. – С. 817–820.

### **Сведения об авторах**

**Самосюк Наталья Александровна** – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономика и организация энергетики» Белорусского национального технического университета, Минск, Республика Беларусь, e-mail: Tasha712@tut.by

**Царик Ольга Геннадьевна** – студентка Белорусского национального технического университета, Минск, Республика Беларусь, e-mail: tsarikolya@gmail.com

#### **About the authors**

**Samasiuk Natalya Alexandrovna** – Associate Professor of the Department of Economics and Organization of Energy, Ph. D., Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus, e-mail: Tasha712@tut.by

**Tsarik Olga Gennadievna** – Student Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus, e-mail: tsarikolya@gmail.com

**Секция 4**

**ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ.  
ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

## **АНАЛИЗ РИСКОВ ОБЪЕКТА КРИТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ, АГРЕГИРОВАННЫХ ПО УГРОЗАМ ИЛИ ПОСЛЕДСТВИЯМ**

**В.Э. Исаева, А.С. Шабуров**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

В статье произведен анализ рисков информационной безопасности объекта критической информационной инфраструктуры, агрегированных по последствиям или угрозам. Предложен доступный метод идентификации последствий реализации угроз безопасности информации, позволяющий поэтапно привести совокупность последствий определенного вида.

**Ключевые слова:** информационная безопасность; критическая информационная инфраструктура; риски информационной безопасности.

## **RISK ANALYSIS OF A CRITICAL INFORMATION INFRASTRUCTURE OBJECT, AGGREGATED THREATS OR BY EFFECTS**

**V.E. Isaeva, A.S. Shaburov**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

Risk analysis of an object of critical information infrastructures, aggregated by consequences or threats has been made in this article. An accessible method for identifying the consequences of the implementation of threats to information security have been proposed, which makes it possible to gradually bring a set of consequences of a certain type.

**Keywords:** information security; critical information infrastructure; information security risks.

Анализ рисков предполагает рациональное выстраивание процессов Информационной безопасности (ИБ) и определяет ресурсы для защиты активов. В свою очередь оценка рисков учитывает целесообразность мер по митигации рисков. Процесс управления рисками (ИБ) объекта критической информационной инфраструктуры (КИИ) в первую очередь включает следующие процедуры: идентификация рисков ИБ объекта КИИ; оценка рисков ИБ объекта КИИ; митигацию рисков ИБ объекта КИИ.

Работы по идентификации и оценке рисков ИБ объекта КИИ должны проводиться с учетом требований к процессам управления рисками ИБ объекта КИИ. Риски ИБ объекта КИИ должны быть идентифицированы. Основой идентификации рисков является идентификация и анализ возможных последствий нарушения защищаемых свойств информации объекта КИИ.

С целью идентификации рисков ИБ объекта КИИ необходимо идентифицировать следующие элементы риска ИБ, представленные на рис. 1.

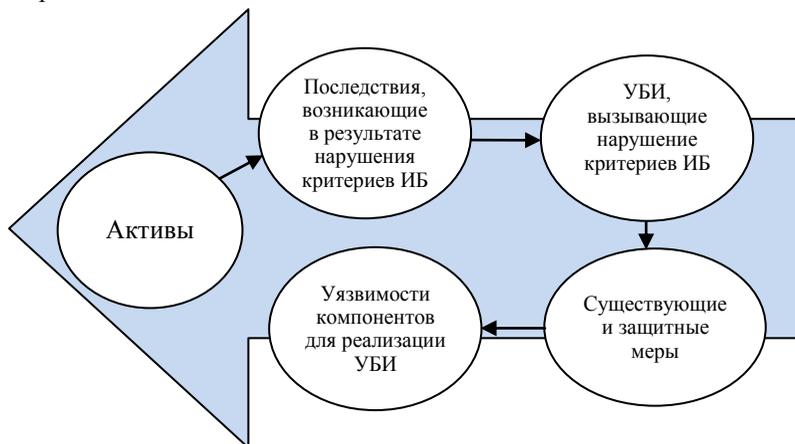


Рис. 1. Идентификация элементов риска ИБ объекта КИИ

Для идентификации последствий реализации угрозы безопасности информации (УБИ) используется метод «дерево событий». Данный метод позволяет проследить последовательность отдельных возможных инцидентов, как правило, неисправностей или каких-либо отказов.

Пример дерева событий представлен на рис. 2.

В качестве нарушения критериев ИБ объекта КИИ рассматриваются нарушения следующих свойств информации, обрабатываемой в объекте КИИ: конфиденциальность, целостность, доступность информации. Это будет являться корнем дерева событий.

В ходе построения данного дерева ветви выбираются таким образом, чтобы совокупность последствий некоторого вида результирующих событий представляла совокупность множества возможных исходов события, соответствующих  $i$ -му,  $k$ -му,  $n$ -му,  $n+1$  уровню, появление одного из событий в таком случае исключает появление других – несовме-

стные события. Их совместная реализация невозможна, то есть может произойти только одно некоторое событие либо иное, следовательно, исходя из теоремы сложения вероятностей, которая применима к любому числу несовместных событий [1, с. 41], вытекает следующее следствие, если последствия  $A_1, A_2, \dots, A_{n+1}$  соответствующего уровня образуют полную группу несовместных событий, то сумма их вероятностей равна единице [1, с. 42].

$$\sum_{i=1}^{n+1} p_{i,k,n,n+1}(A_{i,k,n,n+1}) = 1, \quad (1)$$

где  $p_{i,k,n,n+1}(A_{i,k,n,n+1})$  – вероятность  $i, j, k, n, n+1$  последствия события на соответствующем  $i, j, k, n, n+1$  уровне.

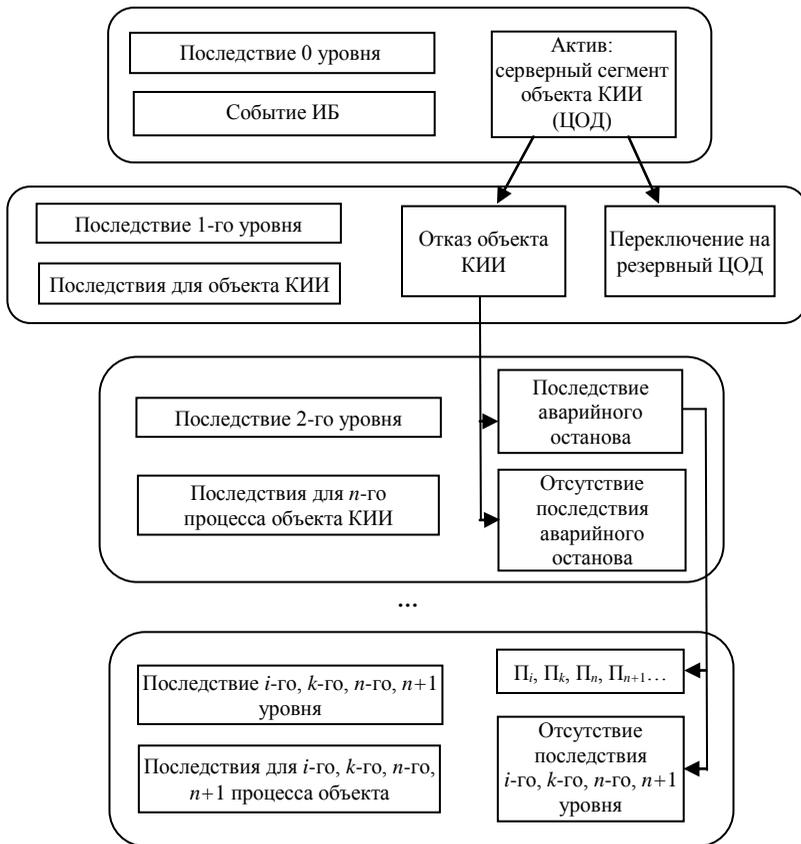


Рис. 2. Дерево событий объекта КИИ

На дереве событий может быть отражено более  $n$  уровней последствий. В случае реализации УБИ объекта КИИ это может привести к лавинообразному развитию событий.

Как правило, реализация УБИ объекта КИИ является причиной возникновения нарушения безопасности информации объекта КИИ. Также это связано с отсутствием мер, предотвращающих возможные последствия. Пусть  $E_{Zi,j,k,n,n+1}$  эффективность защитной меры. Меры направлены на снижение вероятности совокупности множества возможных исходов события. В каждом конкретном случае необходимо целесообразно идентифицировать УБИ объекта КИИ, а также уязвимостей, соответствующих  $n$ -й УБИ.

Идентификация угроз и уязвимостей, вызывающих нарушение ИБ, осуществляется в рамках моделирования УБИ в соответствии с требованиями по обеспечению безопасности информации объекта КИИ [2, 3], как правило, с использованием [4].

Такого типа соответствие  $n$ -й УБИ далее будет использоваться при сочетании  $n$ -го последствия УБИ в рамках идентификации рисков ИБ. Чаще всего используется экспертный метод, который бывает взаимно противоречив.

Поэтому выразим риск ИБ объекта КИИ конкретной формулой:

$$P = P\{P_{i,k,n,n+1}\} \text{ в результате реализации } \{\text{УБИ}_{i,k,n,n+1}\}, \quad (2)$$

где  $P$  – риск ИБ;  $P\{P_{i,k,n,n+1}\}$  – риск последствия для компонента объекта КИИ или для информационной системы объекта КИИ, или для  $n$ -го процесса объекта КИИ в результате реализации УБИ;  $\text{УБИ}_{i,k,n,n+1}$  – соответствующая УБИ.

В таком случае в зависимости от целей оценки рисков ИБ объекта КИИ осуществляется идентификация суммарных рисков ИБ объекта КИИ. Агрегирование рисков ИБ объекта КИИ может выполняться и по последствиям реализации УБИ объекта, и по УБИ объекта КИИ. Агрегирование выражается формулой (2), при этом рассматривается риск реализации УБИ для компонента объекта КИИ или информационной системы объекта КИИ, или для  $n$ -го процесса объекта КИИ в результате реализации УБИ.

Аналитическим аппаратом для принятия решений также является и вероятностный метод.

В качестве последствий реализации определенной группы УБИ объекта КИИ выбираются наихудшие последствия реализации УБИ

на каждом уровне последствий. Тогда  $U_{E1}, U_{E2}, \dots, U_{E(n+1)}$  оценка ущерба, вызванного последствием  $A_1, A_2, \dots, A_{n+1}$ , с учетом защитной меры  $E_{i,j,k,n,n+1}$  и  $U_1, U_2, \dots, U_{n+1}$  оценка ущерба, вызванного последствием  $A_1, A_2, \dots, A_{n+1}$ , без учета защитной меры.

Следовательно, эффективность внедрения защитной меры определим следующим образом как отношение  $U_{E1}, U_{E2}, \dots, U_{E(n+1)}$  оценки ущерба, вызванного последствием  $A_1, A_2, \dots, A_{n+1}$ , с учетом защитной меры  $E_{i,j,k,n,n+1}$  к  $U_1, U_2, \dots, U_{n+1}$  оценка ущерба, вызванного тем же последствием, без учета защитной меры.

$$1 - \frac{U_{E_{i,j,k,n,n+1}}}{U_{i,j,k,n,n+1}} = E_{Z_{i,j,k,n,n+1}}, \quad (3)$$

где  $E_{Z_{i,j,k,n,n+1}}$  – эффективность защитной меры относительно последствия  $A_1, A_2, \dots, A_{n+1}$ ;  $\frac{U_{E_{i,j,k,n,n+1}}}{U_{i,j,k,n,n+1}}$  – отношение  $U_{E1}, U_{E2}, \dots, U_{E(n+1)}$  оценки ущерба, вызванного последствием  $A_1, A_2, \dots, A_{n+1}$ , с учетом защитной меры  $E_{i,j,k,n,n+1}$  к  $U_1, U_2, \dots, U_{n+1}$  оценка ущерба, вызванного тем же последствием, без учета защитной меры.

Оценка ущерба – величина, равная максимальному ущербу от реализации УБИ, входящих в соответствующую группу УБИ. Значит вероятность последствий будет вычисляться как произведение вероятности [1, с. 45] возникновения ущерба на вероятность возникновения последствий соответствующего уровня.

$$\prod_i^{n+1} p_{i,k,n,n+1} = P(A_{i,k,n,n+1}) \quad (4)$$

Для проведения суммирования рисков необходимо выяснить разницу между приемлемым и неприемлемым рисками, для этого впоследствии необходимо оценить ущерб от единичной ситуации реализации УБИ или групп УБИ. В качестве последствий реализации УБИ рассматриваем наихудшие.

Следовательно, вероятность последствий соответствующего уровня для заданной УБИ будет определяться следующим образом формула (5).

$$P_{A_{i,k,n,n+1}}(I_{i,k,n,n+1}) \prod_i^{n+1} p_{i,k,n,n+1} = P_{i,k,n,n+1}(A_{i,k,n,n+1}) \quad (5)$$

где  $P_{i,k,n,n+1}(A_{i,k,n,n+1})$  – вероятность последствий соответствующего  $i$ -го,  $k$ -го,  $n$ -го,  $n+1$  уровня для заданной УБИ;  $P_{A_{i,k,n,n+1}}(I_{i,k,n,n+1})$  – вероятность заданного  $i$ -го,  $k$ -го,  $n$ -го,  $n+1$  уровня для соответствующей  $I_{i,k,n,n+1}$  УБИ.

Далее для суммирования введем последствие, связанное с нарушением функций компонентов информационной системы объекта КИИ. Суммирование проводим по УБИ, содержащимся в Банке данных угроз безопасности информации, сформированном ФСТЭК России и Государственным научно-исследовательским испытательным институтом проблем технической защиты информации ФСТЭК России [4], и признании данных УБИ актуальными относительно объекта КИИ. Для суммирования рекомендуется сформировать соответствующую группу УБИ, связанную с множеством возможных исходов событий. Данная группа УБИ может быть связана с несанкционированным управлением синхронизацией и состоянием, и с несанкционированным управлением указателями или иными признаками. Вероятность реализации УБИ вычисляется с учетом защитных мер относительно конкретного объекта КИИ.

Это рекомендуется проводить, таким образом, для снижения вероятности риска ИБ на определенное время. Вычисления рекомендуется проводить, используя экспертный и вероятностный аппарат относительно конкретной системы объекта КИИ для принятия соответствующего решения.

В результате выполненных действий, получена оценка рисков ИБ объекта КИИ, которая трактуется как вероятность возникновения максимального ущерба в результате реализации соответствующей группы УБИ. Таким образом, идентифицированные агрегированные риски ИБ объекта КИИ впоследствии формируются в единый реестр рисков ИБ объекта КИИ.

### **Библиографический список**

1. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1969. – 576 с.
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. – М., 2017.
3. Об утверждении требований по обеспечению безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации: Приказ ФСТЭК России от 25 декабря 2017 г. № 239. – М., 2017.
4. Банк данных угроз безопасности информации, сформированный ФСТЭК России и Государственным научно-исследовательским

испытательным институтом проблем технической защиты информации ФСТЭК России [Электронный ресурс]. – URL: <https://bdu.fstec.ru/> (дата обращения: 27.09.2020).

1. Шабуров А.С., Зонова В.Э. Модель реализации требований по защите информации объектов критической информационной инфраструктуры // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2019. – № 32. – С. 130–147.

2. Шабуров А.С., Зонова В.Э., Рыжук Н.С. Защита критической информационной инфраструктуры в соответствии с требованиями по обеспечению безопасности информации // Материалы X Международной интернет-конференции молодых ученых, аспирантов, студентов. – 2019. – С. 397–403.

### **Сведения об авторах**

**Исаева Виктория Эдуардовна** – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: [us277@mail.ru](mailto:us277@mail.ru)

**Шабуров Андрей Сергеевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: [shans@at.pstu.ru](mailto:shans@at.pstu.ru)

### **About the authors**

**Isaeva Viktoriya Eduardovna** – Master Student of Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: [us277@mail.ru](mailto:us277@mail.ru)

**Shaburov Andrey Sergeevich** – Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor the Department of Automation and Telemechanics Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: [shans@at.pstu.ru](mailto:shans@at.pstu.ru)

## **РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ОПЕРАТИВНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ КОММЕРЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

**А.И. Шлыков, А.С. Шабуров**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

Современные информационные системы функционируют без учета рисков информационной безопасности, не обеспечивая эффективность систем защиты. Статья описывает модель оценки оперативной эффективности систем защиты информации коммерческих предприятий. В её основе лежит метод анализа рисков предприятия, а также метод анализа иерархий. С их помощью оценивается оперативная эффективность, а результатом являются данные о вероятностях угроз, степени ущерба и суммарного риска. В рамках разработки модель подвергается описанию принципов функционирования, в заключении даются рекомендации по использованию.

**Ключевые слова:** риск информационной безопасности; оперативная эффективность; метод анализа иерархий; модель оценки.

## **DEVELOPMENT OF A MODEL FOR ASSESSING THE OPERATIONAL EFFICIENCY OF THE INFORMATION SECURITY SYSTEM OF COMMERCIAL ENTERPRISES**

**A.I. Shlykov, A.S. Shaburov**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

Modern information systems operate without taking into account information security risks and ensuring effectiveness. The article describes a model for assessing the operational efficiency of information security systems. It is based on the method of risks analysis using the method of hierarchies analysis. With it, operational efficiency is assessed, and the result is data on the probabilities of threats, the degree of damage and total risk. As part of development, the model is subjected to a description of the operation principles, in the conclusion recommendations for use are given.

**Keywords:** information security risk; operational efficiency; hierarchy analysis method; assessment model.

Данные статистики по коммерческой отрасли в каждом отчёте приводят неутешительные факты – корпоративные системы предприятий привлекают большое число злоумышленников, а ущерб от реа-

лизации угрозы может быть сопоставим с рыночной ценностью предприятия. Компании, допускающие реализацию угроз для информационной системы (далее – ИС), не уделяют внимания оценке ресурсов и рисков. Согласно отчетам Eset и Anti-Malware [1], это происходит ввиду неграмотного моделирования бизнес-процессов на предприятии и отсутствию связи с обеспечением информационной безопасности (далее – ИБ). Бизнесу важна оценка бизнес-рисков компании, поскольку она используется для учёта потенциальных воздействий событий ИБ на приоритетные ресурсы ИС [2]. Бизнес-риски позволяют рассмотреть эффект, который оказывает угроза на ИС, при помощи экономических и вероятностных метрик – именно языком финансов и потерь от бездействия в сфере ИБ можно объяснить руководству компании необходимость внедрения системы защиты информации. Поэтому риски необходимо моделировать на объекте (ИС предприятия).

Угрозы и риски тесно связаны с оценкой оперативной эффективности системы защиты информации (далее – СЗИ) – моделировании такой СЗИ, которая позволяет получить минимальную степень риска. Для её моделирования нужно понимать, что риски направлены на бизнес-процессы. В области бизнес-аналитики организация моделируется как конгломерат бизнес-процессов [2, 3], а проектирование модели выполняется экспертом, обладающим опытом проведения анализа.

**Описание модели.** В основе моделирования оценки оперативной эффективности СЗИ лежит метод анализа рисков в сочетании с экспертной оценкой [4]. Привлечение экспертов необходимо, поскольку многие ИС не накапливают статистики по инцидентам ИБ – невозможно использовать статистические данные и моделировать вероятность как отношение числа событий к числу инцидентов. Иначе: модель предполагает, что компания на время аудита не накопила статистики – это наиболее вероятно, так как среднестатистические коммерческие системы не используют анализ типа SIEM.

Для проектирования модели, как в случае с экономической эффективностью СЗИ [5], применяется ситуационный анализ в предметной области рисков информационной безопасности. В моделировании используется семиотическая цепочка (рис.1), состоящая из 3 единиц функционирования компании: бизнес-ресурс ( $R_i$ ) – бизнес-функция ( $F_j$ ) – бизнес-процесс ( $O_k$ ).

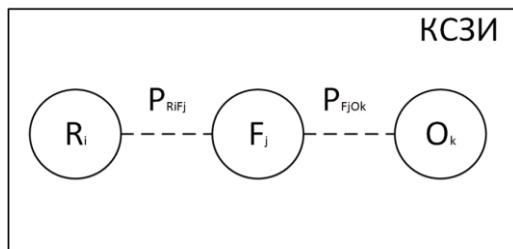


Рис. 1. Концептуальная модель оценки оперативной эффективности КСЗИ

Модель будет представлять собой оценку вероятности отказа всей системы, которая моделируется в виде ресурсов, функций и бизнес-процессов. Результат будет риском информационной безопасности.

$$P(M_n) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^l \sum_{k=1}^1 P_{R_i F_j} \cdot P_{F_j O_k} \quad (1)$$

Формула (1) означает, что суммарная вероятность отказа модели будет равна сумме всех возможных отказов ресурсов, функций и процессов.

Оптимальным вариантом оценки является метод анализа иерархий (метод Саати), который позволяет провести приоритизацию модели, выявлять критичные процессы, ресурсы и функции, оценить вероятность угрозы и величину рисков. Так как риск ИБ – это вероятность возникновения негативного события, наносящего ущерб бизнес-процессам организации или физическому лицу, то вероятность отказа модели  $P(M_n)$  представляет собой риск ИБ. Для расчёта используется модель парных сравнений угроз и уязвимостей. Задача преобразования качественных описаний в количественные решается таблицами парных сравнений, отражающих относительную значимость уязвимостей и угроз. Общий вид лингвистических сравнений двух параметров показан в таблице.

#### Показатели парных сравнений параметров эффективности

Лингвистическая оценка сравнения 1-го и 2-го параметра	Показатель
При наличии 1-го 2-й параметр эффективности не учитывается	9
Существенное превосходство 1-го над 2-м параметром	7
Использование 1-го параметра эффективности предпочтительнее, чем 2-го	5
Чуть более высокая значимость 1-го параметра против 2-го	3
Одинаковая значимость сравниваемых параметров	1

Описание множества сравниваемых параметров с использованием шкалы относительной значимости представлено в виде матрицы парных сравнений множества уязвимостей  $B=\{b_1, b_1 \dots b_n\}$  [6]:

$$M_B=[b_{nm}]. \quad (2)$$

Следующим шагом ранговая шкала (таблица) определяет вектор доступности  $V$  уязвимостей для реализации злоумышленником:

$$V=(v_1, v_2 \dots v_s). \quad (3)$$

Взаимосвязь между угрозами и уязвимостями определяется матрицей их причинно-следственных связей:

$$M_{yy}=[c_{ns}]. \quad (4)$$

Для расчёта вероятности возникновения угроз на основе матриц нужно выявить зависимость между существующими уязвимостями и угрозами. В текущем состоянии расчёта перемножаются матрицы относительной значимости уязвимостей и причинно-следственных связей уязвимостей и угроз. Получится единственная матрица значимости уязвимостей для возникновения угроз:

$$M_{ПЗ}=M_{yy} \cdot M_B=[w_{ns}]. \quad (5)$$

Далее матрица (5) дополняется вектором влияния уязвимости на появление угрозы (6). Таким образом, исследуется интегральный показатель влияния всех уязвимостей на возникновение  $k$ -й угрозы:

$$w_k = \sum_{r=1}^s w_{kr}. \quad (6)$$

Дальнейшая нормализация вектора проводится так, чтобы максимальному значению соответствовало число 9, а минимальному – 1. Матрица отношений элементов:

$$M_w = \begin{bmatrix} 1 & \dots & 1/w_{ln} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{ln} & \dots & 1 \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Нахождение вероятностей возникновения угроз ИБ  $P_b$  проходит таким образом: находятся собственные числа в матрице  $M_w$ , и из них вычисляется вектор, соответствующий максимальному значению вероятности по формуле (3).

Перейдем к расчёту ущерба, который наносит угроза незащищенной ИС. Ущерб  $U_i$  рассчитывают как относительную величину стоимости ИС к ущербу, который нанесет  $i$ -я угроза незащищенной ИС:

$$U_i = h_i \cdot (S_u + S_{ou} + S_{cзу}) \quad (8)$$

Далее необходимо оценить вероятность устранения угроз ИБ. Они определяются тем, насколько полно учтены качественные и количественные требования к КСЗИ при ее проектировании. Вероятность устранения  $j$ -й угрозы следует из выражения:

$$P_{yj}^i = \sum_{q=1}^l k_{jq}^i \cdot x_{jq}^i, \quad (9)$$

где  $k_{jq}^i$  – весовой коэффициент значимости требования для устранения угрозы;  $x_{jq}^i$  – степень выполнения требований к СЗИ для устранения угрозы.

Риск для ИС – это произведение вероятности возникновения угроз и ущерба в случае их реализации. Величина показывает, какой вероятный ущерб может понести предприятие в связи с реализацией угрозы ИБ:

$$R = \sum_{i=1}^n P_{bi} \cdot U_i \cdot (1 - P_{yi}). \quad (10)$$

Чем выше вероятность устранения угрозы СЗИ, тем меньший риск понесет компания при их реализации. Модель не предполагает изменение ИС во времени, модельное время для неё не задаётся. Модель может быть реализована в математической системе Mathcad, а графы визуализироваться в системе Gephi.

**Заключение.** Таким образом, предложенная модель позволяет оценить эффективность ликвидации рисков информационной безопасности системой защиты, иначе рассчитать оперативную эффективность СЗИ. Модель позволяет рассчитать вероятность реализации угроз ИБ, равно как степень ущерба в производстве, определяя риски информационной безопасности. В дальнейшем модель необходимо опробовать на реальном объекте защиты, тем самым доказав актуальность и применимость результатов научного исследования.

### Библиографический список

1. Анализ рынка ИБ в России. Ч. 1 [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.anti-malware.ru/analytics/Market\\_Analysis/analysis-information-security-market-russia-part-1](https://www.anti-malware.ru/analytics/Market_Analysis/analysis-information-security-market-russia-part-1) (дата обращения: 17.05.2019).
2. Баранова Е.К. Методики анализа и оценки рисков ИБ // Образовательные ресурсы и технологии. – 2015. – № 1(9). – С. 73–79.
3. Информационная безопасность и бизнес-процессы компании. [Электронный ресурс]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/informa>

tsionnaya-bezopasnost-i-biznes-protsessy-kompanii (дата обращения: 15.01.2019);

4. Motzek A., Möller R. Context- and bias-free probabilistic mission impact assessment // *Computers & Security*. – 2017. – № 65. – P. 166–186.

5. Шлыков А.И., Шабуров А.С. О формализации подходов к разработке моделей многокритериальной оценки эффективности систем защиты информации // *Автоматизированные системы управления и информационные технологии. Материалы всерос. науч.-техн. конф. (г. Пермь, 9–11 июня 2020 г.)* в 2 т. – 2020. – Т. 2. – С. 408–414.

6. Wheeler E. *Security Risk Management: Building Information Security Risk Management Program from the Ground Up* // Syngress Publishing, 2011.

### **Сведения об авторах**

**Шлыков Алексей Игоревич** – магистрант кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: thekingofthedas@gmail.com

**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**

**Shlykov Alexey Igorevich** – Master Student of the Department of Automation and Telemechanics Perm National Research Polytechnic University, Perm. E-mail: thekingofthedas@gmail.com

**Shaburov Andrey Sergeevich** – Ph. D., Associate Professor of the Department of Automation and Telemechanics Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: shans@at.pstu.ru

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КРИПТОПРОВАЙДЕРОВ

**А.Н. Кокоулин, А.Р. Ахматшин**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

Приводится описание криптопровайдеров и их сравнение с другими криптографическими средствами защиты, а также рассмотрены перспективы их развития. Целью статьи является обобщение данных для проведения дальнейшего исследования.

**Ключевые слова:** информационная безопасность; операционные системы; криптопровайдер.

## OPPORTUNITIES FOR THE DEVELOPMENT CRYPTO PROVIDERS

**A.N. Kokoulin, A.R. Akhmatshin**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

This article describes the crypto providers and their compare with other cryptographic security facilities, as well as opportunities for the development. The purpose of the article is to compile data for further research.

**Keywords:** information security; operating systems; crypto provider.

Каждый день в сети Интернет люди обмениваются друг с другом огромным объёмом информации, и многие не подозревают, какой путь она преодолевает и как меняет свою форму. В силу экспоненциального увеличения объёма данных в Интернете и незнания точных механизмов её преобразования в сети у людей появилась повышенная потребность в обеспечении информационной безопасности, т.е. в защите своих данных от злоумышленников. Для удовлетворения этой потребности совершенствуются старые или создаются новые механизмы защиты информации, которые внедряются в предметы повседневной жизни людей. Одним из таких механизмов являются криптопровайдеры.

Криптопровайдером (Cryptographic Service Provider – CSP) называется специальная независимая библиотека, способная осуществлять криптографические операции в операционных системах (ОС) под управлением криптографического интерфейса. Использование крип-

топпровайдеров подразумевает как реализацию базовых криптографических алгоритмов, так и существенное расширение списка поддерживаемых криптографических алгоритмов в ОС. В сравнении с иными программными средствами криптографической защиты криптопровайдеры обеспечивают более надёжную защиту, которая определяется требованием использования сертификатов при работе с криптопровайдерами, и относительную простоту работы, а в сравнении с другими средствами – более низкую цену.

Однако стоит заметить, что из-за относительной простоты использовать криптопровайдеры можно не только для защиты информации, но также для осуществления вредоносных целей путём разработки вирусов. Эта тенденция прослеживалась при создании криптопровайдеров, и в то время вирусы реализовывались достаточно примитивно. В настоящее время снова появляются аналогичные вирусы, но с более сложной реализацией. Это способствует разработке новых механизмов защиты приложений с использованием криптопровайдеров.

Раньше одним из недостатков использования криптопровайдеров можно было отметить плохую кросс-платформенность, т.е. реализацию на разных ОС и устройствах. Сейчас же криптопровайдеры используются не только для создания программных средств защиты, а также для разработки аппаратных и аппаратно-программных средств защиты.

Отдельно стоит выделить современное использование криптопровайдеров для создания защищённых облачных сервисов, которые набирают популярность, и для улучшения защиты данных пользователей в сети Интернет через дифференциальную конфиденциальность и обезличивание данных.

С начала 2000-х гг. потребность людей в обеспечении информационной безопасности резко возросла, как и интерес к криптопровайдерам. Это прослеживается также в отношении обыкновенных пользователей Интернета, что повлекло к созданию готовых решений, удобных в использовании для обыкновенных людей.

### **Библиографический список**

1. Строжевский Ю. Использование C Software Developer Networks Magazine. – 2004. № 5.
2. Recent Advances in Cryptovirology: State-of-the-Art Crypto Mining and Crypto Ransomware Attacks / Aaron Zimba, Zhaoshun Wang, Hongsong Chen, Mwenge Mulenga // KSII Transactions on Internet And Information Systems. – 2019. – Vol. 13, № 6.

3. Cryptographic Service Providers in Current Device Landscapes: An Inconvenient Truth / Florian Reimair, Johannes Feichtner, Dominik Ziegler, Sandra Kreuzhuber, Thomas Zefferer // ICETE. – 2017. – Vol. 4.

4. Amrita Roy Chowdhury, Chenghong Wang, Xi He, Ashwin Machanavajjhala, Somesh Jha // Crypt: Crypto-Assisted Differential Privacy on Untrusted Servers. 33<sup>rd</sup> Conference on Neural Information Processing Systems. – 2019.

5. Adam L. Young. Cryptoviral extorting using Microsoft's Crypto API // International Journal of Information Security. – 2006. – № 4.

### **Сведения об авторах**

**Кокоулин Андрей Николаевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: a.n.kokoulin@gmail.com

**Ахматшин Артём Ринатович** – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: frexort@mail.ru

### **About the authors**

**Kokulin Andrey Nikolaevich** – Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Automation and Telemechanics Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: a.n.kokoulin@gmail.com

**Akhmatshin Artyom Rinatovich** – Master's Student of the Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: frexort@mail.ru

## АЛГЕБРАИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СИММЕТРИЧНОГО БЛОЧНОГО ШИФРА MISTY1

**Е.А. Маро**

Южный федеральный университет, Таганрог

В данной статье рассмотрено применение подходов алгебраического анализа к симметричному блочному шифру MISTY1. Описана структура используемых криптографических преобразований шифра MISTY1, выделены нелинейные преобразования, являющиеся основой описания шифра в виде системы булевых нелинейных уравнений (блоки замены S7 и S9, функция FL), и сформированы соответствующие подсистемы уравнений.

**Ключевые слова:** алгебраический анализ; симметричные блочные шифры; шифр MISTY1, система булевых нелинейных уравнений.

## ALGEBRAIC ANALYSIS OF THE SYMMETRIC BLOCK CIPHER MISTY1

**E.A. Maro**

Southern Federal University, Taganrog

In this article discusses the application of algebraic analysis approaches to the symmetric block cipher MISTY1. The structure of the used cryptographic transformations of the MISTY1 cipher is described, the nonlinear transformations that are the basis for describing the cipher in form of a system of Boolean nonlinear equations (substitution boxes S7 and S9, FL function) are observed, and the corresponding subsystems of equations are formed.

**Keywords:** algebraic analysis; symmetric block ciphers; MISTY1 cipher, system of Boolean nonlinear equations.

**Шифр MISTY1.** Шифр MISTY1 является международным стандартом в соответствии с ISO / IEC 18033-3 [1], а также рекомендуется к применению NESSIE [2]. Подробное описание шифра дано в RFC 2994 [3]. Шифр MISTY1 представляет собой итерационный блочный шифр, построенный по схеме сети Фейстеля (рис. 1).

Длина блока текста составляет 64 бита, длина ключа 128 бит. Минимальное рекомендуемое число раундов шифрования составляет 8 раундов. Шифр MISTY1 содержит следующие преобразования:

Функция FL – на основе структуры сети Фейстеля выполняет над двумя 16-битовыми блоками операции сложения по модулю 2 и побитные логические операции «И» и «ИЛИ» с раундовыми ключами.

Функция FO – на основе структуры сети Фейстеля выполняет над двумя 16-битовыми блоками операции сложения по модулю 2 с раундовыми ключами и функцией FI.

Функция FI – на основе несбалансированной структуры сети Фейстеля выполняет над 9-битным и 7-битным блоками операции замены по таблицам S9 и S7 соответственно. Структура замен S9 и S7 приведена в таблице.

Преобразования входных блоков функциями FL, FO и FI приведены на рис. 2.

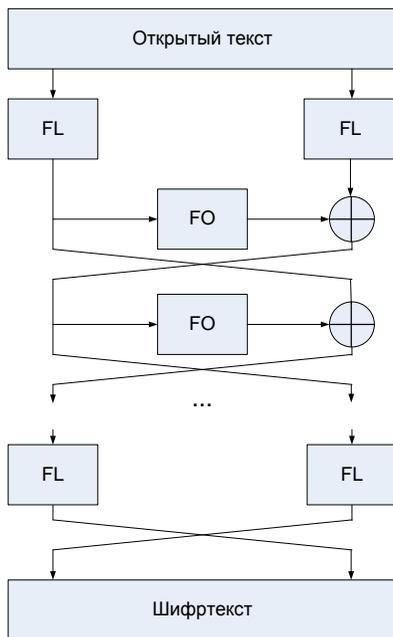


Рис. 1. Структура шифра MYSTY1

### Структура замен в блоках S7 и S9

7	27, 50, 51, 90, 59, 16, 23, 84, 91, 26, 114, 115, 107, 44, 102, 73, 31, 36, 19, 108, 55, 46, 63, 74, 93, 15, 64, 86, 37, 81, 28, 4, 11, 70, 32, 13, 123, 53, 68, 66, 43, 30, 65, 20, 75, 121, 21, 111, 14, 85, 9, 54, 116, 12, 103, 83, 40, 10, 126, 56, 2, 7, 96, 41, 25, 18, 101, 47, 48, 57, 8, 104, 95, 120, 42, 76, 100, 69, 117, 61, 89, 72, 3, 87, 124, 79, 98, 60, 29, 33, 94, 39, 106, 112, 77, 58, 1, 109, 110, 99, 24, 119, 35, 5, 38, 118, 0, 49, 45, 122, 127, 97, 80, 34, 17, 6, 71, 22, 82, 78, 113, 62, 105, 67, 52, 92, 88, 125
---	--

9	451, 203, 339, 415, 483, 233, 251, 53, 385, 185, 279, 491, 307, 9, 45, 211, 199, 330, 55, 126, 235, 356, 403, 472, 163, 286, 85, 44, 29, 418, 355, 280, 331, 338, 466, 15, 43, 48, 314, 229, 273, 312, 398, 99, 227, 200, 500, 27, 1, 157, 248, 416, 365, 499, 28, 326, 125, 209, 130, 490, 387, 301, 244, 414, 467, 221, 482, 296, 480, 236, 89, 145, 17, 303, 38, 220, 176, 396, 271, 503, 231, 364, 182, 249, 216, 337, 257, 332, 259, 184, 340, 299, 430, 23, 113, 12, 71, 88, 127, 420, 308, 297, 132, 349, 413, 434, 419, 72, 124, 81, 458, 35, 317, 423, 357, 59, 66, 218, 402, 206, 193, 107, 159, 497, 300, 388, 250, 406, 481, 361, 381, 49, 384, 266, 148, 474, 390, 318, 284, 96, 373, 463, 103, 281, 101, 104, 153, 336, 8, 7, 380, 183, 36, 25, 222, 295, 219, 228, 425, 82, 265, 144, 412, 449, 40, 435, 309, 362, 374, 223, 485, 392, 197, 366, 478, 433, 195, 479, 54, 238, 494, 240, 147, 73, 154, 438, 105, 129, 293, 11, 94, 180, 329, 455, 372, 62, 315, 439, 142, 454, 174, 16, 149, 495, 78, 242, 509, 133, 253, 246, 160, 367, 131, 138, 342, 155, 316, 263, 359, 152, 464, 489, 3, 510, 189, 290, 137, 210, 399, 18, 51, 106, 322, 237, 368, 283, 226, 335, 344, 305, 327, 93, 275, 461, 121, 353, 421, 377, 158, 436, 204, 34, 306, 26, 232, 4, 391, 493, 407, 57, 447, 471, 39, 395, 198, 156, 208, 334, 108, 52, 498, 110, 202, 37, 186, 401, 254, 19, 262, 47, 429, 370, 475, 192, 267, 470, 245, 492, 269, 118, 276, 427, 117, 268, 484, 345, 84, 287, 75, 196, 446, 247, 41, 164, 14, 496, 119, 77, 378, 134, 139, 179, 369, 191, 270, 260, 151, 347, 352, 360, 215, 187, 102, 462, 252, 146, 453, 111, 22, 74, 161, 313, 175, 241, 400, 10, 426, 323, 379, 86, 397, 358, 212, 507, 333, 404, 410, 135, 504, 291, 167, 440, 321, 60, 505, 320, 42, 341, 282, 417, 408, 213, 294, 431, 97, 302, 343, 476, 114, 394, 170, 150, 277, 239, 69, 123, 141, 325, 83, 95, 376, 178, 46, 32, 469, 63, 457, 487, 428, 68, 56, 20, 177, 363, 171, 181, 90, 386, 456, 468, 24, 375, 100, 207, 109, 256, 409, 304, 346, 5, 288, 443, 445, 224, 79, 214, 319, 452, 298, 21, 6, 255, 411, 166, 67, 136, 80, 351, 488, 289, 115, 382, 188, 194, 201, 371, 393, 501, 116, 460, 486, 424, 405, 31, 65, 13, 442, 50, 61, 465, 128, 168, 87, 441, 354, 328, 217, 261, 98, 122, 33, 511, 274, 264, 448, 169, 285, 432, 422, 205, 243, 92, 258, 91, 473, 324, 502, 173, 165, 58, 459, 310, 383, 70, 225, 30, 477, 230, 311, 506, 389, 140, 143, 64, 437, 190, 120, 0, 172, 272, 350, 292, 2, 444, 162, 234, 112, 508, 278, 348, 76, 450	
<b>FL</b>	<b>FO</b>	<b>FI</b>

**Формирование системы булевых уравнений для шифра MISTY1.** Теоретически большинство блочных шифров можно представить в виде уравнения с полиномами высокой степени, также любой шифр можно описать как систему полиномиальных уравнений [4]. Современные блочные шифры предназначены либо для аппаратной реализации, либо для выполнения на компьютерах, поэтому выбор GF(2) в качестве основного поля является очевидным для формирования системы полиномиальных уравнений. Для шифров, использующих S-блоки по различным полям с характеристикой два, таких как семейство шифров MISTY, или шифров с сужающими или расширяющими S-блоками, например DES, запись уравнений над GF(2) – наиболее оптимальный выбор для получения полиномиальной системы, описывающей полный шифр.

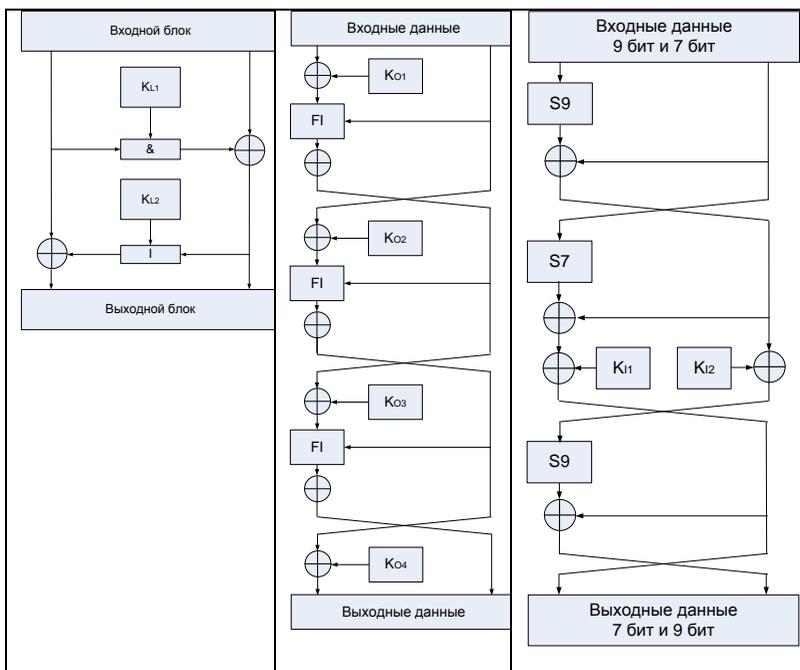


Рис. 2. Структура преобразований функций FL, FO и FI шифра MISTY1

Поскольку в ходе алгебраического анализа сложно спрогнозировать сложность поиска решения, то при формировании системы следует исходить из следующих рекомендаций:

1. Максимально сократить общее количество условных обозначений (переменных) с помощью минимизации степени формируемых уравнений и разницы между общим количеством мономов и общим количеством линейно независимых уравнений.

2. Минимизировать размер отдельных уравнений системы.

Основой алгебраического анализа является описание нелинейных преобразований шифра в виде системы булевых нелинейных уравнений. Как видно из структуры шифра MISTY1, системы могут быть сформированы для преобразований замены S7 и S9. На основе известных таблиц замен были составлены уравнения в алгебраической нормальной форме (АНФ), описывающие данные преобразования.

Преобразование S7 может быть описано в АНФ следующим образом (1):

$$\begin{aligned}
y_0 &= x_0 \oplus x_1 x_3 \oplus x_0 x_3 x_4 \oplus x_1 x_5 \oplus x_0 x_2 x_5 \oplus x_4 x_5 \oplus x_0 x_1 x_6 \oplus x_2 x_6 \oplus x_0 x_5 x_6 \oplus x_3 x_5 x_6 \oplus 1, \\
y_1 &= x_0 x_2 \oplus x_0 x_4 \oplus x_3 x_4 \oplus x_1 x_5 \oplus x_2 x_4 x_5 \oplus x_6 \oplus x_0 x_6 \oplus x_3 x_6 \oplus x_2 x_3 x_6 \oplus x_1 x_4 x_6 \oplus x_0 x_5 x_6 \oplus 1, \\
y_2 &= x_1 x_2 \oplus x_0 x_2 x_3 \oplus x_4 \oplus x_1 x_4 \oplus x_0 x_1 x_4 \oplus x_0 x_5 \oplus x_0 x_4 x_5 \oplus x_3 x_4 x_5 \oplus x_1 x_6 \oplus x_3 x_6 \oplus x_0 x_3 x_6 \oplus x_4 x_6 \oplus x_2 x_4 x_6, \\
y_3 &= x_0 \oplus x_1 \oplus x_0 x_1 x_2 \oplus x_0 x_3 \oplus x_2 x_4 \oplus x_1 x_4 x_5 \oplus x_2 x_6 \oplus x_1 x_3 x_6 \oplus x_0 x_4 x_6 \oplus x_5 x_6 \oplus 1, \\
y_4 &= x_2 x_3 \oplus x_0 x_4 \oplus x_1 x_3 x_4 \oplus x_5 \oplus x_2 x_5 \oplus x_1 x_2 x_5 \oplus x_0 x_3 x_5 \oplus x_1 x_6 \oplus x_1 x_5 x_6 \oplus x_4 x_5 x_6 \oplus 1, \\
y_5 &= x_0 \oplus x_1 \oplus x_2 \oplus x_0 x_1 x_2 \oplus x_0 x_3 \oplus x_1 x_2 x_3 \oplus x_1 x_4 \oplus x_0 x_2 x_4 \oplus x_0 x_5 \oplus x_0 x_1 x_5 \oplus x_3 x_5 \oplus x_0 x_6 \oplus x_2 x_5 x_6, \\
y_6 &= x_0 x_1 \oplus x_3 \oplus x_0 x_3 \oplus x_2 x_3 x_4 \oplus x_0 x_5 \oplus x_2 x_5 \oplus x_3 x_5 \oplus x_1 x_3 x_5 \oplus x_1 x_6 \oplus x_1 x_2 x_6 \oplus x_0 x_3 x_6 \oplus x_4 x_6 \oplus x_2 x_5 x_6.
\end{aligned} \tag{1}$$

Преобразование S9 может быть описано в АНФ следующим образом:

$$\begin{aligned}
y_0 &= x_0 x_4 \oplus x_0 x_5 \oplus x_1 x_5 \oplus x_1 x_6 \oplus x_2 x_6 \oplus x_2 x_7 \oplus x_3 x_7 \oplus x_3 x_8 \oplus x_4 x_8 \oplus 1, \\
y_1 &= x_0 x_2 \oplus x_3 \oplus x_1 x_3 \oplus x_2 x_3 \oplus x_3 x_4 \oplus x_4 x_5 \oplus x_0 x_6 \oplus x_2 x_6 \oplus x_7 \oplus x_0 x_8 \oplus x_3 x_8 \oplus x_5 x_8 \oplus 1, \\
y_2 &= x_0 x_1 \oplus x_1 x_3 \oplus x_4 \oplus x_0 x_4 \oplus x_2 x_4 \oplus x_3 x_4 \oplus x_4 x_5 \oplus x_0 x_6 \oplus x_5 x_6 \oplus x_1 x_7 \oplus x_3 x_7 \oplus x_8, \\
y_3 &= x_0 \oplus x_1 x_2 \oplus x_2 x_4 \oplus x_5 \oplus x_1 x_5 \oplus x_3 x_5 \oplus x_4 x_5 \oplus x_5 x_6 \oplus x_1 x_7 \oplus x_6 x_7 \oplus x_2 x_8 \oplus x_4 x_8, \\
y_4 &= x_1 \oplus x_0 x_3 \oplus x_2 x_3 \oplus x_0 x_5 \oplus x_3 x_5 \oplus x_6 \oplus x_2 x_6 \oplus x_4 x_6 \oplus x_5 x_6 \oplus x_6 x_7 \oplus x_2 x_8 \oplus x_7 x_8, \\
y_5 &= x_2 \oplus x_0 x_3 \oplus x_1 x_4 \oplus x_3 x_4 \oplus x_1 x_6 \oplus x_4 x_6 \oplus x_7 \oplus x_3 x_7 \oplus x_5 x_7 \oplus x_6 x_7 \oplus x_0 x_8 \oplus x_7 x_8, \\
y_6 &= x_0 x_1 \oplus x_3 \oplus x_1 x_4 \oplus x_2 x_5 \oplus x_4 x_5 \oplus x_2 x_7 \oplus x_5 x_7 \oplus x_8 \oplus x_0 x_8 \oplus x_4 x_8 \oplus x_6 x_8 \oplus x_7 x_8 \oplus 1, \\
y_7 &= x_1 \oplus x_0 x_1 \oplus x_1 x_2 \oplus x_2 x_3 \oplus x_0 x_4 \oplus x_5 \oplus x_1 x_6 \oplus x_3 x_6 \oplus x_0 x_7 \oplus x_4 x_7 \oplus x_6 x_7 \oplus x_1 x_8 \oplus 1, \\
y_8 &= x_0 \oplus x_0 x_1 \oplus x_1 x_2 \oplus x_4 \oplus x_0 x_5 \oplus x_2 x_5 \oplus x_3 x_6 \oplus x_5 x_6 \oplus x_0 x_7 \oplus x_0 x_8 \oplus x_3 x_8 \oplus x_6 x_8 \oplus 1.
\end{aligned} \tag{2}$$

Шифр MISTY1 содержит дополнительный нелинейный компонент – FL-функцию. Выходные значения  $Y_L$  и  $Y_R$  функции FL являются функциями от входного слова  $X$  и ключевого слова  $K$ , определяемые формулой (3):

$$Y_R = X_R \oplus (X_L \cap K_L), Y_L = X_L \oplus (Y_R \cup K_R) \quad (3)$$

Приведенное выше определение можно напрямую перевести в систему квадратичных уравнений в  $GF(2)$ , как показано в формуле (4):

$$y_{R,i} = x_{R,i} + y_{L,i} \cdot k_{L,i}, y_{L,i} = x_{L,i} + y_{R,i} + k_{R,i} + y_{R,i} \cdot k_{R,i} \quad (4)$$

где  $i \in [0, 32)$ .

Таким образом, для функции FL получено 64 нелинейных уравнений, содержащих 192 линейных и 64 квадратичных одночленов.

Один раунд шифра MISTY1 может быть описан с помощью 203 булевых нелинейных уравнений и 112 битов раундовых ключей  $K_{L1}, K_{L2}, K_{O1}, K_{O2}, K_{O3}, K_{O4}, K_{I1}, K_{I2}$

### Библиографический список

1. ISO/IEC: JTC1: ISO/IEC 18033. Security techniques–encryption algorithms–part 3: block ciphers. – 2005.
2. NESSIE: New European schemes for signatures, integrity, and encryption. – 2004 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.cosic.esat.kuleuven.be/nessie/> (дата обращения: 27.09.2020).
3. Ohta H., Matsui M. A description of the MISTY1 encryption algorithm. – 2000. – URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc2994> (дата обращения: 27.09.2020).
4. Carlos Cid, Martin Albrecht, Daniel Augot, Anne Canteaut, Ralf-Philipp Weinmann. D.STVL.7 – Algebraic cryptanalysis of symmetric primitives. – 2008. hal-00328626

### Сведения об авторе

**Маро Екатерина Александровна** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Безопасность информационных технологий» Южный федеральный университет, Таганрог, e-mail: eamaro@sfedu.ru

### About the author

**Maro Ekaterina Aleksandrovna** – Ph. D., Associate Professor of the Department of Information Security Southern Federal University, Taganrog, e-mail: eamaro@sfedu.ru

## КОМБИНИРОВАНИЕ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРА МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОННЫХ ПИСЕМ

**С.В. Корелов<sup>1</sup>, А.М. Петров<sup>1</sup>, Л.Ю. Ротков<sup>2</sup>, А.А. Горбунов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Национальный координационный центр по компьютерным инцидентам, Москва

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород

В статье обсуждается вопрос комбинирования численных значений ключевого параметра  $n$  модели электронных писем для обнаружения спама, полученной на основе генетического подхода к формированию математических моделей текстов, зарекомендовавшего себя для решения различных задач.

**Ключевые слова:** информационная безопасность; спам; обнаружение; модель электронного письма; электронная почта; электронные почтовые сообщения; электронные письма.

## COMBINING THE VALUES OF THE ELECTRONIC LETTERS MODEL PARAMETER

**S.V. Korelov<sup>1</sup>, A.M. Petrov<sup>1</sup>, L.Yu. Rotkov<sup>2</sup>, A.A. Gorbunov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>National Computer Incident Response & Coordination Center, Moscow

<sup>2</sup>National Research Lobachevsky State University  
of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod

The article discusses the issue of combining the numerical values of key parameter  $n$  of the genetic model of emails used to detect spam, which is based on a genetic approach to the formation of texts mathematical models, proven to solve various problems.

**Keywords:** information security; spam; detection; electronic letter model; e-mail; e-mail messages, electronic letters.

В настоящее время одним из широко применяемых средств коммуникации является электронная почта, которая также является обязательной для использования многих различных электронных услуг и сервисов. По оценкам The Radicati Group, Inc. [1], в 2020 г. электронной почтой пользуется уже половина населения земли. При этом количество пользователей электронной почты до конца 2020 г. превысит отметку в 4 млрд с прогнозом более 4,4 млрд в 2024 г.

При этом необходимо констатировать, что помимо достоинств электронная почта, к сожалению, несет и угрозы ее пользователям, среди которых одной из наиболее актуальной является спам. Например, спам в настоящее время является важнейшим способом доставки вредоносного программного обеспечения и осуществления фишинговых атак [2]. Таким образом, представляется очевидным, что обнаружение спама является не просто желательной, а остро необходимой и неотъемлемой частью общей системы безопасности информационных систем.

Необходимо отметить, что «борьба» исследователей со спамом не останавливается и идет буквально за каждые 0,01 % точности и полноты обнаружения спама [3]. При этом актуальным является вопрос выбора эффективных (с точки зрения качества обнаружения спама) признаков электронных почтовых сообщений для процесса классификации, что требует проведения соответствующих исследований [3].

В связи с актуальностью и важностью данного направления исследований в задаче обнаружения спама в [4] авторами предложена и в [3] уточнена модель электронных писем, позволяющая специфическим способом выделять текстовые отрезки электронных писем, являющихся отражением их отличительных признаков (так называемые «гены» или термы):

$$\Psi_{el} = \langle Prepr, terms, Gen\_Code \rangle. \quad (1)$$

Ключевой особенностью данной модели является то, что она оперирует с преобразованными в числовой вектор данными, полученными из исходных текстов электронных писем. В качестве параметров модели электронных писем, оказывающих влияние на выделение текстовых отрезков писем, являющихся отражением их отличительных признаков, авторами в [5–7] обоснованы:  $q$  – количество числовых кодов, сопоставляемых символам текста, в функции преобразования писем в числовой вектор;  $\Delta t$  – шаг выборки символов текста в функции преобразования писем в числовой вектор;  $n$  – длина выборки (длина «генератора»,  $N$ -граммы – последовательности, порождающей терм).

Там же продемонстрированы корректность и практическая применимость данной модели для обнаружения спама (классификации электронных писем на спамовые и легальные), а также обоснован выбор численного значения параметра  $n$  модели электронных писем.

Настоящая статья посвящена исследованию вопроса применения комбинированного подхода при использовании численных значений ключевого параметра  $n$  модели электронных писем (1) в задаче обнаружения спама с ее применением и его влияния на результаты обнаружения.

В исследованиях [5–7] показано, что применение модели электронных писем (1) на англоязычном наборе электронных писем (сформирован и описан в [8] с дополнительными изменениями в соответствии с [5], состоит из 6 групп легальных писем общим количеством 16100 писем и 6 групп спамовых писем общим количеством 16 420 писем) дает наилучшие результаты обнаружения при численном значении ключевого параметра  $n = 1$  и  $n = 2$ . При значениях  $n \geq 3$  полнота обнаружения ухудшается в среднем более чем на 5 %, а при  $n \geq 4$  (превышение средней длины слова в английском языке [9]) – более чем на 20 %, что делает нецелесообразным использование данных значений  $n$ . При этом результаты проведенных экспериментов показывают [7], что одновременно при уменьшении полноты обнаружения увеличивается ее точность (снижается количество неверно классифицируемых писем при одновременном увеличении числа неклассифицированных писем). При этом при  $n \geq 5$  значение точности практически не изменяется.

В связи с изложенным, авторами сделано предположение о возможности улучшения результатов обнаружения с применением модели (1) при использовании комбинаций значений  $n$  (в совокупности по нескольким значениям  $n$ ). Для подтверждения или опровержения данной гипотезы поставлен эксперимент, в качестве значений параметров модели электронных писем для которого приняты следующие:  $q = 256$ ;  $\Delta t = 1$  – шаг дискретизации равен одному символу;  $n = 1$  и комбинации значений  $n = 1 \div 2$ ;  $n = 1 \div 3$ ;  $n = 1 \div 4$ ;  $n = 1 \div 5$ .

Эксперимент и оценка его результатов проводились следующим образом. На первом этапе для всех  $n$  для каждой категории (класса) писем (легальные и спамовые) каждой группы писем были выделены наборы термов и определены:  $N_{terms}$  – общее количество термов в письме;  $N_{terms}^{Spam}$  – количество термов в письме, встречающихся в спамовых письмах;  $N_{terms}^{Legal}$  – количество термов в письме, встречающихся в легальных письмах.

Для каждого письма рассчитан коэффициент его принадлежности к классу легальных или спамовых, за который принято отношение количества термов того или иного класса к количеству термов, из которых состоит письмо:

$$K^{Legal} = \frac{N_{terms}^{Legal}}{N_{terms}}, \quad (2)$$

$$K^{Spam} = \frac{N_{terms}^{Spam}}{N_{terms}}. \quad (3)$$

Во избежание случая равенства нулю того или иного коэффициента и для обеспечения выполнимости расчетов следующего шага значения  $N_{terms}$ ,  $N_{terms}^{Spam}$  и  $N_{terms}^{Legal}$  предварительно были увеличены на 1, что не оказывает влияния на соотношение коэффициентов принадлежности  $K^{Legal}$  и  $K^{Spam}$ .

На втором шаге рассчитано среднее геометрическое полученных на предыдущем этапе значений коэффициентов для заданных комбинаций значений  $n$ .

На третьем (заключительном) этапе принималось решение о принадлежности письма к спамовым или легальным с использованием простейшего решающего правила – по принципу большего значения коэффициента принадлежности. При их равных значениях письмо, как и в [5–7], считалось неклассифицированным.

Аналогично [5–7] для классифицируемого письма выделение набора термов его группы велось только для писем, стоящих перед ним в списке, что позволило частично имитировать процесс получения писем адресатом.

В качестве мер оценки результатов эксперимента использованы полнота  $R$  и точность  $P$  обнаружения (классификации) [10–14].

Результаты эксперимента представлены на рис. 1 и 2.

Результаты эксперимента показывают, что при применении комбинированных подходов при использовании заданных выше комбинаций значений  $n$  полнота обнаружения спама снижается и ее значения в среднем составляют на 1,5 % меньше, чем при  $n = 1$ . Одновременно необходимо отметить, что применение комбинированных подходов при использовании заданных комбинаций значений  $n$  позволяет увеличить полноту обнаружения легальных писем и добиться лучшей точности обнаружения спама, а следовательно, снижения количества легальных писем, неверно классифицируемых как спам.

При этом наилучшее значение точности обнаружения спама достигается применением комбинированного подхода при использовании значений  $n = 1 \div 2$ , при котором количество неверно классифицированных легальных писем в абсолютных числах уменьшилось с 735 писем до 668 (более чем на 9 %).

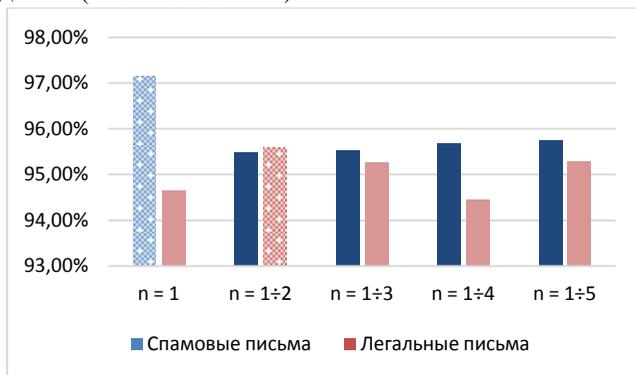


Рис. 1 Полнота обнаружения  $R$  в экспериментальном наборе

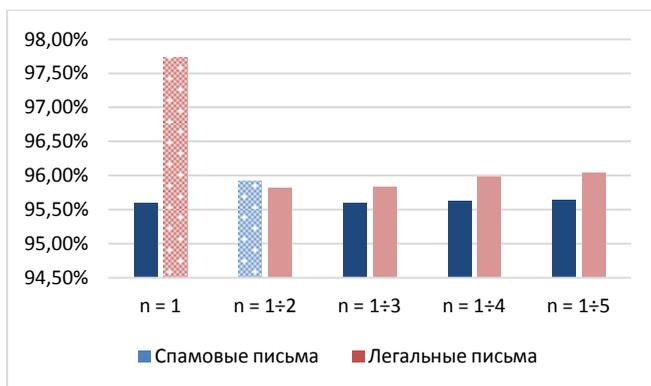


Рис. 2. Точность обнаружения  $P$  в экспериментальном наборе

**Закключение.** Таким образом, результаты эксперимента показывают целесообразность использования комбинированного подхода при использовании комбинаций численных значений ключевого параметра  $n$  модели электронных писем (1) в задаче обнаружения спама. Это позволяет повысить точность обнаружения спама при одновременном незначительном ухудшении полноты его обнаружения,

чем, очевидно, целесообразно пренебречь в целях снижения количества легальных писем, неверно классифицируемых как спам. При этом применение модели электронных писем (1) показывает наилучшие результаты точности обнаружения спама при комбинации численных значений ключевого параметра  $n = 1 \div 2$ .

### Библиографический список

1. Email Statistics Report, 2016–2020 [Электронный ресурс] // The Radicati Group. – URL: <https://www.radicati.com/?p=13546> (дата обращения: 25.11.2020).

2. Abdulhamid Sh.M., Shuaib M., Osho O., Ismaila I., Alhassan J.K. Comparative Analysis of Classification Algorithms for Email Spam Detection // International Journal of Computer Network and Information Security (IJCNIS). – 2018. – Vol. 10, № 1. – P. 60–67. DOI: <https://doi.org/10.5815/ijcnis.2018.01.07>

3. Предобработка текстов электронных писем в задаче обнаружения спама / С.В. Корелов, А.М. Петров, Л.Ю. Ротков, А.А. Горбунов / С.В. Корелов, А.М. Петров, Л.Ю. Ротков, А.А. Горбунов // Труды учебных заведений связи. – 2020. – Т. 6, № 4. – С. 80–90. DOI: <https://doi.org/10.31854/1813-324X-2020-6-4-80-90>

4. Модель электронных писем в задаче обнаружения спама // Вестник Поволжского гос. технолог. ун-та. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. – 2020. – № 2(46). – С. 44–54. DOI: <https://doi.org/10.25686/2306-2819.2020.2.44>

5. К вопросу об определении численного значения параметра модели электронных писем / С.В. Корелов, А.М. Петров, Л.Ю. Ротков, А.А. Горбунов // Автоматизированные системы управления и информационные технологии (АСУИТ-2020): сборник материалов научно-технической конференции. – Пермь, 2020.

6. К вопросу об определении численного значения параметра в модели электронных писем / С.В. Корелов, А.М. Петров, Л.Ю. Ротков, А.А. Горбунов // Труды XXIV Научной конф. по радиофизике, посвященной 75-летию радиофизического факультета (Нижний Новгород, 13-31 мая 2020 г.). – Н. Новгород: ННГУ, 2020. – С. 471–474.

7. Определение длины выборки в модели электронных писем / С.В. Корелов, А.М. Петров, Л.Ю. Ротков, А.А. Горбунов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. – 2020.

8. Metsis V., Androutsopoulos I., Paliouras G. Spam Filtering with Naive Bayes – Which Naive Bayes? // Proceedings of the 3rd Conference on Email and Anti-Spam (CEAS 2006, Mountain View, USA, 27–28 July 2006). – 2006. – P. 28–69.

9. Бойков В.В., Жукова Н.А., Романова Л.А. Распределение длины слов в русских, английских и немецких текстах [Электронный ресурс]. – URL: [http://tverlingua.ru/archive/001/01\\_1-006.htm](http://tverlingua.ru/archive/001/01_1-006.htm) (дата обращения: 13.09.2020).

10. Sebastiani F. Machine Learning in Automated Text Categorization // ACM Computing Surveys. – 2002. – Vol. 34, № 1. – P. 1–47. DOI: <https://doi.org/10.1145/505282.505283>

11. Sebastiani F. Text Categorization // Text Mining and its Applications. – Southampton: WIT Press, 2005. – P. 109–129.

12. Aas K., Eikvil L. Text Categorisation: A Survey // Norwegian Computing Center. – Tech. Report number: 941, 1999.

13. Manning C., Raghavan P., Shütze H. Introduction to Information Retrieval. –Cambridge: Cambridge University Press, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511809071>.

14. Sokolova M., Lapalme G. A Systematic Analysis of Performance Measures for Classification Tasks // Information Processing & Management. – 2009. – Vol. 45, iss. 4. – P. 427–437. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2009.03.002>

### Сведения об авторах

**Корелов Сергей Викторович** – сотрудник Национального координационного центра по компьютерным инцидентам, e-mail: [korelovsv@cert.gov.ru](mailto:korelovsv@cert.gov.ru)

**Петров Артем Михайлович** – сотрудник Национального координационного центра по компьютерным инцидентам, e-mail: [ram@cert.gov.ru](mailto:ram@cert.gov.ru)

**Ротков Леонид Юрьевич** – кандидат технических наук, доцент, начальник Управления информационной безопасности, заведующий кафедрой «Безопасность информационных систем» радиофизического факультета Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, e-mail: [rtv@rf.unn.ru](mailto:rtv@rf.unn.ru)

**Горбунов Александр Aleksandrovich** – преподаватель кафедры «Безопасность информационных систем» радиофизического факультета

тета Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, email: aagor@rf.unn.ru

### **About the authors**

**Korelov Sergei Viktorovich** – National Computer Incident Response & Coordination Center, e-mail: korelovsv@cert.gov.ru

**Petrov Artem Mikhailovich** – National Computer Incident Response & Coordination Center, e-mail: pam@cert.gov.ru

**Rotkov Leonid Yurievich** – Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor, Chief of Information Security Department, Head of Department «Security of information systems» of Faculty of Radiophysics National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, e-mail: rtv@rf.unn.ru

**Gorbunov Aleksandr Aleksandrovich** – Teacher of Department «Security of information systems» of Faculty of Radiophysics National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, e-mail: aagor@rf.unn.ru

## РЕАЛИЗАЦИЯ USB-ТОКЕНА ДВУХФАКТОРНОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ U2F НА МИКРОКОНТРОЛЛЕРЕ

**Е.В. Данилов, А.М. Вакилов**

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань

В данной статье описана реализация USB-токена двухфакторной аутентификации U2F на микроконтроллере STM32F103C8T6.

**Ключевые слова:** двухфакторная аутентификация; микроконтроллер; USB-токен.

## IMPLEMENTATION OF THE U2F TWO-FACTOR AUTHENTICATION USB -TOKEN ON A MICROCONTROLLER

**E.V. Danilov, A.M. Vakilov**

Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan

This article describes the implementation of the U2F two-factor authentication USB-token on the STM32F103C8T6 microcontroller.

**Keywords:** two-factor authentication; microcontroller; USB-token.

В настоящее время в сети Интернет существует большое количество ресурсов, так или иначе связанных с хранением персональных данных пользователей. Поэтому безопасность в Интернете является значительной проблемой. К сожалению, в огромном количестве случаев пользователи плохо защищают свои учетные записи: используют слабые и одинаковые пароли на разных сервисах, что становится причиной взломов аккаунтов и, соответственно, кражи персональных данных. Помочь в решении данной проблемы призвана многофакторная аутентификация, при которой для доступа пользователю необходимо использовать сразу несколько факторов механизма аутентификации. Наиболее распространенным случаем многофакторной аутентификации является двухфакторная аутентификация (2FA). Поэтому при создании каких-либо информационных сервисов двухфакторная аутентификация становится неотъемлемой частью требований политики безопасности.

На сегодняшний день двухфакторная аутентификация представлена несколькими решениями [1]:

- одноразовые SMS-пароли, отправляемые на мобильный телефон пользователя;
- OTP – одноразовые пароли, сгенерированные на основе мастер-ключей, например Yubikey;
- смарт-карты и криптографические токены, такие как RSA, Рутокен.

Однако перечисленные решения имеют ряд недостатков: одноразовые пароли уязвимы к атакам «человек посередине» и, соответственно, фишингу, смарт-карты требуют установки драйверов и дополнительное оборудование для их считывания.

Чтобы устранить вышеуказанные недостатки, альянс Fast IDentity Online (FIDO), организованный в 2013 г., занимается разработкой безопасных, простых в использовании решений [1]. На сегодняшний день FIDO ввел несколько стандартов аутентификации, таких как Universal Second Factor (U2F) – универсальный второй фактор [2], Universal Authentication Framework – универсальный фреймворк для биометрической аутентификации.

В данной статье представлено описание USB-токена на микроконтроллере (МК) STM32, реализующего механизм двухфакторной аутентификации U2F [3, 4]. U2F – это бездрайверный 2FA-протокол, работающий по принципу вызов-ответной аутентификации с помощью ЭЦП. Аппаратный токен, разработанный на основе микроконтроллера STM32F103C8T6 [5], подключается с помощью интерфейса USB к ПК. Предлагается применять данное устройство в качестве второго фактора аутентификации на различных ресурсах. Секретный ключ в представленном USB-токене создается с помощью генератора случайных чисел (ГСЧ) NeuG [6].

Рассмотрим функциональное назначение модулей, входящих в состав программы USB-токена (рис. 1).

- модуль U2FHID реализует функции приема и передачи данных, приходящих от JS API через класс HID интерфейса USB на U2F-токен;
- модуль USBHID реализует функцию передачи данных между МК и компьютером с помощью интерфейса USB;
- модуль U2FAPDU реализует функции регистрации USB-токена и аутентификации, функцию счетчика защиты от клонирования;

- модуль SHA256 реализует алгоритм хеширования SHA-256;
- модуль HMAC необходим для получения регистрационно-зависимой пары «закрытый/открытый» ключ по механизму hash-based message authentication code;
- модуль ECP256 реализует функцию цифровой подписи по алгоритму с открытым ключом ECDSA;
- модуль NEUG реализует функцию ГСЧ [6].

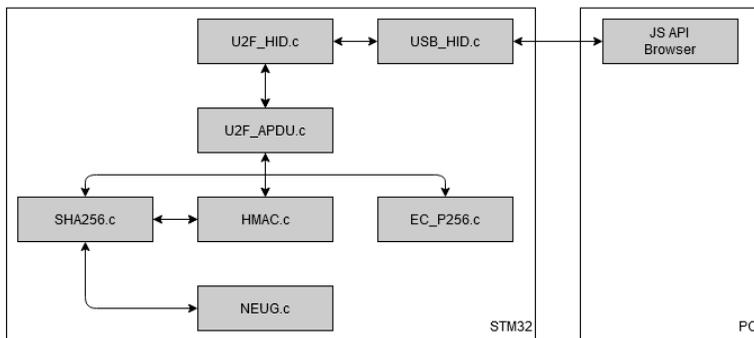


Рис. 1. Функциональная схема USB-токена U2F

Алгоритмы регистрации и аутентификации USB-токена приведены на рис. 2 и рис. 3 соответственно.

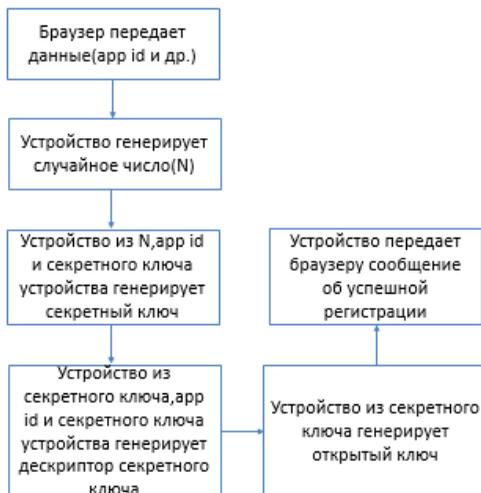


Рис. 2. Алгоритм регистрации

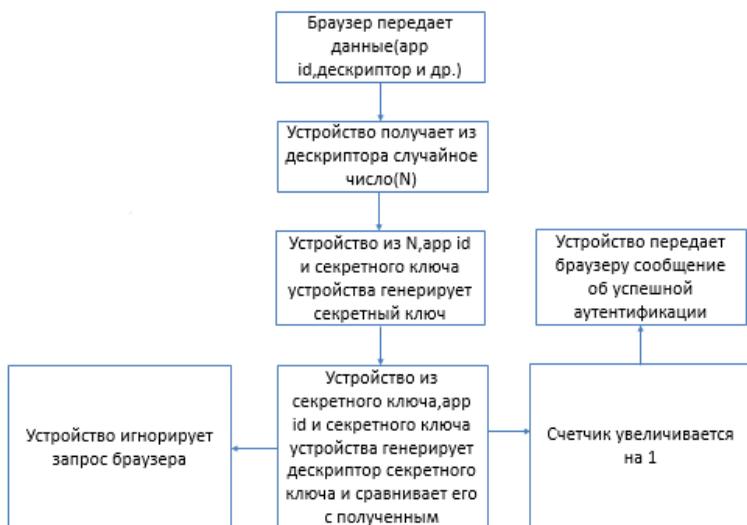


Рис. 3. Алгоритм аутентификации

При регистрации токен принимает данные от браузера по USB и создает случайное 32-байтовое число. После этого он создает секретный ключ с помощью алгоритма HMAC-SHA256 и объединенных случайного числа и данных, полученных от браузера. Аналогичным образом токен создает дескриптор ключа, только вместо случайного числа используется сгенерированный секретный ключ. Открытый ключ вычисляется на основе секретного ключа с использованием криптографии на эллиптических кривых над конечными полями (ECC). При успешной регистрации USB-токен отправляет веб-браузеру сообщение об этом, а также дескриптор и вычисленный открытый ключ.

При аутентификации токен получает дескриптор от браузера и извлекает из него случайное число. Из случайного числа и данных браузера с помощью алгоритма HMAC-SHA256 создается секретный ключ, с его помощью создается дескриптор, который сравнивается с дескриптором, полученным от браузера. Если они совпадают, устройство отправляет браузеру сообщение об успешной аутентификации.

Каждый раз при обновлении программного кода микроконтроллера USB-токена в определенный сектор внутренней Flash-памяти

МК записывается новый сгенерированный ключ устройства. Данный ключ является секретным, и для невозможности считывания его программатором устанавливается защита от чтения Flash-памяти с помощью Option bytes [5]. Также в USB-токене предусмотрен сброс счетчика защиты от клонирования. Данный счетчик инкрементируется во время процесса аутентификации.

В ходе работы на практике был реализован USB-токен двухфакторной аутентификации U2F на микроконтроллере STM32F103C8T6. Данный токен может быть использован владельцем как устройство для аутентификации на различных веб-сервисах. Для проверки работоспособности USB-токен был зарегистрирован в качестве электронного ключа в аккаунте Google и использован как второй фактор при аутентификации. Также устройство прошло проверку WebAuthn от Yubico.

### **Библиографический список**

1. FIDO U2F – Универсальная двухфакторная аутентификация. Введение [Электронный ресурс]. – URL: <https://habr.com/ru/post/305508/> (дата обращения: 05.12.2020).

2. FIDO Alliance Fast Identity Online [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Компания:FIDO\\_Alliance\\_\(Fast\\_Identity\\_Online\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Компания:FIDO_Alliance_(Fast_Identity_Online)) (дата обращения: 05.12.2020).

3. Universal 2nd Factor (U2F) Overview [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.fidoalliance.org/specs/fido-u2f-overview-v1.0-ID-20141009.pdf> (дата обращения 05.12.2020).

4. FIDO U2F Implementation Considerations [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.fidoalliance.org/specs/fido-u2f-implementation-considerations-v1.0-ID-20141009.pdf> (дата обращения: 05.12.2020).

5. STM32F103C8. Datasheet [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f103c8.pdf> (дата обращения: 05.12.2020).

6. NeuG, a True Random Number Generator Implementation [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.gniiibe.org/memo/development/gnuc/rng/neug.html> (дата обращения: 05.12.2020).

### **Сведения об авторах**

**Данилов Евгений Валерьянович** – ассистент кафедры «Радио-физика» Казанского (Приволжского) федерального университета, Казань, e-mail: evdan@mail.ru

**Вакилов Альберт Маратович** – магистрант Казанского национального исследовательского технического университета имени А.Н. Туполева – КАИ, Казань, e-mail: amvakilov98@gmail.com

### **About the authors**

**Danilov Evgeniy Valerianovich** – Assistant of the Department of radiophysics, Kazan (Volga region) Federal university, Kazan, e-mail: evdan@mail.ru

**Vakilov Albert Maratovich** – Student of Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, e-mail: amvakilov98@gmail.com

## **АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПОДХОДОВ К КЛАССИФИКАЦИИ И ТИПОЛОГИИ БОТОВ**

**А.О. Логинова**

Московский государственный лингвистический  
университет, Москва

В данной статье представлен обзор существующих подходов к классификации и типологии ботов. Распределение ботов по классам было осуществлено на основе существенных свойств ботов, описанных в литературе по релевантной теме.

**Ключевые слова:** боты; классификация ботов; типология ботов; информационная безопасность.

## **THE ANALYSIS OF EXISTING APPROACHES TO BOTS CLASSIFICATION AND TYPOLOGY**

**A.O. Loginova**

Moscow State Linguistic University, Moscow

This article provides an overview of existing approaches to the classification and typology of bots. The division of bots into classes was based on essential specifications of bots described in the literature on the relevant topic.

**Keywords:** bots; bots classification; bots typology; information security.

В 2016 г. обложки профессиональных изданий сообщали о скорой замене приложений ботами [1]. Несмотря на то что данный инструмент не был новинкой – первый бот был создан в Массачусетском технологическом институте в 1966 г. на основе теории машинного интеллекта А. Тьюринга (1947) – интерес к нему возрос из-за перспектив использования в онлайн-сервисах посредством различных интерфейсов. Предположение о грядущей замене приложений ботами не подтвердилось, но тем не менее боты прижились в интернет-пространстве.

В 2009 г. боты были «авторами» порядка 24 % всех сообщений в Twitter, по данным маркетологов около 54 % рекламы в Интернете приходилось на ботов [2]. Согласно результатам исследования, опубликованном в 2019 г. компанией GlobalDots, 37,9 % интернет-трафика в 2018 г. создавали боты [3].

В последние годы наблюдается стабильный рост числа ботов в Интернете. Социальные сети стали питательной средой для ботов, предоставляя широкие возможности для распространения различного рода информации или, наоборот, её сбора из открытых источников. На сегодняшний день остро стоит проблема идентификации и фильтрации ботов. В литературе по релевантной теме множество ботов часто делят на подмножества «плохих» (вредоносных) и «хороших» (полезных) [2–4]. Отсюда следует, что одна из целей менеджеров информационной безопасности – это блокировка одних и поддержание работоспособности других. Однако, используя один алгоритм работы, «плохие» боты маскируются под «хороших», усложняя задачу фильтрации [4]. К тому же есть люди, готовые за небольшое вознаграждение выполнять однотипные операции ботов, как те, что позволяют увеличить количество лайков под постом в Instagram, или же группы ботов, управляемые операторами-людьми. Поведение таких ботов практически невозможно отличить от поведения человека в сети [5]. В связи с этим становится актуальной задача типологии ботов, решение которой позволит блокировать нежелательных ботов.

Не только компании заинтересованы в использовании ботов для автоматизации некоторых несложных однотипных задач, например, консультация клиентов интернет-магазина о товаре в целях экономии трудозатрат и временного ресурса. Многие интернет-пользователи прибегают к услугам ботов. К примеру, с развитием монетизации в социальных сетях появился спрос на «накрутку» лайков и просмотров постов. Если опубликованный в YouTube или Instagram материал набирает большое количество просмотров, лайков, комментариев, то материал имеет все шансы попасть в рекомендуемые к просмотру. Автор поста при этом увеличивает охват своей аудитории за счёт новых подписчиков, заинтересовавшихся его профилем/каналом, таким образом, следующий пост увидит ещё большее количество пользователей социальной сети. Такой механизм распространения информации применяется в достижении различных целей: от удовлетворения желания стать известным и зарабатывать деньги за счёт своих постов с размещением рекламных продуктов до продвижения политических кампаний. Искусственное поднятие рейтинга просмотров – лишь один из вариантов применения ботов.

Существует несколько подходов к классификации ботов:

- 1) упомянутое выше разделение на «плохих» и «хороших»;

2) классификация по роду деятельности [6]:

а) боты, предназначенные для сбора информации (поисковые боты/web crawlers; спам-боты, собирающие контактные данные и др.);

б) боты для создания контента (боты-редакторы; спам-боты, распространяющие рекламу; боты, генерирующие отзывы; AdSense-боты (контекстная реклама) и др.);

с) боты-эмуляторы поведения человека (торговые боты; чат-боты; астротурфинг-боты; социальные боты и др.);

д) боты, выполняющие операции (боты-цензоры; боты-модераторы; боты аукционных площадок; боты высокочастотного трейдинга (алгоритмическая торговля на финансовых рынках)/биржевой бот и др.);

3) классификация по назначению:

а) боты-посредники, предназначенные для осуществления коммуникации, например между клиентом и компанией (чат-боты; поисковые боты/web crawlers и др.);

б) функциональные боты, заменяющие работу приложений, осуществляющие подбор продукта по заданным характеристикам (боты для поиска выгодных предложений покупки авиа- и ж/д-билетов; торговые боты; новостные боты и др.);

4) разделение ботов на социальных и не относящихся к ним. Социальными ботами называют автоматизированное программное обеспечение, способное работать с реальными пользователями через интерфейсы социальных сетей. «При этом бот не является аккаунтом – это программа управления аккаунтом (хотя в сложившейся традиции ботом обычно называют именно аккаунты, управляемые ботами)» [7]. Некоторые источники дают более узкое определение социальному боту, говоря о том, что это программа, использующая социальные сети, имитирующая общение и взаимодействие людей [8]. Социальные боты в свою очередь делятся на подклассы:

а) спам-боты;

б) технические боты, выполняющие однообразные рутинные действия («накрутка» просмотров и рейтинга и др.);

с) боевые боты, способные заблокировать аккаунт, получить доступ к персональным данным пользователя и др.;

д) боты-тролли, размещающие оскорбительные комментарии, а также посты с информацией, способствующей разжиганию ненависти и др.;

е) астротурфинг-боты – используются как механизм управления общественным мнением. Астротурфинг-боты работают через посты, отзывы и комментарии, создают впечатление у читающего о том, что большое количество людей поддерживает или выступает против чего-то конкретного, искусственно формируя общественное мнение;

5) классификация по способу управления:

а) автоматические боты, не требующие контроля человека при работе;

б) управляемые боты, нуждающиеся в контроле человека-оператора;

б) классификация по формам взаимодействия с пользователем:

а) работающие посредством заложенных команд/кнопок;

б) использующие технологию распознавания речи;

с) inline-боты, не требующие запуска самого бота, при этом бот должен быть добавлен в используемые. В чате Telegram такой бот вызывается с помощью указания его имени в строке набора сообщения, например, `@ya_запрос`, так вызывается бот поисковика Yandex. Результатом его работы будет предоставление пользователю информации по заданному запросу по разным ссылкам. Пользователь может выбрать ссылку с информацией наиболее соответствующей его запросу и направить её собеседнику.

Множество ботов можно классифицировать сразу по нескольким существенным свойствам. Например, в статье, опубликованной по результатам исследования, проведенного специалистами из Оксфордского института Интернета совместно со специалистами Института имени А. Тьюринга, «Even good bots fight: The case of Wikipedia» была предложена типология, основанная на пересечении классов ботов, сформированных по типу намерений (пункт 1) и роду деятельности (пункт 2) ботов [6]. Такой способ представления множества ботов в упорядоченной форме возник в результате изучения исследователями вопроса взаимодействия ботов друг с другом.

В статье «Do Social Bots Dream of Electric Sheep? A categorisation of Social Media Bot Accounts» авторы представляют перекрёстную типологию ботов, объединив классификацию по типу намерений (пункт 1) и по уровню имитации ими поведения человека [8]. Рассматривая класс социальных ботов (пункт 4), авторы пришли к выводу, что представители данного класса различаются по типу намере-

ний и степени имитации человеческого поведения. Под «социальными ботами» авторы подразумевают аккаунты в социальных сетях, контролируемые ботами, такие боты в значительной мере имитируют поведение пользователей в сети: создают и рассылают сообщения, отправляют «заявки в друзья», копируют посты и делятся ими с «друзьями». Отмечается, что работа социальных ботов оказывает большое влияние на участников интернет-коммуникации.

Таким образом, в зависимости от условий задачи фильтрации, используя разные комбинации подходов к классификации ботов, можно создать адаптивную типологию ботов. Использование такой типологии позволит с наибольшей точностью идентифицировать бота.

### Библиографический список

1. Chatbots were the next big thing: what happened? [Электронный ресурс] // The startup. Build something awesome. – URL: <https://medium.com/swlh/chatbots-were-the-next-big-thing-what-happened-5fc49dd6fa61> (дата обращения: 19.12.2020).

2. О чём хорошие боты спорят в Википедии [Электронный ресурс] // Хабр. – URL: <https://habr.com/ru/post/373207/> (дата обращения: 15.12.2020).

3. Industry Report: Bad Bot Landscape 2019 [Электронный ресурс] // GlobalDots. We Make IT Faster. – URL: <https://www.globaldots.com/bad-bot-report-2019#form> (дата обращения: 15.12.2020).

4. Белые начинают: так ли уж хороши «хорошие» боты? [Электронный ресурс] // Хабр. – URL: <https://habr.com/ru/company/variti/blog/527348/> (дата обращения: 16.12.2020).

5. Чесноков В.О. Алгоритмическое и программное обеспечение анализа графов ближайшего окружения для выявления ботов и определения неуказанных атрибутов пользователей в онлайн-социальных сетях: дис ... канд. тех. наук: 05.13.11 – Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей. – М., 2018.

6. Even good bots fight: The case of Wikipedia / M. Tsvetkova, R. García-Gavilanes, L. Floridi, T. Yasseri // PLoS ONE. – 2017, – Vol. 12, № (2). – P. e0171774.

7. Василькова В.В., Легостаева Н.И. Социальные боты в политической коммуникации // Вестник РУДН. Серия: Социология. – 2019. – Т. 19, № 1. – С. 121–133.

8. Do Social Bots Dream of Electric Sheep? A Categorisation of Social Media Bot Accounts / Stieglitz, Stefan; Brachten, Florian; Ross, Björn; and Jung, Anna // ACIS 2017 Proceedings. – 2017. – Vol. 8.

### **Сведения об авторе**

**Логинава Алина Олеговна** – аспирант кафедры международной информационной безопасности Института информационных наук, эксперт отдела научного менеджмента и наукометрии Московского государственного лингвистического университета, Москва, e-mail: loginova@linguanet.ru

### **About the author**

**Loginova Alina Olegovna** – Graduate Student of International Information Security Department of the Information Sciences Institute, expert of the Scientific Management and Scientometrics Department, Moscow State Linguistic University, Moscow, e-mail: loginova@linguanet.ru

## **АНАЛИЗ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ КРИПТОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОРОВ ДЛЯ СИСТЕМ «ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ»**

**А.Н. Каменских, В.Г. Наборщиков**  
Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

В данной статье проведен анализ существующих проблем и решений в области проектирования криптопроцессоров для систем «Интернета вещей», а также поставлены задачи для достижения целей исследования.

**Ключевые слова:** информационная безопасность; «Интернет вещей»; криптография, схемотехника; криптопроцессоры.

## **ANALYSIS OF STRUCTURAL AND FUNCTIONAL MODELS OF CRYPTOGRAPHIC PROCESSORS FOR THE "INTERNET OF THINGS" SYSTEMS**

**A.N. Kamenskikh, V.G. Naborshchikov**  
Perm National Research Polytechnic University, Perm

In this article analyzes the existing problems and solutions in the design of cryptoprocessors for the "Internet of Things" systems, as well as sets out the tasks to achieve the research objectives.

**Keywords:** information security; "Internet of things"; cryptography; circuitry; cryptoprocessors.

IoT-система является концепцией современной вычислительной системы. Узловые элементы IoT-систем представлены как стандартными персональными компьютерами, так и мобильные телефонами, контроллерами, серверами, датчиками и другими подобными элементами. В ядре современных IoT-систем лежат «облачные вычисления». Следует отметить, что в последнее время активно развивается концепция «туманных вычислений» (англ. fog computing). Этот тренд связан с ростом вычислительных возможностей мобильных устройств, что делает проблему защищенной коммуникации встроенных устройств еще более актуальной [1].

IoT-система оказывается более уязвима относительно классической ЛВС и даже распределенной информационной-управляющей системы (РИУС). Класс РИУС наиболее близок к классу IoT-систем, именно поэтому разрабатываемые сейчас стандарты безопасности IoT-систем опираются на стандарты РИУС (NIST 800-82 и другие).

Одним из методов защиты IoT-систем является шифрование. Так как многие элементы не обладают достаточной вычислительной мощностью для реализации алгоритмов шифрования с современными требованиями безопасности, появляется потребность в специализированных сопроцессорах, реализующих криптографические функции, или криптопроцессорах (шифропроцессорах).

**Анализ архитектуры криптографического процессора.** Рассмотрим различные способы безопасной передачи данных между элементами IoT-системы, рис. 1.

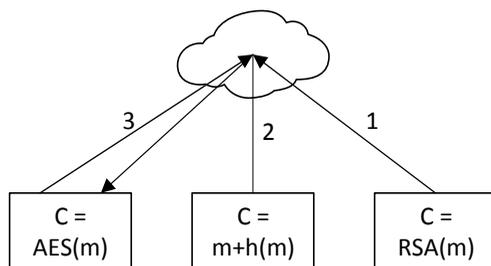


Рис. 1. Способы коммуникации конечных устройств с облачной платформой

Способ 1 – данные шифруются при помощи алгоритма RSA открытым ключом сервера, который для этого должен быть загружен в память устройства. Криптопроцессор должен поддерживать алгоритмы асимметричного шифрования (АШ), например RSA. Возможные угрозы (вектора атаки) – подмена устройства (англ., man in the middle, MitM), так как сервер не может аутентифицировать источник сообщения. Атаки, направленные на «отказ в обслуживании» (англ., Denial of Service), так как сервер тратит ресурсы на расшифровку данных.

Способ 2 – данные подписываются ключом датчика/контроллера. В этом случае криптопроцессор должен поддерживать хэширование и алгоритм цифровой подписи. Возможные угрозы (вектора атаки) –

чтение данных, так как данные идут в открытом виде, то любой злоумышленник может их прочитать, но не изменить. Анализ криптографических алгоритмов и их реализации: для развития вектора атаки злоумышленник будет пытаться скомпрометировать секретные ключи устройства или напрямую расшифровать их, пользуясь тем, что конечные устройства не обладают большими вычислительными ресурсами.

Способ 3 – данные шифруются симметричным блочным шифром. Криптопроцессор и вся система должны поддерживать соответствующий алгоритм шифрования – AES, DES, «Кузнечик» и другие. Возможные угрозы (вектора атаки) – анализ криптографических алгоритмов и их реализации.

В современных системах указанные способы, как правило, используются в комбинации, так как только это обеспечивает достаточный уровень защищенности системы и доверия к передаваемым данным. Ярким примером являются реализации протоколов SSH, IKE и его производные. Тем не менее в прикладных задачах с целью снижения затрат ресурсов могут использоваться отдельные способы защиты информации.

Таким образом, современный криптографический процессор для IoT-систем должен иметь возможность работать в трех основных режимах – подпись данных, асимметричное шифрование, симметричное шифрование. Причем архитектура должна обеспечивать связанность режимов работы (таблица). Примерный алгоритм работы устройства управления приведен на рис. 2.

Таблица истинности устройства управления  
криптографическим процессором

$x_1x_2x_3$	Алгоритм шифрования
000	НЕТ
001	RSA/ECC
01-	AES/ГОСТ
1-0	SHA256/ГОСТ
1-1	Подпись + шифрование

Аппаратная реализация алгоритмов симметричного шифрования хорошо изучена, многие решения доведены до промышленного производства. Также аппаратные реализации асимметричных алгоритмов шифрования представлены значительно меньше, в частности, не хватает анализа надежности предлагаемых аппаратных узлов.

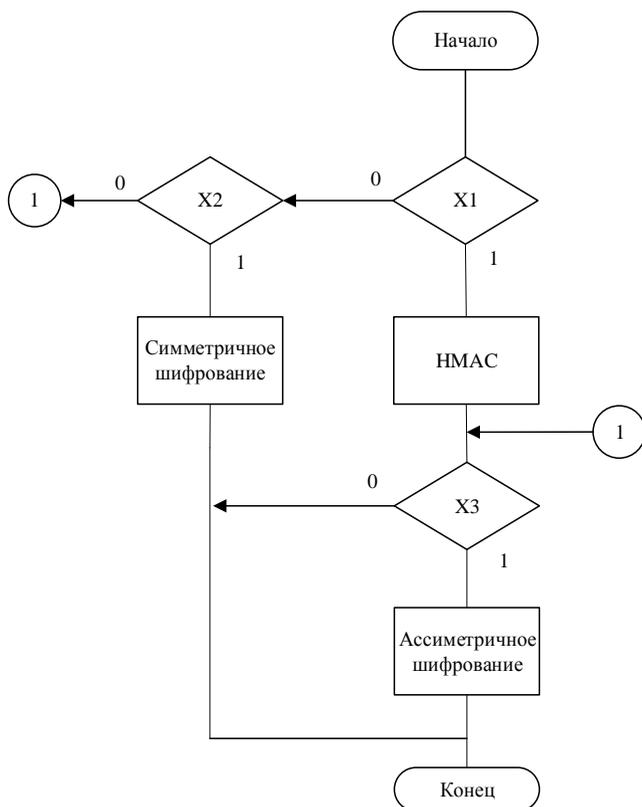


Рис. 2. Алгоритм управления криптографическим процессором

Часть разработанных устройств и методов их синтеза засекречены – следовательно, их схемы не опубликованы и нельзя оценить наличие в них аппаратных уязвимостей, что потенциально влияет на общую безопасность. Таким образом, актуально исследование надежности аппаратных узлов, реализующих алгоритмы асимметричного шифрования.

Следует отметить, что постоянный рост вычислительных ресурсов приводит к тому, что алгоритм RSA становится уязвимым. В основе этого процесса лежит фактор экспоненциального роста затрат времени/памяти при увеличении длины ключа. Решением этой проблемы является переход на использование криптографии на основе эллиптических кривых (ECC). Длина ключа в алгоритмах

ЕСС на порядок ниже, чем в алгоритме RSA, при той же криптографической стойкости. Поэтому при разработке методов синтеза стоит опираться именно на те блоки и узлы, которые используются в процессорах ЕСС [2].

В основе ЕСС лежат следующие базовые операции:

1. Алгебраическое сложение двух точек, которое заключается в решении уравнений (1)–(3) [2]:

$$m = (Y_p - Y_q) / (X_p - X_q); \quad (1)$$

$$X_r = m^2 - X_p - X_q; \quad (2)$$

$$Y_r = Y_p + m \cdot (X_r - X_p). \quad (3)$$

2. Скалярное умножение алгоритмом умножения-сложения:

$$I = I + A; \quad (4)$$

$$A = A \cdot 2. \quad (5)$$

3. Логарифмирование:

Наибольшее количество операций выполняет схема сложения/вычитания. Поэтому именно над ее оптимизацией и следует работать в первую очередь.

**Постановка частных задач исследования.** Для достижения цели исследования – разработать отказоустойчивый криптографический процессор на основе метода комбинированного резервирования для глобально-асинхронных локально-произвольных (ГАЛП) схем, необходимо решить следующие задачи:

I. Разработать структурно-функциональную модель ГАЛП криптопроцессора.

II. Разработать модели энергонадежности синхронных и асинхронных узлов криптографического процессора:

а. сумматор (надежность, быстродействие, энергопотребление);

б. умножитель (надежность, быстродействие, энергопотребление);

с. сложение по модулю два (надежность, быстродействие, энергопотребление).

III. Разработать формальную систему вывода оптимальных участков синхронных и асинхронных схем.

**Заключение.** «Интернет вещей» активно внедряется в повседневную жизнь общества, научные основы этой технологии уже заложены и достаточно хорошо изучены. Однако на практике разработчики систем «Интернета вещей» часто пренебрегают обеспечи-

ем надежности и безопасности своих систем, происходит это зачастую из-за высоких затрат на технологии обеспечения безопасности и надежности. Следовательно, появляется проблема, которая требует дополнительного изучения и поиска специализированных решений, оптимальных для «Интернета вещей».

### **Библиографический список**

1. Что такое интернет вещей? кривых [Электронный ресурс]. – URL: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/5db96f769a7947561444f118> (дата обращения: 10.12.2020).
2. Доступно о криптографии на эллиптических кривых [Электронный ресурс]. – URL: <https://habr.com/ru/post/335906/> (дата обращения: 10.12.2020).

### **Сведения об авторах**

**Каменских Антон Николаевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: [antoshkinoinfo@yandex.ru](mailto:antoshkinoinfo@yandex.ru)

**Наборщиков Владимир Георгиевич** – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: [naborshikov\\_vladimir@mail.ru](mailto:naborshikov_vladimir@mail.ru)

### **About the authors**

**Kamenskikh Anton Nikolaevich** – Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor Department of Automation and remote control Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: [antoshkinoinfo@yandex.ru](mailto:antoshkinoinfo@yandex.ru)

**Naborshchikov Vladimir Georgievich** – Student Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: [naborshikov\\_vladimir@mail.ru](mailto:naborshikov_vladimir@mail.ru)

## **АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ КРИПТОГРАФИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА CHACHA ДЛЯ ЗАЩИЩЕННОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ESP8266**

**К.В. Филимонов, А.И. Тур**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

В данной работе рассмотрен алгоритм симметричного шифрования ChaCha и его реализация в стандартных библиотеках. Произведен анализ эффективности криптографического алгоритма при различном числе итераций.

**Ключевые слова:** IOT; ChaCha; esp8266; шифрование; эффективность, микроконтроллеры.

## **ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF THE CHACHA CRYPTOGRAPHIC ALGORITHM FOR SECURE DATA TRANSMISSION FOR ESP8266 MICROCONTROLLER**

**K.V. Filimonov, A.I. Tur**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

In this paper, the ChaCha symmetric encryption algorithm and its implementation in standard libraries are considered. The analysis of the effectiveness of the cryptographic algorithm for a different number of iterations was carried out.

**Keywords:** IOT; ChaCha; esp8266; encryption; effectiveness; microcontrollers.

Развитие технологий «интернета вещей» (Internet of things) ведет к существенному увеличению числа устройств, подключенных к сети Интернет.

При передаче данных по открытым каналам связи возникает угроза перехвата трафика. Для обеспечения защиты информации необходимо шифрование пакетов. Однако в связи с ограниченными вычислительными ресурсами операции шифрования и дешифрования могут оказаться крайне неэффективными. В связи с этим возникает проблема выбора наиболее эффективного алгоритма шифрования, который обладал бы одновременно достаточной криптостойкостью для противодействия активным атакам и относительно быстрым временем проведения криптографических операций.

В этой работе мы не будем рассматривать криптоанализ и криптографические атаки.

Алгоритм ChaCha рекомендуется разработчиками официальной криптографической библиотеки. Они считают, что ChaCha в два раза быстрее алгоритма AES128 и гораздо безопаснее. Последний же используется в случаях, когда необходима обратная совместимость со старыми протоколами.

ChaCha – симметричный поточный шифр, является модификацией алгоритма Salsa. Оба используют псевдослучайный генератор чисел, основанный на технике add-rotate-XOR (ARX), использующий простейшие операции сложения по модулю 32, сдвигов и сложения по модулю 2. Эта особенность позволяет добиться высокой эффективности при ограниченных вычислительных мощностях. Ключ шифрования и дешифрования одинаков для двух операций. Скоростью шифрования и криптостойкостью можно управлять путем оптимального выбора битности ключа, а также числа раундов. Раунд – один цикл битовых преобразований. Основными длинами ключа являются 128 и 256 бит.

В стандартной библиотеке реализован алгоритм ChaCha для 128 и 256 бит ключа для 8, 12, 20 раундов. Произведем тестирование алгоритма с различными параметрами. Ключ и вектор инициализации сгенерированы заранее (рис. 1–3).

```
Performance Tests:
ChaCha20 256-bit SetKey ... 4.49us per operation, 222667.56 per second
ChaCha20 256-bit Encrypt ... 0.62us per byte, 1610103.40 bytes per second
ChaCha20 256-bit Decrypt ... 0.62us per byte, 1607434.38 bytes per second
ChaCha20 128-bit SetKey ... 8.86us per operation, 112905.05 per second
ChaCha20 128-bit Encrypt ... 0.62us per byte, 1612293.74 bytes per second
ChaCha20 128-bit Decrypt ... 0.62us per byte, 1607999.80 bytes per second
ChaCha12 256-bit SetKey ... 4.43us per operation, 225988.70 per second
ChaCha12 256-bit Encrypt ... 0.48us per byte, 2071599.66 bytes per second
ChaCha12 256-bit Decrypt ... 0.48us per byte, 2064449.53 bytes per second
ChaCha12 128-bit SetKey ... 8.85us per operation, 112981.58 per second
ChaCha12 128-bit Encrypt ... 0.48us per byte, 2071599.66 bytes per second
ChaCha12 128-bit Decrypt ... 0.48us per byte, 2064516.13 bytes per second
ChaCha8 256-bit SetKey ... 4.43us per operation, 225988.70 per second
ChaCha8 256-bit Encrypt ... 0.41us per byte, 2415641.28 bytes per second
ChaCha8 256-bit Decrypt ... 0.42us per byte, 2405924.59 bytes per second
ChaCha8 128-bit SetKey ... 8.85us per operation, 112981.58 per second
ChaCha8 128-bit Encrypt ... 0.41us per byte, 2415550.10 bytes per second
ChaCha8 128-bit Decrypt ... 0.42us per byte, 2406015.04 bytes per second
```

Рис. 1. Вывод результатов операций шифрования через Serial-интерфейс

## Сравнение алгоритмов симметричного шифрования ChaCha, 128 бит

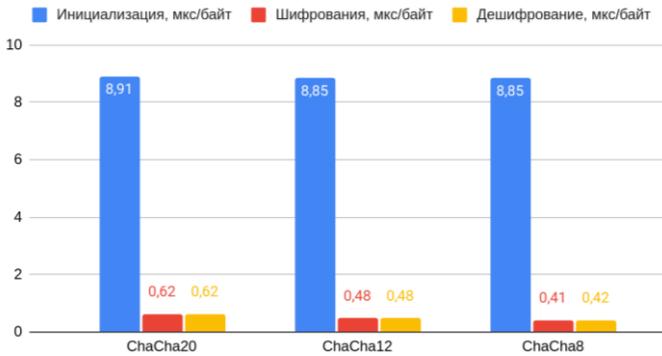


Рис. 2. Сравнение времени работы стадий ChaCha 128 бит с различным числом раундов

## Сравнение алгоритмов симметричного шифрования ChaCha, 256 бит

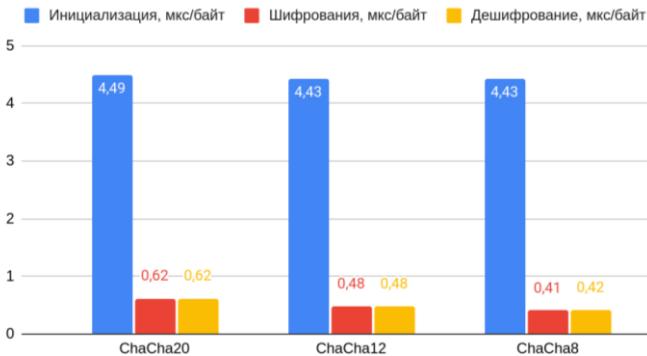


Рис. 3. Сравнение времени работы стадий ChaCha 256 бит с различным числом раундов

Из полученных данных видно, что инициализация ключа занимает основную часть времени. Это связано с встроенными функциями работы с памятью. Для 128 бит вводится дополнительная функция, в этом можно убедиться при просмотре исходного кода функции инициализации памяти. Это может быть связано с защитой от криптографических атак. Процедуры шифрования и дешифрования выполняются относительно быстро и не зависят от длины ключа. Раз-

ница во времени между 12 и 20 раундами достигает 50 %. Это критично для задач с большим числом операций шифрования.

В целом стандарт в 20 раундов используется в большинстве современных приложений и его можно считать эффективным.

### **Библиографический список**

1. Sklavos N., Zaharakis I.D. Cryptography and Security in Internet of Things (IoT): Models, Schemes, and Implementations. – 2016. DOI: 10.1109/NTMS.2016.7792443

2. Adrián Ranea, Yunwen Liu, Tomer Ashur. An Easy-To-Use Tool for Rotational-XOR Cryptanalysis of ARX Block Ciphers. – 2017.

3. Arduino Cryptography Library [Электронный ресурс]. – URL: <https://rweather.github.io/arduinolibs/crypto.html> (дата обращения: 27.09.2020).

### **Сведения об авторах**

**Тур Александр Игоревич** – ассистент кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: tur.aleksandr93@mail.ru

**Филимонов Кирилл Вадимович** – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: filimonov\_kirill@protonmail.com

### **About the authors**

**Tur Aleksandr Igorevec** – Assistant of Department of Automation and remote control Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: tur.aleksandr93@mail.ru

**Filimonov Kirill Vadimovic** – Student of Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: filimonov\_kirill@protonmail.com

## ТРЕКЕР ДЛЯ СОРЕВНОВАНИЙ ПО СПОРТИВНОМУ ОРИЕНТИРОВАНИЮ

**М.А. Кочев, С.А. Тюрин**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

В данной статье рассмотрены аспекты мониторинга и контроля на примере трекера при спортивном ориентировании.

**Ключевые слова:** трекер; GPS приемник; координаты.

## MONITORING AND CONTROL SYSTEM FOR SPORTS ORIENTATION COMPETITIONS

**M.A. Kochev, S.A. Tyurin**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

In this article the aspects of monitoring and control on the example of a tracker in sports orientation.

**Keywords:** tracker; GPS receiver; coordinates.

Актуальность темы по разработке электронной системы мониторинга и контроля по отслеживанию в спортивном ориентировании заключается в том, что в настоящее время трекинг используется во многих видах спорта, таких как спортивное ориентирование, лыжные гонки, парусный спорт и т.д. [1]. Данные о прохождении дистанции могут быть использованы для анализа действий спортсмена, поэтому трекинг также полезен при организации тренировок. При организации соревнований с использованием трекинга главной задачей является, чтобы спортсмен прошел по заданному маршруту и отметился в КП (контрольных пунктах), расположенных на местности, используя спортивную карту и компас. Результаты соревнований объявляются, исходя из времени прохождения маршрута или по количеству очков, которых набрал спортсмен.

В рамках работы будет спроектирована система мониторинга и контроля для пешего спортивного ориентирования в лесной и горной местности, так как в настоящее время этот вид спортивного ориентирования является более популярным при проведении соревнований по этому виду спорта.

Ранее, в первой статье, были описаны проблемы, которые может решить данная система, описан сам спорт, для которого будет использоваться эта система, а также функционал системы.

Разрабатываемая система мониторинга и контроля представляет собой трекер, который сможет записывать координаты спортсмена, чтобы по завершению соревнования провести анализ, исходя из полученных координат с GPS-приемника, как прошел спортсмен заданный путь.

Аппаратные составляющие системы удовлетворяют следующим требованиям:

- все составляющие трекера совместимы с платой STM32F103C8T6;
- питание для платы составляет 3.3В-5В;
- питание модулей составляет 3В-5В.
- модули системы работают при температуре от  $-5$  до  $+65$  °С, отдельные модули могут работать в более высоком диапазоне температур.

Для реализации системы будем использовать следующую схему соединений, представленную ниже, в виде макета трекера, на рис. 1.

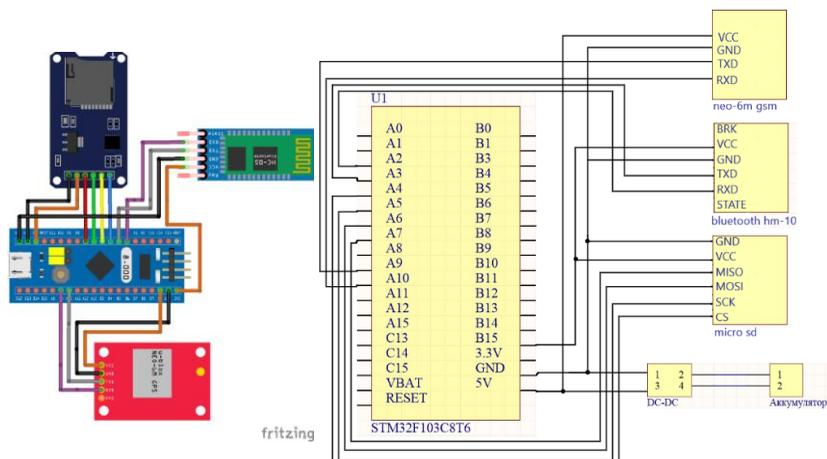


Рис. 1. Схема соединений макета трекера

Перед началом выполнения проекта необходимо протестировать все модули на работоспособность, что и было сделано. Затем, исходя из схемы соединений, можно приступать к сборке и программированию модулей для возможности взаимодействия друг с другом.

В реализации трекера для спортивного ориентирования будут использоваться составляющие, указанные на схеме соединений, представленной на рис. 2. Как видим, в основе системы используется многофункциональная отладочная плата на базе 32-битного микроконтроллера STM32F103C8T6 [3]. Питание микроконтроллера будет от стабилизированного DC-DC преобразователя.

Подключение микроконтроллера STM32F103C8T6 к компьютеру выполняется при помощи внешнего программатора st link v2, для того чтобы выполнить отладку. Настройка и программирование микроконтроллера происходят через программу STM32CubeMX. Внешний вид программы показан ниже на рис. 3. На рисунке видно, что некоторые «ножки» контроллера инициированы и горят зеленым цветом. В дальнейшем через инициированные «ножки» можно задавать определенные параметры, а также имя (обозначение) для каждой отдельной «ножки».

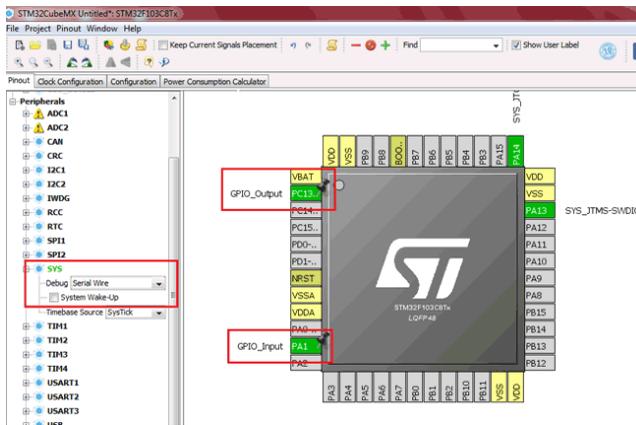


Рис. 2. Внешний вид программы STM32CubeMX

Для вычисления координат используется модуль GPS-приемника на основе NEO-6M производства uBlox. Управление модулем происходит через UART, по NMEA-протоколу (стандарт для GPS-модулей), на скорости 9600 бит/с. Модуль взаимодействует с микроконтроллером посредством последовательного интерфейса передачи данных UART [2] и рабочих контактов RXD и TXD (кратко – RX и TX). Передающий контакт – TXD (Transmitted Data), а RXD (Received Data) – принимающий.

Проверка и настройка GPS-модуля осуществляется при помощи программы U-center, для соревнований программа не требуется и используется лишь для проверки модуля. Она должна отобразить теку-

щее местоположение модуля, направление движения, скорость, а также, какие факторы могут повлиять на уменьшение точности определения нахождения. GPS-приемник передает данные в определенном формате (NMEA), в блоке с данными находится несколько строк, среди которых интересует лишь пару, начало которых \$GPGGA и \$GPRMC. Эти строки включают в себя время, координаты местонахождения и другие полезные данные.[4]

Пример строки \$GPGGA:

– \$GPGGA,205535.000,6656.6778, N,67689.6679, E,2,09,0.8,670.7, M,64.7, M, \*76.

Пример описания строки \$GPGGA:

– \$GPGGA, ЧЧММСС.ССС, широта, N, долгота, E, FQ, NOS, HDP, высота над уровнем моря, M, высота, M, данные контрольной суммы.

Пример строки \$GPRMC:

– \$GPRMC,114405.047, A,5443.2579, N,04751.5053, E,0.07,35.72, 200807, \*16

Пример описания строки \$GPRMC:

– \$GPRMC, ЧЧММСС.ССС, A, величина широты, N, величина долготы, E, скорость в узлах, направление скорости (путевой угол, курс) в градусах, DDMMYY, z1, z2, данные контрольной суммы.

Для того чтобы была возможность записать полученные координаты с GPS-приемника на внешний носитель, необходимо подключить и настроить на работу с контроллером STM32 микро SD-модуль. Для этого нужно определиться с интерфейсом, с которым работают подобные карты и микроконтроллер, выяснилось, что интерфейс SDIO не поддерживается, поэтому будет использоваться SPI-интерфейс. Также появляется необходимость подключения библиотеки FatFS, для того чтобы была возможность работать не с блоками и секторами, а с файловой системой [5]. Питание возможно, как и с 5В, так и с 3.3В, за счет регулятора напряжения.

Полученный файл с координатами прохождения дистанции можно будет выгрузить в текстовом формате и просмотреть на карте, каким маршрутом воспользовался спортсмен и прошел ли он контрольные пункты. В качестве сервисов, которые могут обеспечить подобную выгрузку файла с координатами, можно использовать, к примеру, GPS Visualizer, бесплатный сервис визуализации [6].

Данная система мониторинга и контроля позволит реализовывать следующие задачи: определять и записывать координаты местоположения, просматривать пройденный путь, фиксировать контрольные

пункты. Подобная система предполагает под собой удобство и гибкость в использовании, что в свою очередь приведет к более качественным и честным показателям спортсменов данной категории спорта.

### **Библиографический список**

1. О GPS-трансляциях [Электронный ресурс] // ООО «Спортивные трекинговые системы». – URL: <https://o-gps-center.ru/news/> (дата обращения: 14.12.2020).

2. UART и с чем его едят [Электронный ресурс] // Хабр: веб-сайт. – URL: <https://habr.com/ru/post/109395/> (дата обращения: 14.12.2020).

3. Многофункциональный GPS Logger [Электронный ресурс] // Хабр: веб-сайт. – URL: <https://habr.com/ru/post/370337/> (дата обращения: 13.12.2020).

4. Описание NMEA протокола. Реализация в приемниках Garmin и GlobalSat [Электронный ресурс] // yug-gps.narod. – URL: <http://yug-gps.narod.ru/docs/000x/st007.htm> (дата обращения: 15.12.2020).

5. Подключение карт SD через SPI [Электронный ресурс] // microsin. – URL: <http://microsin.net/programming/file-systems/sd-specifications-part-1.html> (дата обращения: 15.12.2020).

6. OpenStreetMap в помощь велосипедистам [Электронный ресурс] // Хабр: веб-сайт. – URL: <https://habr.com/ru/post/131466/> (дата обращения: 15.12.2020).

### **Сведения об авторах**

**Кочев Максим Алексеевич** – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: [max.cochev@yandex.ru](mailto:max.cochev@yandex.ru)

**Тюрин Сергей Александрович** – старший преподаватель кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: [tiurinsa@yandex.ru](mailto:tiurinsa@yandex.ru)

### **About the authors**

**Kochev Maksim Akekseevich** – Master Student of Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: [max.cochev@yandex.ru](mailto:max.cochev@yandex.ru)

**Tyurin Sergey Aleksandrovich** – Senior Lecturer of the Automation and Telemechanics department Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: [tiurinsa@yandex.ru](mailto:tiurinsa@yandex.ru)

## **РЕАЛИЗАЦИЯ КАНАЛА СВЯЗИ МЕЖДУ НАВИГАТОРОМ И ОШЕЙНИКОМ ДЛЯ ОХОТНИЧЬИХ СОБАК**

**К.Н. Чухланцев, С.А. Тюрин**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

В данной статье описана реализация беспроводного канала для системы мониторинга. Изучен интерфейс SPI. Рассмотрена аппаратная и программная реализация беспроводного канала на примере приемопередатчика CC1101.

**Ключевые слова:** радиомодуль; SPI.

## **IMPLEMENTING A COMMUNICATION LINK BETWEEN THE NAVIGATOR AND THE COLLAR FOR HUNTING DOGS**

**K.N. Chuhlantsev, S.A. Tyurin**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

This paper describes the implementation of a wireless channel for a monitoring system. The SPI interface is studied. The hardware and software implementation of the wireless channel on the example of the CC1101 transceiver is examined.

**Keywords:** Radio module; SPI.

Бесспорно, организация беспроводного канала является ключевой частью системы мониторинга. При выборе беспроводного канала необходимо принимать во внимание масштаб зон обслуживания и особенности территории, на которой будет осуществляться работа системы. В рамках предыдущей статьи были рассмотрены типовые варианты проектирования систем мониторинга. Учтена специфика работы в лесополосе, что определило выбор в пользу субгигагерцевых диапазонов частот.

Для организации радиоканала между устройством мониторинга охотника и ошейником собаки выбран диапазон частот 433 МГц, обеспечивающий необходимое расстояние для работы системы. Были рассмотрены приемопередатчики таких фирм, как Silicon Instruments, STMicroelectronics, Texas Instruments. Выбор сделан в пользу цифрового приемопередатчика радиосигнала от производителя Texas Instruments – CC1101, так как он поддерживает пакетную передачу

данных, широкий спектр частот, различные форматы модуляции и обеспечивает низкое энергопотребление.

Первоначально необходимо организовать физическое подключение модуля и контроллера. Подключение радиомодуля к микроконтроллеру в нашем случае осуществляется по интерфейсу SPI.

SPI (Serial Peripheral Interface) – является синхронным интерфейсом передачи, работающим в режиме полного дуплекса и использующим архитектуру «ведущий – ведомый». Интерфейс SPI имеет следующие контакты:

- SCK – сигнал тактирования, генерируемый ведущим,
- SS – сигнал выбора ведомого,
- MISO – вход ведущего и выход ведомого,
- MOSI – выход ведущего и вход ведомого,
- А также используются пины общего назначения:
- GDO0 – сконфигурирован для индикации окончания передачи пакета,
- GDO2 – сконфигурирован для индикации готовности передатчика при выходе из сна.

Схема соединений представлена на рисунке.

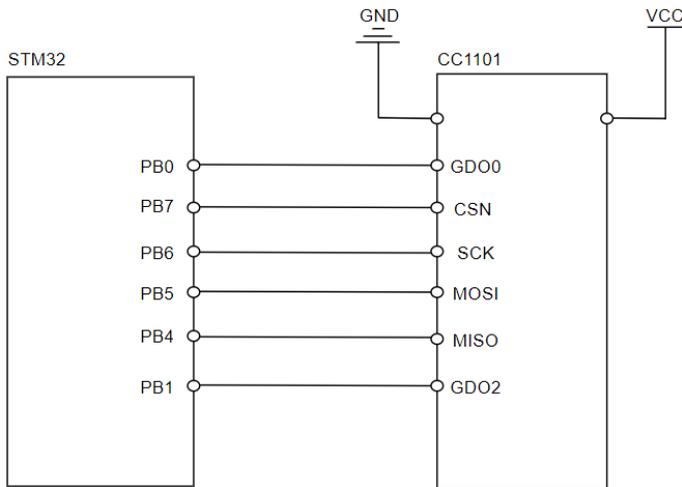


Рис. Схема соединений радиомодуля и микроконтроллера

В левой части рисунка представлен микроконтроллер STM, в правой приемопередатчик.

Зададим настройки аппаратного блока SPI, опираясь на объемы трафика, генерируемого GPS-модулем. Установим следующие параметры:

- скорость передачи данных – 3 МГц (при максимально поддерживаемых CC1101 9 МГц),
- формат фрейма – 8 бит,
- СРНА (фаза сигнала SCLK по отношению к сигнальным данным) – выборка данных производится по переднему фронту сигнала синхронизации,
- CPOL (полярность сигнала SCLK по отношению к сигнальным данным) – высокий уровень в режиме ожидания.

Для программирования микроконтроллера STM используется среда STM32CubeIDE, которая позволяет производить начальную конфигурацию при помощи графического интерфейса и предоставляет набор библиотек HAL (Hardware Abstraction Level) для работы с микроконтроллером.

После генерации дополнительно создается обработчик прерываний, он играет важную роль в коде проекта. Само по себе прерывание является событием, связанным с каким-либо периферийным блоком. Благодаря прерываниям будет реализована функция приема и передачи данных.

В описываемом проекте по нисходящему фронту пина GDOx (x в зависимости от настройки) происходит индикация окончания приема или передачи пакета в связи с чем возникает асинхронное (внешнее) прерывание.

Для осуществления коммуникации между микроконтроллером и радиомодулем разработан драйвер. Это подпрограмма, исполняемая во флеш-памяти микроконтроллера, выполняющая команды, которые обращаются к аппаратным периферийным блокам микроконтроллера и связывается с приемопередатчиком радиосигнала согласно набору команд, определенных производителем. Драйвер реализует такие функции CC1101, как:

- запись настроек в память приемопередатчика;
- чтение и запись буферов FIFO для приема и передачи данных;
- смена режимов работы устройства (переход в режимы приема и передачи данных, сна, пониженного энергопотребления);
- обработка ошибок.

При выборе настроек радиоканала принято решение использовать ширину канала в 100 кГц. Также сделан выбор модуляции в пользу GFSK (Gaussian Frequency-Shift Keying). Модуляция GFSK является видом частотной манипуляции. Вместо того чтобы напрямую модулировать частоту с помощью цифровых символов данных, «мгновенно» изменяя частоту в начале каждого периода символа, Гауссовская частотная манипуляция фильтрует импульсы данных при помощи фильтра, благодаря этому удается сделать переходы более плавными, ограничивая тем самым спектральную ширину.

Для взаимодействия приемопередатчика и микроконтроллера применяются регистры, представляющие собой блоки памяти с адресом. Классифицируют регистры по назначению: специальные и общие. А также по типу доступа к ячейкам: чтение, запись, чтение и запись. Изменением регистров осуществляется настройка и управление теми или иными параметрами микроконтроллера и периферии. В качестве примера рассмотрим задание настроек частоты описанных ранее. Параметр частоты высчитывается по формуле:

$$f_{carrier} = \frac{f_{xosc}}{2^{16}} \cdot FREQ2 \cdot FREQ1 \cdot FREQ0. \quad (1)$$

При этом показатель частоты кристалла  $f_{xosc}$ , который задается кварцевым резонатором, в нашем случае постоянный и равен 26 МГц. Формат модуляции в нашем случае также величина постоянная и равна 2. Таким образом, для настройки радиомодуля на 433 МГц, необходимо произвести запись следующих значений регистров из микроконтроллера в приемопередатчик:

$$FREQ2=0\cdot10, FREQ1=0\cdot A7, FREQ0=0\cdot62.$$

Другие настройки, такие как ширина канала и модуляция, также задаются благодаря регистрам. Их адресация описана в технической документации производителя.

Таким образом, в рамках проделанной работы: удалось познакомиться с интерфейсом SPI, произвести настройку одного из ключевых элементов системы, позволяющему осуществить транспортную функцию между ошейником и устройством мониторинга. Дальнейшими целями проекта является доработка программной части системы и разработка мобильного приложения для представления данных в удобном для пользователя формате.

## Библиографический список

1. CC1101 Low-Power Sub-1 GHz RF Transceiver User's Guide. – Texas Instruments. – 2020.
2. STM32 Учебный курс [Электронный ресурс]. – URL: easyelectronics.ru (дата обращения: 20.12.2020).
3. Trevor Martin, Michael Beach. The Insider's Guide to the STM32 ARM Based Microcontroller. – Hitex, 2008. – 90 p.
4. Системы позиционирования и мониторинга [Электронный ресурс]. – URL: <http://lib.tssonline.ru/> (дата обращения: 22.12.2020).
5. SPI STM32 [Электронный ресурс]. – URL: [https:// hubstub.ru/](https://hubstub.ru/) (дата обращения: 23.12.2020).

## Сведения об авторах

**Чухланцев Константин Николаевич** – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: [chyhlancevkostya@yandex.ru](mailto:chyhlancevkostya@yandex.ru)

**Тюрин Сергей Александрович** – старший преподаватель кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: [tiurinsa@yandex.ru](mailto:tiurinsa@yandex.ru)

## About the authors

**Chukhlantsev Konstantin Nikolaevich** – Master's Student of the Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: [chyhlancevkostya@yandex.ru](mailto:chyhlancevkostya@yandex.ru)

**Tyurin Sergey Aleksandrovich** – Senior Lecturer of the Department of Automation and Telemechanics Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: [tiurinsa@yandex.ru](mailto:tiurinsa@yandex.ru)

## ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЗА СЧЕТ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ОТКАЗОВ

**И.В. Бурдышев**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

В сферах с повышенным требованием безопасности задачи повышения надежности актуальны. Часто в таких сферах надежность достигается за счет резервирования вычислительных каналов. Методы резервирования применяются различные и имеют различную избыточность и соответственно, стоимость. Такие ограничения, как, например, стоимость, подталкивают разработчиков находить оптимальные решения. Поэтому широкое распространение получили задачи оптимизации. Предлагается оптимальное перераспределение интенсивности отказов между резервированными блоками, которое способствует оптимальному выигрышу в надежности.

**Ключевые слова:** надежность; резервирование; проблемы распределения избыточности; интенсивность отказов.

## INCREASING RELIABILITY BY REALLOCATING THE FAILURE RATES

**I.V. Burdyshev**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

In areas with increased safety requirements, the tasks of increasing reliability are relevant. Often in such areas, it is achieved through redundant computing channels. Redundancy methods are used in different ways and have different redundancy and, accordingly, cost. Constraints such as cost push developers to find optimal solutions. Therefore, optimization problems have become widespread. An optimal redistribution of the failure rate between redundant blocks is proposed, which contributes to the optimal gain in reliability.

**Keywords:** reliability; redundancy; redundancy allocation problem; failure rate.

Одним из свойств, которыми характеризуются технические средства, является надежность (Reliability). Данное свойство определяется как способность объекта сохранять работоспособность, выполняя требуемые функции в пределах определенного времени [1]. Надежность может обеспечиваться отказоустойчивостью [2]. Отказоустойчивость достигается за счет введения избыточности в систему

(увеличивается стоимость, вес, габариты и пр.) и может быть обеспечена с помощью резервирования (Redundancy). Наиболее распространено структурное резервирование, подразумевающее введение дополнительных элементов. Оно широко применяется там, где существуют высокие требования безопасности. [3]. Помимо методов резервирования для повышения надежности применяют методы снижения интенсивности отказов [4]. Далее рассмотрим основные методы структурного резервирования.

**Методы структурного резервирования.** Широкое распространение имеют методы мажоритарного резервирования, в которых достоверность результата определяется по принципу большинства. Наибольшее распространение получило тройное модульное резервирование (triple modular redundancy, TMR) – выбор 2 из 3 [5]. Помимо данного метода, существуют методы мажоритирования с выбором 3 из 5, 4 из 7 и т. д. Для оценки надежности часто используют вероятность безотказной работы [6]. В общем случае для мажоритарных схем, с нечетным числом каналов, он будет равен (1):

$$P(t) = (e^{-\lambda t})^{2n-1} + \sum_{i=1}^{2n-1} \left\{ C_{2n-1}^i \left[ (e^{-\lambda t})^{2n-1-i} (1 - e^{-\lambda t})^i \right] \right\}, \quad (1)$$

где  $\lambda$  – интенсивность отказов элемента,  $n$  – параметр избыточности.

Существенно повышает надежность глубокое мажоритирование. В данном случае каналы делятся на несколько частей. Глубокое мажоритирование существенно повышает надежность, но при этом требуется более сложная аппаратура, стоимость системы увеличивается [6]. Вероятность безотказной работы (2):

$$P(t) = \left[ 3e^{-\frac{2\lambda}{k}t} - 2e^{-\frac{3\lambda}{k}t} \right]^k, \quad (2)$$

где  $k$  – число частей.

В отличие от методов мажоритарного резервирования, при резервировании замещением резервные элементы не задействованы в случае исправности основного элементы [3]. Это так называемый ненагруженный вид резервирования (3):

$$P(t) = 1 - (1 - e^{-\lambda t})^k. \quad (3)$$

Еще одним видом резервирования является транзисторное расчленение. При расчленении требуется большей избыточности, чем при мажоритировании. Паруется один отказ или сбой в одном из четырех элементов, которыми могут быть и КМОП транзисторы и каналы [6, 7]. Вероятность безотказной работы равна (4):

$$P(t) = \left[ e^{-4n\lambda t} + 4e^{-3n\lambda t} (1 - e^{-n\lambda t}) \right]^n. \quad (4)$$

Также активно развиваются методы селективного резервирования. Обеспечиваются полным резервированием лишь те части, которые наиболее подвержены отказам и являются наиболее значимыми для функционирования системы. Одним из таких методов является Selective TMR [8, 9]. Другой метод – Approximate Triple Modular Redundancy (ATMR) [10, 11]. При ATMR используются аппроксимированные логические схемы для создания резервных каналов.

Проблема повышения надежности путем структурного резервирования заключается в ограничениях избыточности, таких как стоимость, вес, габариты, производительность и т.д. Поэтому требуется нахождение оптимального решения. Широкое распространение получают задачи оптимизации (Reliability redundancy allocation problem (RRAP)) [12, 13]. Представляем задачу перераспределения интенсивности отказов с целью повышения надежности всей системы.

**Постановка задачи.** Есть система, которая состоит из  $n$  четного числа подсистем, соединенных последовательно. Надежность системы равна (5):

$$P_C(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t). \quad (5)$$

Каждая подсистема может быть резервирована. Нам известно какую часть функций можно снять с одной подсистемы и перенести в другую. Знаем также, с какой надежностью она будет выполняться в той или иной подсистеме. Матрица коэффициентов, определяющих вес переносимых функций из одной подсистемы в другой, имеет вид (6):

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1j} \\ a_{21} & \cdots & a_{2j} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{i1} & a_{i2} & \cdots & a_{nj} \end{pmatrix}, \quad (6)$$

где  $i$  – номер подсистемы, с которой снимается часть функций,  $j$  – подсистемы, в которые эти функции перераспределяются.

Перераспределение части функций из одной подсистемы в другую будет производиться с помощью выражения (7):

$$\lambda_j = A \cdot \lambda_i. \quad (7)$$

Таким образом, нужно найти пары подсистем, между которыми производится перераспределение этих функций, с целью увеличения надежности всей системы.

**Оптимизация.** Оптимизация связана с поиском экстремума математической функции. В данном случае это вероятность безотказной работы, которую необходимо увеличить. В качестве детерминированного алгоритма был применен метод обобщенного приведенного градиента, посредством пакета Microsoft Excel. В табл. 1, 2 представлен пример оптимизации системы с мажоритарным резервированием подсистем.

Таблица 1

Исходные данные для TMR

Номер подсистемы	$\lambda, 1/h \cdot 10^{-5}$
1	0,055
2	0,071
3	0,035
4	0,03
5	0,047
6	0,062

Таблица 2

Результаты оптимизации для TMR

Пары	Подсистема $i$	Подсистема $j$	$P_{in}(t)$	$P_{out}(t)$
1	1	4	0,956	0,961
2	6	3		
3	2	5		

Как видно из табл. 2, найдены пары подсистем, между которыми производится перераспределение части функций. На рисунке представлены результаты оптимизации для схем с резервированием за-мещением, 2 из 3, 3 из 5, с глубоким мажоритированием, транзистор-ным расчетверением и со смешанным резервированием.

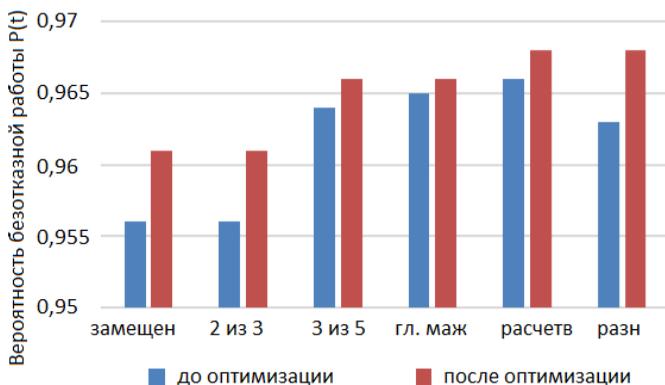


Рис. Результаты оптимизации

**Заключение.** Таким образом, повышение надежности возможно добиться благодаря грамотному распределению интенсивности отказов, то есть задач между разными подсистемами, что может дать выигрыш в стоимости и других показателях. Также возможно дальнейшее применение данной методики с целью выигрыша во времени работы подсистем, токовой нагрузки и других показателей.

### Библиографический список

- ГОСТ 27.002–2015. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – Введ. 2017–03–01. – М.: Старнартинформ, 2016. – 23 с.
- Avizienis A, Fault-Tolerant Systems // IEEE transactions on computers. – 1976. – Vol., № 12. – P. 25.
- Тюрин С.Ф. Надёжность систем автоматизации: учеб. пособие / Перм. нац. исслед. политехн. ун-т. – Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2012. – 262 с.
- Черкесов Г.Н. Надежность аппаратно-программных комплексов: учебное пособие. – СПб.: Питер, 2005. – 479 с.
- Тюрин С.Ф. Обеспечение надежности технических средств путем их троирования и расчетверения // Надежность. – 2019. – Т. 19, № 1. – С. 4–9.
- Тюрин С.Ф. Ланцов В.М. Дискретная математика & математическая логика / Перм. нац. ис-след. политехн. ун-т. – Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2013. – 271 с.

7. Анализ методов обеспечения пассивной отказоустойчивости цифровых устройств и систем / С.Ф. Тюрин, А.В. Греков, О.А. Громов, А.В. Греков, А.А. Сулейманов // Вестник ПГТУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2011. – № 5. – С. 143–153.

8. Design of approximate-TMR using approximate library and heuristic approaches / I. Albandes, A. Serrano-Cases, M. Martins, A. Martínez-Álvarez, S. Cuenca-Asensi, F.L. Kastensmidt // Microelectron. Reliab. – 2018. – Vol. 88. – P. 898–902.

9. Input Vulnerability-Aware Approximate Triple Modular Redundancy: Higher Fault Coverage, Improved Search Space, and Reduced Area Overhead / T. Arifeen, A.S. Hassan, H. Moradian, J.A. Lee // Electron. Lett. – 2018. – Vol. 54. – P. 934–936.

10. Sánchez-Clemente A.J., Entrena L., García-Valderas M. Partial TMR in FPGAs using approximate logic circuits // IEEE Trans. Nucl. Sci. – 2016. – Vol. 63. – P. 2233–2240.

11. Polian I., Hayes J.P. Selective hardening: Toward cost-effective error tolerance // IEEE Des. Test Comput. – 2011. – Vol. 28. – P. 54–63.

12. Chern M.S. On the computational complexity of reliability redundancy allocation in a series system // Operations research letters. – 1992. – Vol. 11(5). – P. 309–315.

13. Bulfin R., Liu C.Y. Optimal allocation of redundant components for large systems // Reliability IEEE Transactions. – 1985. – Vol. 34(3). – P. 241–247.

### **Сведения об авторе**

**Бурдышев Иван Васильевич** – аспирант кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: iburdyshev@mail.ru

### **Aboutn the author**

**Burdyshev Ivan Vasilievich** – Graduate Student of the Department of Automation and Telemechanics Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: iburdyshev@mail.ru

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Секция 1. НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ .....</b>	<b>3</b>
<b>Иванов К.А., Тарутин А.В.</b> Основные аспекты работы с инструментом для визуального проектирования баз данных MySQL Workbench .....	4
<b>Булгаков О.С., Ковалевский В.Н.</b> Анализ процесса оценки стоимости номеров сети гостиниц на базе математического моделирования .....	10
<b>Исаев А.А., Исаева В.Э., Тарутин А.В.</b> Особенности применения автоматизированного модуля видеоаналитики на предприятии .....	17
<b>Бедарев А.В., Тарутин А.В.</b> Методы и средства защиты информации в автоматизированных системах .....	22
<b>Быкова В.В., Белинская Н.С.</b> Математическое моделирование процесса конверсии попутного нефтяного газа в жидкие углеводороды .....	28
<b>Кинёв И.Е., Тарутин А.В., Яруллин Д.В.</b> Исследование технологий создания инфраструктуры веб-сайта .....	32
<b>Субботин А.С., Петренко А.А., Тарутин А.В.</b> Исследование голосовых управлений под платформу Android для ТВ-приставки .....	37
<b>Кручинин Д.С., Гончаровский О.В.</b> Локализация автономного мобильного робота с помощью монокулярной камеры .....	43
<b>Матус Е.В., Самосюк Н.А.</b> Особенности теплоснабжения потребителей Республики Беларусь .....	48
<b>Карасик Н.Я., Колбасова Г.С., Гришковец О.В.</b> Применение инновационных технологий в подготовке радиотелеграфистов .....	55
<b>Лаптев Н.В., Лаптев В.В.</b> Обнаружение пожароопасных участков на кадрах видеоряда посредством классификации .....	62
<b>Шушарина И.С.</b> Особенности пиксельной графики .....	69
<b>Жевакин Д.М., Широбокова С.Н.</b> Инструментарий FindProfession для информационной поддержки принятия решений по выбору профессии и места трудоустройства .....	75

<b>Борзунов Г.И., Новикова П.А.</b> Использование современных компьютерных технологий для решения задачи оптимального раскроя при реализации дизайн-проектов из трубчатых элементов .....	83
<b>Трусов А.В., Минтагиров Д.И.</b> Концептуальная модель информационно-аналитической системы поддержки потребностей организаций ТЭК в импортозамещающей продукции .....	91
<b>Трусов А.В., Елисеев Д.В.</b> Формирование системы классификации информационных объектов (объектов техники) в базе данных «Технологии и проекты импортозамещения» .....	96
<b>Трусов В.А., Ветрова В.Д.</b> Обоснование выбора критериев ранжирования объектов техники и технологий, возможных к применению в отраслях ТЭК .....	101
<b>Миннахметов Э.Ю.</b> Проектирование архитектуры программного обеспечения на примере калькулятора логических выражений .....	108
<b>Бетелев В.К.</b> Разработка мобильного приложения для навигации в здании 3D .....	113
<b>Борзунов Г.И., Николаева Е.А., Ничуразова А.А., Степаненко М.Ю.</b> Информационная система помощи людям с ограничениями зрения .....	117
<b>Никитин М.С., Никитина К.А.</b> Моделирование реализаций элемента Фредкина на основе LUT FPGA .....	124
<b>Парфёнов Д.И., Лохачева К.А.</b> Исследование качества классификации коротких слабоструктурированных текстов .....	131
<b>Секция 2. АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ</b> .....	137
<b>Еремян Г.А.</b> Создание синтетической модели залежи углеводородов для изучения эффективности целевой функции при автоадаптации .....	138
<b>Еремян Г.А.</b> Анализ подходов к выбору целевой функции для автоматизированной адаптации моделей месторождений углеводородов .....	144

<b>Рассаднев Э.С., Осипенко А.А.</b> Автоматизация и управление технологическими процессами в энергетике .....	150
<b>Яцкевич К.И., Манцерова Т.Ф.</b> Организация ремонта теплотехнического оборудования .....	154
<b>Шевкунова А.В.</b> Использование LTSPICE для построения характеристик биполярного транзистора (BJT) .....	161
<b>Алибаев Р.Р., Худяков П.Ю.</b> Создание единой автоматизированной системы оперативно-диспетчерского управления подземным рудником .....	168
<b>Перов Р.Е., Годунов М.В.</b> Исследование надежности печатающих узлов струйных принтеров .....	172
<b>Марьян М.А.</b> Автоматизация мельниц помола длинного волокна .....	176
<b>Костенков В.С., Данилов В.В., Тимошенко Н.А.</b> Особенности построения информационных систем в контексте проверки подлинности документов .....	182
<b>Носов Н.Н., Зеров В.Н.</b> Симуляция работы зарядного устройства на базе микроконтроллера в Proteus VSM .....	190
<b>Бараков В.В., Резанов К.С.</b> Компьютерное моделирование распространения волны давления при возникновении утечки или несанкционированной врезки в нефтепроводе .....	196
<b>Смирнов Н.В., Трифонов А.С.</b> Влияние присутствия нескольких классов объектов на результаты классификации изображений сверточными нейронными сетями .....	202
<b>Гайнутдинов В.Р.</b> Концепция автоматизированной системы оперативного диспетчерского контроля и управления сырьевыми потоками на примере обогатительной фабрики АО «Святогор» .....	208
<b>Сосунов В.В.</b> Модернизация электропривода дисковых ножниц продольной резки ленты из меди и ее сплавов .....	214
<b>Карпов А.Ю., Феденёв А.Ю.</b> Концепция стабилизации продукта разгрузки сгустителя .....	219
<b>Жужгов Н.В., Шутемов С.В.</b> Исследование синхронного пуска синхронного двигателя при изменении параметров двигателя и источника питания .....	225
<b>Худяков П.Ю., Бикиев Р.Р.</b> Автоматический контроль перемещения производственной продукции .....	232

<b>Останина А.Е., Широков А.А.</b> Методика проведения технической диагностики штангового глубинного насоса на основе интеллектуального анализа спектра вибрации .....	238
<b>Шилоносков А.С., Гиндис Ф.Е., Шутемов С.В., Кавалеров Б.В.</b> Использование линейных электродвигателей в мехатронных устройствах .....	243
<b>Азмамбетов Э.А.</b> Автоматизация процесса измерения глубины скважин .....	253
<b>Жернаков А.Б., Коган Д.А., Семенов Е.Д.</b> Роботизированная автоматизация вспомогательных процессов предприятий радиоэлектронной промышленности РФ в условиях пандемии .....	256
<b>Серебрянников А.А.</b> Разработка предиктивной модели для снижения аварийности установок электроцентробежных насосов .....	264
<b>Иванов Г.О., Опутин Н.Е., Игнатъев П.Н., Утин А.А.</b> Автоматизация распределения заявок вызова автомобилей скорой помощи .....	269
<b>Сивцов А.В., Щекочихин А.В.</b> Реконструкция подстанции ....	277
<b>Гудкова Е.А., Арасланов Р.Д., Вялых И.А.</b> Проектирование стенда расходомерии .....	282
<b>Старцев Е.А., Кавалеров Б.В.</b> Виртуальные электростанции для интеллектуализации управления газотурбинными генерирующими модулями .....	287
<b>Мичков Д.М., Козицына М.В.</b> Обзор основных тенденций развития кабельной продукции и оборудования, используемого при производстве .....	296
<b>Козаченко В.Б., Кленов М.А., Золотухина Е.В.</b> Анализ параметров качества электроэнергии потребителя с применением комплекса АСКУЭ для оптимизации системы электроснабжения .....	302
<b>Абашев Д.Р., Чабанова Е.В., Чабанов Е.А.</b> Повышение безопасности на пассажирских судах – внедрение новых систем контроля .....	308
<b>Секция 3. ИННОВАЦИОННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ. ЭНЕРГОРЕСУРСΟΣБЕРЕЖЕНИЕ ....</b>	317
<b>Мальцев И.А.</b> Автономная система электроснабжения для индивидуальных потребителей северо-западной части Пермского края (район пос. Усть-Черная) .....	318

<b>Сугаков В.Г., Варламов Н.С., Малышев Ю.С.</b> Оценка качества выходного напряжения бестрансформаторного непосредственного преобразователя частоты при изменении амплитуды эталонного напряжения .....	325
<b>Шестаков Р.А., Бобков И.А.</b> Выносное сооружение налива СПГ .....	334
<b>Пырма А.Е.</b> «Зеленые» инновационные технологии как перспективное направление в энергетике .....	340
<b>Лапыкина А.А.</b> Перспективы развития технологий утилизации буровых отходов в нефтегазодобывающей промышленности .....	346
<b>Мостовенко Л.В., Рыжникова Е.А., Белоглазов В.П., Тоцких П.М.</b> Исследование газодинамических характеристик запыленного потока .....	351
<b>Арютина Е.А., Васильченков Н.В., Демидов А.А.</b> Распределенная генерация в России .....	362
<b>Ведерников Д.А., Килин Г.А.</b> Математическая модель датчика дублированного бесконтактного синусно-косинусного трансформатора для входного направляющего аппарата газотурбинной электростанции .....	367
<b>Бойко А.М.</b> Разработка геофизического прибора нейтронного каротажа с аппаратурой для возбуждения и остановки реакции синтеза .....	377
<b>Лесюкова В.В., Лыпченко Д.А.</b> Перспективы перехода белорусской гражданской авиации на водородное топливо .....	382
<b>Велитченко М.Н., Куган Д.А.</b> Применение вторичных ресурсов в энергетике .....	388
<b>Шилов Н.А., Конев К.А., Лейзгольд К.А.</b> Гибридная установка для производства электроэнергии .....	392
<b>Макулов Д.Р., Уланов В.В., Шестаков Р.А.</b> Исследование режима работы нефтепродуктопровода при периодических откачках на промежуточной перекачивающей станции .....	398
<b>Сажин И.Ю., Чабанов Е.А.</b> Эффект Зеебека и его применение .....	404
<b>Щербинин А.Г., Лукоянов Р.П.</b> Численные исследования нормальных и тангенциальных составляющих электрического поля в пропитанной бумажно-пластиковой изоляции кабелей с секторными жилами на напряжение 20 кВ .....	411

<b>Самосюк Н.А., Царик О.Г.</b> Энергетический менеджмент как инструмент энергосбережения на предприятиях торфяной промышленности .....	418
<b>Секция 4. ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ. ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ .....</b>	425
<b>Исаева В.Э., Шабуров А.С.</b> Анализ рисков объекта критической информационной инфраструктуры, агрегированных по угрозам или последствиям .....	426
<b>Шлыков А.И., Шабуров А.С.</b> Разработка модели оценки оперативной эффективности системы защиты информации коммерческих предприятий .....	433
<b>Кокоулин А.Н., Ахматшин А.Р.</b> Перспективы развития криптопровайдеров .....	439
<b>Маро Е.А.</b> Алгебраический анализ симметричного блочного шифра MISTY1 .....	442
<b>Корелов С.В., Петров А.М., Ротков Л.Ю., Горбунов А.А.</b> Комбинирование значений параметра модели электронных писем .....	448
<b>Данилов Е.В., Вакилов А.М.</b> Реализация USB-токена двухфакторной аутентификации U2F на микроконтроллере .....	456
<b>Логонова А.О.</b> Анализ существующих подходов к классификации и типологии ботов .....	462
<b>Каменских А.Н., Наборщиков В.Г.</b> Анализ структурно-функциональных моделей криптографических процессоров для систем «Интернета вещей» .....	468
<b>Тур А.И., Филимонов К.В.</b> Анализ эффективности криптографического алгоритма ChaCha для защищенной передачи данных для микроконтроллера ESP8266 .....	474
<b>Кочев М.А., Тюрин С.Ф.</b> Трекер для соревнований по спортивному ориентированию .....	478
<b>Чухланцев К.Н., Тюрин С.А.</b> Реализация канала связи между навигатором и ошейником для охотничьих собак .....	483
<b>Бурдышев И.В.</b> Повышение надежности за счет перераспределения интенсивности отказов .....	488

Научное издание

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

Материалы XII Международной  
интернет-конференции молодых ученых,  
аспирантов, студентов  
(16 ноября – 31 декабря 2020 г.)

Корректор *М.Н. Афанасьева*

---

Подписано в печать 11.08.2021.  
Формат 60×90/16. Усл. печ. л. 31,25.  
Тираж 100 экз. Заказ 163/2021.

---

Издательство  
Пермского национального исследовательского  
политехнического университета.  
Адрес: 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, к. 113.  
Тел. (342) 219-80-33.