

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Сибирский государственный индустриальный университет»  
Администрация Правительства Кузбасса  
Администрация г. Новокузнецка  
Институт проблем управления им. Трапезникова РАН  
Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН  
АНО «Научно-образовательный центр «Кузбасс»**

**СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ  
(в образовании, науке и производстве)  
AS' 2022**

**ТРУДЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО–ПРАКТИЧЕСКОЙ  
КОНФЕРЕНЦИИ  
(с международным участием)**

**15-16 декабря 2022 г.**

**Новокузнецк  
2022**

**УДК 658.011.56**  
**С 409**

Редакционная коллегия:

д.т.н., проф. В.В. Зимин (ответственный редактор),  
д.т.н., проф. С.М. Кулаков, д.т.н., проф. В.Ю. Островлянчик,  
д.т.н., проф. Л.Д. Павлова, д.т.н., доц. И.А. Рыбенко,  
к.т.н., доц. В.И. Кожемяченко (технический редактор).

**С 409** Системы автоматизации (в образовании, науке и производстве) AS'2022: труды Всероссийской научно–практической конференции (с международным участием), 15-16 декабря 2022 г. / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Сибирский государственный индустриальный университет ; под общ. ред. В.В. Зимина. – Новокузнецк : Издательский центр СибГИУ, 2022. – 632 с.

ISBN 978-5-7806-0583-6

Труды конференции посвящены научным и практическим вопросам в области современных систем автоматизации и информатизации учебных, исследовательских и производственных процессов. Представлены результаты исследования, разработки и внедрения методического, математического, программного, технического и организационного обеспечения систем автоматизации и информационно-управляющих систем в различных сферах деятельности.

Сборник трудов ориентирован на широкий круг исследователей, научных работников, инженерно-технический персонал предприятий и научно-исследовательских лабораторий, преподавателей вузов, аспирантов и обучающихся по программам бакалавриата и магистратуры.

**УДК 658.011.56**

© Сибирский государственный  
индустриальный университет, 2022

### ИНТЕГРИРОВАННАЯ АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННО-МОДЕЛИРУЮЩАЯ СИСТЕМА АНАЛИЗА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ КОМПЛЕКСА ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ

Спирин Н.А.<sup>1</sup>, Лавров В.В.<sup>1</sup>, Павлов А.В.<sup>2</sup>, Гурин И.А.<sup>1</sup>, Федотов Г.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

г. Екатеринбург, Россия, n.a.spirin@urfu.ru; v.v.lavrov@urfu.ru, ivan.gurin@urfu.ru

<sup>2</sup>ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат»

г. Магнитогорск, Россия, Pavlov.av@mmk.ru

**Аннотация.** Представлена архитектура системы анализа и прогнозирования производственных ситуаций доменного цеха (АИС АППС ДЦ), реализованная в промышленности. Для повышения эффективности доменного производства представлена структура и архитектура разрабатываемой интегрированной автоматизированной информационно-моделирующей системы анализа и прогнозирования параметров работы комплекса доменных печей, которая является дальнейшим развитием существующей АИС АППС ДЦ. Внедрение такой системы обеспечит повышение оперативности, достоверности и глубины анализа показателей работы доменной плавки отдельных печей и их комплексов на основе использования обработки первичной технологической информации, оценки ее достоверности, математических моделей и экспертных систем доменного производства.

**Ключевые слова:** доменное производство, система анализа и прогнозирования производственных ситуаций, компьютерная система поддержки принятия решений.

**Abstract.** The architecture of the system of analysis and forecasting of production situations of the blast furnace shop, implemented in industry, is presented. To increase the efficiency of blast furnace production, the structure and architecture of the integrated automated information modeling system for analyzing and predicting the parameters of the blast furnace complex, which is a further development of the existing AIS is presented. The introduction of such a system will ensure an increase in the efficiency, reliability, and depth of analysis of the performance of blast furnace melting of individual furnaces and their complexes based on the use of processing of primary technological information, evaluation of its reliability, mathematical models, and expert systems of blast furnace production.

**Keywords:** blast furnace production, system of analysis and forecasting of production situations, computer decision support system.

Сегодня многие ведущие металлургические компании России объявили о реализации концепции «Индустрия 4.0». Предприятие, подписавшееся на реализацию концепции «Индустрия 4.0», с точки зрения автоматизации, должно сменить подходы к проектированию и реализации информационных систем [1-8]. По сути, при проектировании и реализации системы речь должна идти о создании «цифрового двойника» объекта и бизнес-процессов, а система автоматизации должна рассматриваться как часть единого информационного пространства предприятия. Такой подход позволит, со временем, создать единую информационную основу для реализации комплекса задач, направленных на оптимизацию и повышение эффективности работы как отдельных агрегатов, цехов, производств, так и предприятия в целом.

Для повышения эффективности доменного производства разрабатывается интегрированная автоматизированная информационно-моделирующая система анализа и прогнозирования параметров работы комплекса доменных печей (ИАИС АППР КДП). Она является дальнейшим развитием существующей автоматизированной системы анализа и прогнозирования производственных ситуаций доменного цеха АИС АППС ДЦ ММК-УрФУ, разработанной ранее [9]. Использование разработанной системы в практике анализа доменной плавки основано, в основном, на формализованных методах обработки

информации и использовании расчётных блоков математических моделей. Такой подход к созданию и эксплуатации информационных систем выявил следующие особенности:

1. необходимость сочетания формализованных методов обработки и сопоставления показателей с неформальными приемами, учитывающими недостаточную полноту и однозначность исходной информации, а также отсутствие реально работающих полных аналитических математических моделей доменного процесса. Такое сочетание является неотъемлемым методом системного анализа сложных распределенных технологических процессов в металлургии;
2. перспективным для решения рассматриваемых задач оказался натурно-модельный подход [10]. Согласно этому подходу, модель доменной печи условно можно разделить на две части – модель базового состояния и прогнозирующую модель. Модель базового (эталонного) состояния позволяет оценивать состояние доменного процесса по фактическим усреднённым показателям за базовый (эталонный) период работы печи. Базовый период (аналог-стандарт) – служит базой сравнения при анализе и обобщении фактических показателей работы отдельных доменных печей и заводов. Информация о базовом периоде необходима для адаптации математической модели к реальным условиям работы печи и настройки модели. Прогнозирующая же модель с использованием результатов, полученных с помощью модели базового (эталонного) состояния, позволяет оценить показатели доменного процесса в случае изменения видов и свойств железорудного сырья, флюсов, дутьевых параметров;
3. используемый подход позволил построить математическую модель доменного процесса, предназначенную для решения сформулированных выше задач и обладающую свойствами адаптируемости структуры вычислений к конкретной технологической задаче с учётом существующей системы сбора информации и помехозащищённостью, то есть возможность получения достоверных оценок прогнозного изменения параметров работы печи по зашумлённой информации;
4. как показал анализ практического опыта, для реализации АИС АППС ДЦ целесообразно построение подсистемы анализа, основанной на алгоритмах информационно-поискового анализа и оперативной аналитической обработки данных OLAP.

Разработанная ранее архитектура построения подсистемы анализа АИС АППС ДЦ представлена на рисунке 1.

Целью создания ИАИС АППР КДП является повышение оперативности, достоверности и глубины анализа показателей работы отдельных доменных печей и их комплексов на основе использования обработки первичной технологической информации, оценки ее достоверности, математических моделей и экспертных систем доменного процесса. В результате планируется создание интегрированной автоматизированной системы анализа параметров работы отдельных доменных печей и их комплекса.

1. Предусмотрено дальнейшее развитие и использование современных возможностей модельных систем оценки теплового, газодинамического и шлакового режимов доменной плавки, диагностики работы доменных печей и прогнозирования технологических ситуаций с учетом накопленного опыта.
2. Планируется создание интегрированных интеллектуальных компьютерных систем анализа работы как доменной печи, так и комплексом доменных печей, цеха в целом за любой заданный пользователем период.
3. Использование современных принципов и соответствующего математического, алгоритмического, программного обеспечения с использованием web-технологии и интеграция его в корпоративную сеть металлургического предприятия.
4. Дальнейшее развитие и использование современных методов оценки достоверности первичной информации о параметрах доменной плавки.

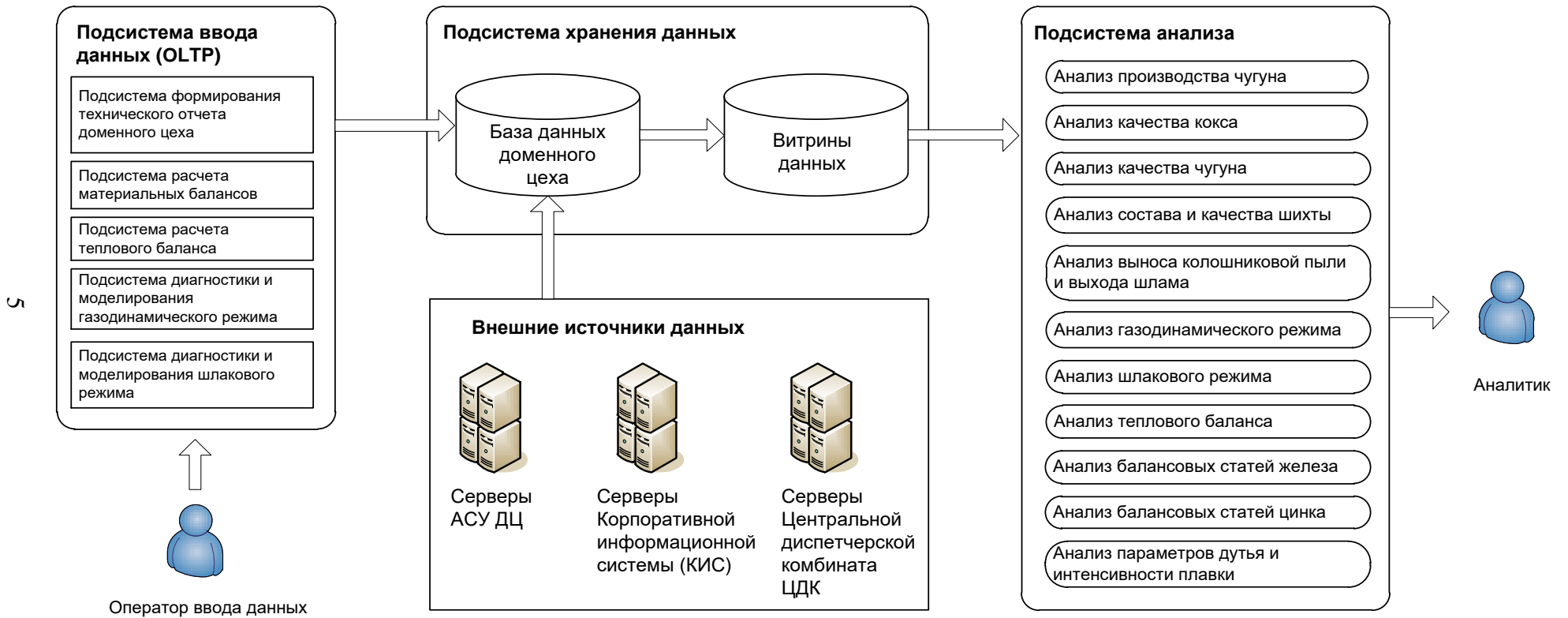


Рисунок 1 – Архитектура подсистемы анализа АИС АППС ДЦ

5. С целью сокращения затрат на проектирование и разработку вместо ХД было принято решение использовать витрины данных (ВД). ВД – это упрощённый вариант ХД, содержащий только тематически объединённые данные. ВД содержит данные, ориентированные на конкретного пользователя, существенно меньше по объёму, и для её реализации требуется меньше затрат. В общем случае ВД могут строиться как самостоятельно, так и вместе с централизованной СУБД. База данных доменного цеха в этом случае представляет собой единый источник данных для всей предметной области, а витрины данных являются подмножествами данных из базы данных, организованными для представления информации по тематическим разделам данной области. Достоинствами такого решения являются простота создания и наполнения ВД, поскольку наполнение происходит из единого стандартизированного источника данных, простота расширения за счёт добавления новых витрин данных, а также снижение нагрузки на базу данных доменного цеха.

Общая архитектура ИАИС АППР КДП представлена на рисунке 2 и включает следующие дополнительные (блоки) за любое заданное количество анализируемых периодов.

*Программный модуль включает следующие возможности:*

1. выбор периодов работы с помощью календаря (продолжительность периода час, смена, сутки, неделя, месяц. Периоды могут пересекаться);
2. выбор одной или нескольких доменных печей, для которых выполняется расчет.

*В целом по цеху (группе доменных печей):*

1. профили доменных печей и их конструктивные параметры;
2. основные технико-экономические и технологические показатели работы доменного цеха;
3. химические составы шихтовых материалов, используемых в доменном цехе;
4. контролируемые и расчетные параметры шихты и жидких продуктов плавки;
5. кокс и его свойства. Технический анализ кокса. Показатели качества кокса;
6. расход кокса и его заменителей в рассматриваемые периоды;
7. показатели качества чугуна и шлакового режима;
8. пофакторный анализ влияния технологических параметров на производство цеха и удельный расход кокса для рассматриваемых периодов. Расчет приведенных показателей доменной плавки.

*Для отдельных доменных печей и по цеху в целом (группе доменных печей):*

1. основные технико-экономические и технологические показатели работы отдельных доменных печей;
2. дутьевой и газодинамический режимы доменных печей:
  - исходные данные для определения дутьевых и газодинамических параметров плавки;
  - комплекс расчетных параметров, характеризующих дутьевой и газодинамических параметров плавки;
3. тепловой режим доменных печей:
  - исходные данные для оценки теплового режима работы доменных печей;
  - комплекс расчетных параметров, характеризующих тепловой режим доменной плавки;
4. шлаковый режим доменных печей:
  - исходные данные для оценки шлакового режима работы доменных печей;
  - комплекс расчетных параметров, характеризующих шлаковый режим доменных печей;
5. общий материальный баланс доменной плавки, балансы железа, шлакообразующих, и др. элементов;

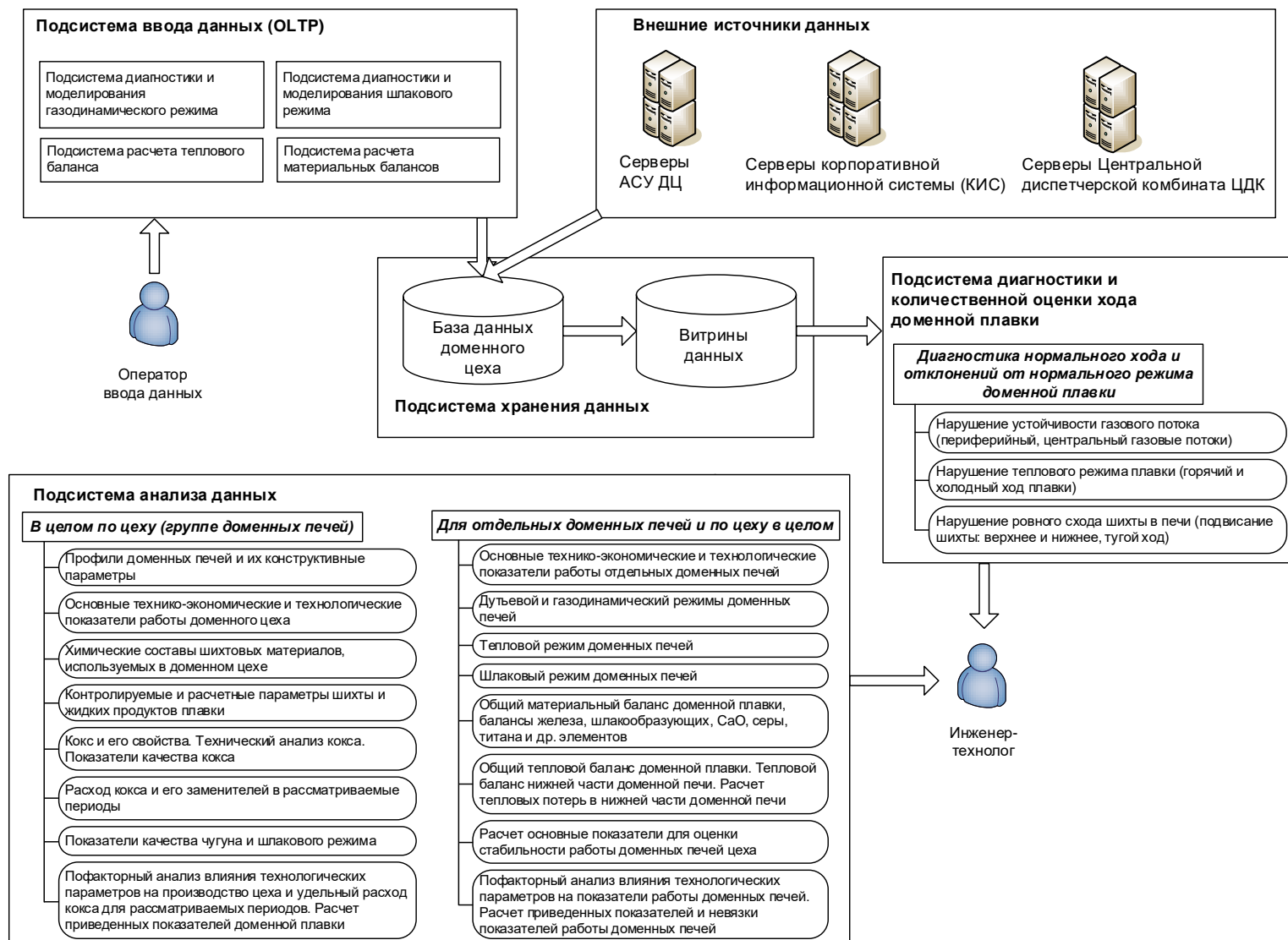


Рисунок 2 – Архитектура интегрированной автоматизированной информационно-моделирующей системы анализа и прогнозирования параметров работы комплекса доменных печей

6. общий тепловой баланс доменной плавки. Тепловой баланс нижней части доменной печи. Расчет тепловых потерь в нижней части доменной печи;
7. расчет основные показатели для оценки стабильности работы доменных печей цеха;
8. пофакторный анализ влияния технологических параметров на показатели работы доменных печей. Расчет приведенных показателей и невязки показателей работы доменных печей.

*Подсистема диагностики и количественной оценки хода доменной плавки.*

Предусмотрена диагностика нормального хода и следующих отклонений от нормального режима доменной плавки:

1. нарушение устойчивости газового потока;
2. нарушение теплового режима плавки;
3. нарушение ровного схода шихты в печи.

В отличие от известных других работ осуществляется интеграция комплекса контролируемых признаков и комплекса расчетных параметров доменной плавки и разработка информационно-моделирующей системы на основе сервисной архитектуры построения программного обеспечения информационных систем.

В итоге определяются вероятности:

1. нарушения устойчивости газового потока:
  - периферийного газового потока;
  - центрального газового потока;
2. нарушение теплового режима плавки:
  - горячего хода плавки;
  - холодного хода плавки;
3. нарушение ровного схода шихты в печи:
  - подвисяния шихты верхнего;
  - подвисяния шихты нижнего;
  - тугого хода.

*Заключение*

Внедрение интегрированной автоматизированной информационно-моделирующей системы анализа и прогнозирования параметров работы комплекса доменных печей обеспечит повышение оперативности, достоверности и глубины анализа показателей работы доменной плавки отдельных печей и их комплексов на основе использования обработки первичной технологической информации, оценки ее достоверности, математических моделей и экспертных систем доменного производства.

### **Библиографический список**

1. Применение технологий Industry 4.0 при создании автоматизированных промышленных комплексов / Грачев В.В., Мышляев Л.П., Венгер М.К., Пургина М.В., Коровин Д.Е., Кулюшин Г.А. // Сборник научных трудов Новосибирского государственного технического университета. 2021. № 1 (100). С. 7-20. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45641882>.
2. Спиринов Н.А., Лавров В.В., Рыболовлев В.Ю., Шнайдер Д.А., Краснобаев А.В., Гуринов И.А. Цифровая трансформация пирометаллургических технологий: состояние, научные проблемы и перспективы развития // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2021. №64(8). С. 588-598. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2021-8-588-598>.
3. Совершенствование аглококсодоменного производства с использованием цифровых технологий в рамках «Индустрии 4.0» / Дмитриев А.Н., Золотых М.О., Витькина Г.Ю. // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2020. Т. 76. № 4. – С. 339-345. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43001392>. DOI: 10.32339/0135-5910-2020-4-339-343.



4. Цымбал В.П. Математическое моделирование сложных систем в металлургии / В.П.Цымбал // Кемерово; М.: Издательское объединение «Российские университеты»: Кузбассвуиздат – АСТШ, 2006. – 431 с. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19603882>.
5. Cameron I., Sukhram M., Lefebvre K., Davenport W. Blast furnace ironmaking: analysis, control and optimization. 1st ed. Elsevier Science. 2019. – 828 p. <https://doi.org/10.1016/C2017-0-00007-1>.
6. Zhang Y., Sukhram M., Cameron I., Bolen J., Rozo A. Industrial perspective of digital twin development and applications for iron and steel processes // AISTech – Iron and Steel Technology Conference Proceedings. 2020. Vol. 3. – Pp. 1975-1984. <https://doi.org/10.33313/380/213>.
7. Kuang S., Li Z., Yu A. Review on modeling and simulation of blast furnace // Steel Research International. 2018. Vol. 89. No 1. Article 1700071. <https://doi.org/10.1002/srin.201700071>
8. Hashimoto Y., Kitamura Y., Ohashi T., Sawa Y., Kano M. Transient model-based operation guidance on blast furnace // Control Engineering Practice. 2019. Vol. 82. – Pp. 130-141. <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2018.10.009>.
9. Спириин Н.А., Лавров В.В., Рыболовлев В.Ю. [и др.]. Математическое моделирование металлургических процессов в АСУТП / под ред. Н.А. Спирина. – Екатеринбург: ООО УИИЦ, 2014. – 558 с. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21780622>.
10. Теория и практика прогнозирования в системах управления / С.В. Емельянов, С.К. Коровин, Л.П. Мышляев, А.С. Рыков, В.Ф. Евтушенко. – М.: Российские университеты, 2008. – 487 с.

УДК 519.86

## МЕТОД СЕТЕВОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ

Бурков В.Н., Буркова И.В.

*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН  
г. Москва, Россия, [Vlab17@bk.ru](mailto:Vlab17@bk.ru); [Irbur27@gmail.com](mailto:Irbur27@gmail.com)*

**Аннотация.** В докладе рассматривается применение метода сетевого программирования к решению задач выбора проектов. Приведены два класса задач. В первом сетевые представления задач имеют вид дерева и метод сетевого программирования дает точное решение. Во втором классе сетевые представления не являются деревом, поэтому метод сетевого программирования позволяет получить верхние оценки на основе решения обобщенных двойственных задач.

**Ключевые слова:** метод сетевого программирования; метод дихотомического программирования; дерево; задача о ранце, обобщенная двойственная задача.

**Abstract.** The report discusses the application of the network programming method to solving project selection problems. Two classes of problems are given. In the first, network representations of tasks have the form of a tree and the network programming method gives an exact solution. In the second class, network representations are not a tree, so the network programming method allows you to get upper bounds based on the solution of generalized dual problems.

**Keywords:** network programming method; dichotomous programming method; tree; knapsack problem, generalized dual problem.

### 1. Введение

В большой класс задач в рамках управления проектами можно выделить задачи выбора проектов (формирование целевых программ, выбор портфеля проектов и подобные, например [1-4] и др.). В свою очередь многие из них сводятся к задаче о ранце и ее модификациям. В связи с этим имеет смысл рассмотреть ее подробнее.

Рассмотрим постановку задачи «одномерный ранец». Имеются  $n$  проектов, каждый проект характеризуется весом  $\alpha_i$  и ценностью  $c_i$  (предполагается, что  $\alpha_i$ ,  $c_i$  целые положительные числа). Имеется также ранец (рюкзак) вместительностью  $R$ . Требуется загрузить

ранец проектами так, чтобы суммарная ценность помещенных в ранец проектов была максимальной при условии, что суммарный вес не превышает  $R$ . Обозначим  $x_i = 1$ , если  $i$ -ый проект помещен в ранец,  $x_i = 0$  в противном случае. Математическая постановка задачи имеет вид;

$$\begin{aligned} f(x) &= \sum_j c_j x_j \rightarrow \max, \\ \varphi(x) &= \sum_j a_j x_j \leq R, \\ x_j &\in \{0;1\}, \quad j = \overline{1,n}. \end{aligned}$$

Структура сетевого представления задачи является деревом, поэтому метод сетевого или дихотомического программирования дает оптимальное решение [5].

## 2. Задача выбора проекта с сетевым представлением в виде дерева

Рассмотрим обобщения задачи, сохраняющие структуру сетевого представления в виде дерева.

Пусть множество всех проектов разбито на  $m$  непересекающихся подмножеств  $Q_j$ ,  $j = 1, 2, \dots, m$ . В каждом подмножестве допускается выбор одного и только одного проекта. Для формальной постановки задачи введем переменные  $\{x_{ij}\}$ ,  $i = \overline{1,n_j}$ ,  $j = \overline{1,m}$ , принимающие значения 0 или 1. Примем  $x_{ij} = 1$ , если проект  $i \in Q_j$ , взят в ранец и  $x_{ij} = 0$  – в противном случае. Задача заключается в определении  $\{x_{ij}\}$ , максимизирующих

$$\sum_{i,j} c_{ij} x_{ij} \tag{1}$$

при ограничениях

$$\sum_{i,j} a_{ij} x_{ij} \leq R, \tag{2}$$

$$\sum_{i \in Q_j} x_{ij} = 1, \quad j = \overline{1,m}, \tag{3}$$

где  $c_{ij}, a_{ij}$  – ценность и вес проекта  $i \in Q_j$  соответственно.

Другая интерпретация этой задачи состоит в том, что имеются  $m$  проектов, но каждый проект имеет  $n_j$  модификаций, отличающихся по ценности и по весу. Необходимо выбрать одну модификацию каждого проекта. Структура сетевого представления по-прежнему является деревом.

Рассмотрим еще одно обобщение задачи, когда удастся сохранить структуру сетевого представления в виде дерева. Пусть ограничения наложены на суммарный вес проектов  $j$ -ой группы, а именно

$$\sum_{i \in Q_j} a_{ij} x_{ij} \leq B_j, \quad j = \overline{1,m}. \tag{4}$$

Задача заключается в максимизации (1) при ограничениях (2) и (4). Полагаем, что

$$\sum_j B_j > R;$$

в противном случае задача распадается на  $t$  несвязанных задач о ранце. В данном случае структура сетевого представления также имеет вид дерева (рисунок 1).

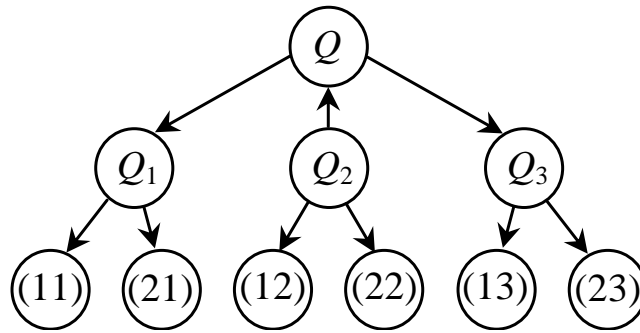


Рисунок 1

**Описание алгоритма:**

1 шаг. Решаем  $t$  задач о ранце следующего вида:

$$\sum_{i \in Q_j} c_{ij} x_{ij} \rightarrow \max$$

$$\sum_{i \in Q_j} a_{ij} x_{ij} \leq B_j$$

Выписываем все Парето-оптимальные варианты для каждой задачи.

2 шаг. Решаем задачу выбора по одному варианту из каждой группы, такие чтобы максимизировать (1) при ограничениях (2), (3).

**Пример** Имеются шесть проектов, разбитые на две группы:  $Q_1 = \{(1, 1), (2, 1), (3, 1)\}$ ;  $Q_2 = \{(1, 2), (2, 2), (3, 2)\}$ . Данные о проектах приведены в таблице 1.

Таблица 1

$N$	(1, 1)	(2, 1)	(3, 1)	(1, 2)	(2, 2)	(3, 2)
$c_i$	7	10	12	9	4	6
$a_i$	2	3	6	5	2	4

Примем  $R = 14$ ,  $B_1 = 8$ ,  $B_2 = 10$ .

1 шаг. Решаем первую задачу о ранце:

$$7x_{11} + 10x_{21} + 12x_{31} \rightarrow \max;$$

$$2x_{11} + 3x_{21} + 6x_{31} \leq 8.$$

Приведем результаты решения.

Таблица 2

$N$	1	2	3	4	5
$y_1$	0	7	10	17	19
$z_1$	0	2	3	5	8

Решаем вторую задачу о ранце:

$$9x_{12} + 4x_{22} + 6x_{32} \rightarrow \max;$$

$$5x_{12} + 3x_{22} + 4x_{32} \leq 10.$$

Приведем результаты решения.

Таблица 3

$N$	1	2	3	4	5	6	7
$y_2$	0	4	6	9	10	13	15
$z_2$	0	2	4	5	6	7	9

2 шаг. Решаем задачу о ранце с вариантами таблиц 2 и 3. Решение приведено в таблице 4.

Таблица 4

19, 8	19, 8	23, 10	25, 12	28, 13	29, 14	–	–
17, 5	17, 5	21, 7	23, 9	26, 10	27, 11	30, 12	32, 14
10, 3	10, 3	14, 5	16, 7	19, 8	20, 9	23, 10	25, 12
7, 2	7, 2	11, 4	13, 6	16, 7	17, 8	20, 9	22, 11
0, 0	0, 0	4, 2	6, 4	9, 5	10, 6	13, 7	15, 9
1 2	0, 0	4, 2	6, 4	9, 5	10, 6	13, 7	15, 9

Оптимальное решение соответствует клетке (32, 14). В свою очередь клетке (32, 14) соответствует четвертый вариант из таблицы 2 и седьмой вариант из таблицы 3.

Оптимальное решение имеет вид:

$$x_{11} = 1, x_{21} = 1, x_{31} = 0, x_{12} = 1, x_{22} = 0, x_{32} = 1;$$

$$\text{суммарная ценность } \Phi = 32.$$

Приведем еще одно интересное обобщение. Пусть в задаче (1)–(3) число проектов, которые берутся в ранец, может быть более 1, т. е. ограничения (3) заменим более общими ограничениями.

$$\sum_{i \in Q_j} x_{ij} \leq P_j, \quad j = \overline{1, m}$$

В этом случае возможны два подхода. Первый заключается в том, что рассматриваем все возможные сочетания из  $n_j$  элементов по  $S$ , где  $0 \leq S \leq P_j$ . Для каждого такого сочетания определяем его ценность и вес. Если каждое такое сочетание считать некоторым проектом, то задача сводится к задаче (1)–(3). Если число сочетаний невелико, то такой подход является достаточно эффективным.

К сожалению, при больших  $n_j$  и  $P_j$  метод перебора всех сочетаний становится не эффективным.

### 3. Обобщенная двойственная задача

Рассмотрим сетевое представление задачи, структура которого уже не является деревом (рисунок 2).

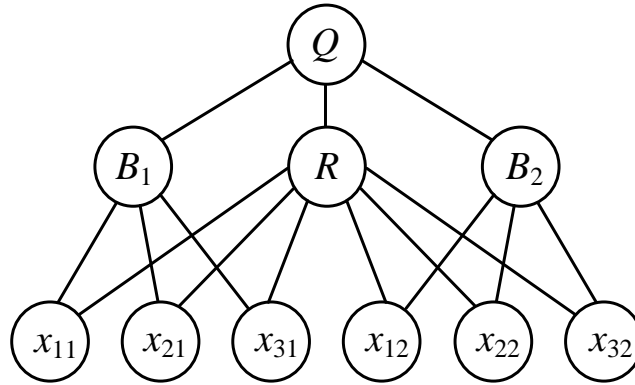


Рисунок 2

Согласно общему подходу для получения оценочных задач разделим каждую из вершин нижнего уровня на две, разделив соответственно и коэффициенты, т. е. представим  $c_{ij}$  в виде

$$c_{ij} = u_{ij} + v_{ij}. \quad (5)$$

В результате получаем  $(m + 1)$  несвязанных задач о ранце. Первые  $m$  задач имеют следующий вид.

Определить  $\{x_{ij}\}, i \in Q$ , максимизирующие

$$\sum_{i \in Q_j} u_{ij} x_{ij} \quad (6)$$

при ограничении

$$\sum_{i \in Q_j} x_{ij} \leq P_j. \quad (7)$$

Последняя задача имеет вид: максимизировать

$$\sum_{i,j} v_{ij} x_{ij} \quad (8)$$

при ограничении

$$\sum a_{ij} x_{ij} \leq R. \quad (9)$$

Обозначим:  $\Phi_j(u_j)$  – значения целевых функций в оптимальных решениях задачи (6), (7);  $\Phi(v)$  – значение целевой функции в оптимальном решении задачи (8), (9).

Согласно [5] сумма

$$\Theta(v, u) = \Phi(v) + \sum_j \Phi_j(u_j) \quad (10)$$

является оценкой сверху целевой функции исходной задачи.

Обобщенная двойственная задача (ОДЗ) заключается в определении  $u$  и  $v$ , удовлетворяющих (5) и минимизирующих (10).

**Теорема.** Существует такое решение ОДЗ, что  $u_{ij} = \lambda_j$  для всех  $i \in Q_j$ ,  $j = \overline{1, m}$ .

*Доказательство.* Оптимальное решение задачи (6), (7) получается достаточно просто: необходимо взять  $P_j$  наибольших значений  $u_{ij}$ .

Обозначим  $\lambda_j = \min_{i \in S(u_j)} u_{ij}$ , где  $S(u_j)$  – множество из  $p_j$  наибольших значений  $u_{ij}$ . Пусть  $u_{ij} < \lambda_j$  (следовательно  $i \notin S(u_j)$ ). Увеличим  $u_{ij}$  до  $u'_{ij} = \lambda_j$ . Величина целевой функции задачи (6), (7) не изменится. В то же время в силу уменьшения  $v_{ij}$  целевая функция задачи (8), (9) не увеличится. Пусть теперь  $u_{ij} > \lambda_j$ . Уменьшим  $u_{ij}$  до  $u'_{ij} = \lambda_j$ . Целевая функция задачи (6), (7) уменьшится на величину  $(u_{ij} - \lambda_j)$ , а целевая функция задачи (8), (9) может увеличиться, но не более чем на ту же величину  $(u_{ij} - \lambda_j)$ . В результате целевая функция (10) не увеличится. Теорема доказана.

Целевая функция (10) принимает вид:

$$\Theta(\lambda, v) = \Phi(v) + \sum_j \lambda_j p_j$$

Заметим, что  $v_{ij} = c_{ij} - \lambda_j$ ,  $i \in Q_j$ . Поэтому

$$\Theta(\lambda) = \max_{\{x_{ij}\}} \sum_{i,j} c_{ij} x_{ij} - \sum_j \lambda_j \left( \sum_{i \in Q_j} x_{ij} - P_j \right)$$

ОДЗ заключается в нахождении

$$\min_{\lambda} \max_x \left[ \sum_{i,j} c_{ij} x_{ij} - \sum_j \lambda_j \left( \sum_{i \in Q_j} x_{ij} - P_j \right) \right]$$

при ограничении (9).

Фактически мы получили функцию Лагранжа. Таким образом, решение обобщенной двойственной задачи свелось к методу множителей Лагранжа.

#### 4. Заключение

В статье рассмотрены задачи выбора проектов, решаемые методом сетевого программирования. Представляет интерес расширение класса задач, сетевое представление которых является деревом и для которых метод сетевого программирования дает оптимальное решение, а также – задач, для которых решение обобщенной двойственной задачи сводится к методу множителей Лагранжа.

#### Библиографический список

1. Зимин В.В. Формирование функционального объема и рабочих групп ERP-проекта предприятия / Зимин В.В., Митьков В.В., Зимин А.В. // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2017. Т. 60. № 12. С. 998-1004.
2. Гельруд Я.Д. Управление проектами: методы, модели, системы: монография / Я.Д. Гельруд, О.В. Логиновский; под редакцией д.т.н., профессора А.Л. Шестакова. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2015. – 331 с.
3. Кашенков А.Р. Об использовании метода сетевого программирования при решении некоторых задач дискретной оптимизации / А.Р. Кашенков // В сборнике: Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования. материалы 4-й Между-

- народной научно-технической конференции. Федеральное агентство по образованию, Вологодский государственный технический университет; ответственный редактор Осипов Ю. Р., Вологда, 2008. С. 198-200.
4. Матвеев А.А., Новиков Д.А., Цветков А.В. Модели и методы управления портфелями проектов. – М.: ПМСОФТ, 2005.
  5. Буркова И.В. Метод сетевого программирования в задачах нелинейной оптимизации. – «Автоматика и телемеханика», журнал. 2009. № 10. С. 15-21.

## МЕДИЦИНСКАЯ ДЕМОГРАФИЯ В СРАВНЕНИИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РОССИИ И НОВОКУЗНЕЦКА

Жилина Н.М., Чеченин Г.И., Херасков В.Ю.

*Новокузнецкий государственный институт усовершенствования врачей – филиал ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Министерства здравоохранения РФ,  
Территориальное управление Министерства здравоохранения Кузбасса  
г. Новокузнецк, Россия, zhilina.ngiuv@yandex.ru*

**Аннотация.** Рассмотрены основные тенденции и причины смертности, а также показатели рождаемости последних лет в России. Проведен анализ медико-демографических показателей и выявлены статистически значимые различия по г. Новокузнецку в сравнении с российскими показателями по суммарному коэффициенту рождаемости, общей смертности и смертности от онкологических заболеваний. Определены негативные тенденции по ряду медико-демографических показателей. Предложены рекомендации по нормализации ситуации в г. Новокузнецке.

**Ключевые слова:** медико-демографические показатели, численность населения по когортам, сравнение показателей, негативные тенденции рождаемости и смертности, коронавирусная инфекция.

**Abstract.** The main trends and causes of mortality, as well as birth rates of recent years in Russia are considered. The analysis of medical and demographic indicators was carried out and statistically significant differences were revealed in Novokuznetsk in comparison with Russian indicators on the total fertility rate, total mortality and mortality from oncological diseases. Negative trends have been identified for a number of medical and demographic indicators. Recommendations on normalization of the situation in Novokuznetsk are offered.

**Keywords:** medical and demographic indicators, population size by cohort, comparison of indicators, negative trends in fertility and mortality, coronavirus infection.

Вопросы рождаемости и смертности жизненно важны как для общества в целом, так и для каждого конкретного человека. Медицинской демографии уделяется большое внимание на протяжении многих десятилетий аналитиками, медицинскими работниками, специалистами-демографами. Актуальны эти вопросы и в настоящее время [1-10].

**Источниками информации** для анализа явились следующие данные:

- о показателях смертности и летальности на 1.04.2022. / МЗ РФ;
- Здравоохранение в России. 2021: Статистический сборник /Росстат. - М., 2021. – 171 с.;
- госдоклады Роспотребнадзора;
- данные Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ);
- базы данных Кустового медицинского информационно-аналитического центра г. Новокузнецка (БД КМИАЦ) до 2018 г., и Кемеровского областного медицинского информационно-аналитического центра (КОМИАЦ), информация Администрации г. Новокузнецка;
- данные Кемеровостата и Территориального управления Министерства здравоохранения Кузбасса, г. Новокузнецк.

**Цель исследования:** сравнительный анализ демографических показателей России и г. Новокузнецка Кемеровской области для выявления статистически значимых различий и предложения рекомендаций по улучшению ситуации.

**Методы исследования.** В статистическом пакете IBM SPSS Statistics-22 создана база данных исследуемых показателей по РФ и г. Новокузнецку, с единицей наблюдения «год». Применялись статистические непараметрические методы: для сравнения показателей в двух независимых группах – критерий Манна-Уитни; для исследования динамики показателей – критерий Тау-Кендалла. Различия считались статистически значимыми при уровне значимости различия  $p < 0,05$ . Графический анализ проведен в программе электронных таблиц MS Excel-2013.

**Результаты.** Демографические показатели по Российской Федерации за 2005, 2010, 2015-2020 гг. (млн. человек, на конец года) [10] представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Демографические показатели по Российской Федерации за 2005, 2010, 2015-2020 гг. (млн. человек, на конец года)

Группы населения	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Все население	143,2	142,9	146,5	146,8	146,9	146,8	146,8	146,2
Моложе трудоспособного	23,7	23,2	26,4	26,9	27,3	27,4	27,44	27,4
Трудоспособное	<b>90,2</b>	<b>87,8</b>	<b>84,2</b>	<b>83,2</b>	<b>82,3</b>	<b>81,4</b>	<b>82,7</b>	<b>81,9</b>
Старше трудоспособного	29,4	31,8	36	36,7	37,4	38	36,6	36,9
Женщины 15 – 49 лет	<b>39,4</b>	<b>37,1</b>	<b>35,4</b>	<b>35,1</b>	<b>34,9</b>	<b>34,7</b>	<b>34,5</b>	<b>34,1</b>

Статистически значимые тенденции к росту выявлены в динамике у показателей: численности населения РФ моложе трудоспособного:  $\tau=0,837$ ,  $p=0,004$ ; численности населения РФ старше трудоспособного:  $\tau=0,643$ ,  $p=0,026$ .

Статистически значимые тенденции к снижению выявлены в динамике у показателей: численности трудоспособного населения РФ:  $\tau=-0,643$ ,  $p=0,026$ ; численности женского населения РФ 15-49 лет:  $\tau=-1,0$ ,  $p<0,001$ .

Статистически значимые тенденции к увеличению показателя выявлены в динамике у показателей: родившиеся живыми на 1000 женщин в возрасте 40–44 лет:  $\tau=0,909$ ,  $p=0,002$  и родившиеся живыми на 1000 женщин в возрасте 45–49 лет:  $\tau=0,886$ ,  $p=0,003$ .

Значимые тенденции к снижению выявлены в динамике у показателей: родившиеся живыми на 1000 женщин в возрасте моложе 20 лет:  $\tau=-1,0$ ,  $p<0,001$  и родившиеся живыми на 1000 женщин в возрасте 20-24 года:  $\tau=-0,857$ ,  $p=0,003$ .

С 2015 года статистически значимую тенденцию к снижению (с 1,8 до 1,5) имеет и без того низкий показатель суммарный коэффициент рождаемости:  $\tau=-0,867$ ,  $p=0,015$ . Для простого воспроизводства населения минимальное значение этого показателя должно быть не ниже 2,1-2,3, то есть не менее двух детей на одну женщину репродуктивного возраста, с учетом имеющейся бесплодности как женщин, так и мужчин, а также детской смертности.

Динамика показателей рождаемости и смертности в России за период 2002-2020 гг., на 1000 населения представлена на рисунке 1.

Позитивные тенденции рождаемости и смертности в РФ прослеживаются до 2015 г. С 2017 г. снижение рождаемости, с 2019 г. – рост смертности. Страна вышла из демографической ямы лишь на короткий период 2013-2016 гг. В последние годы смертность в России выше рождаемости [10].



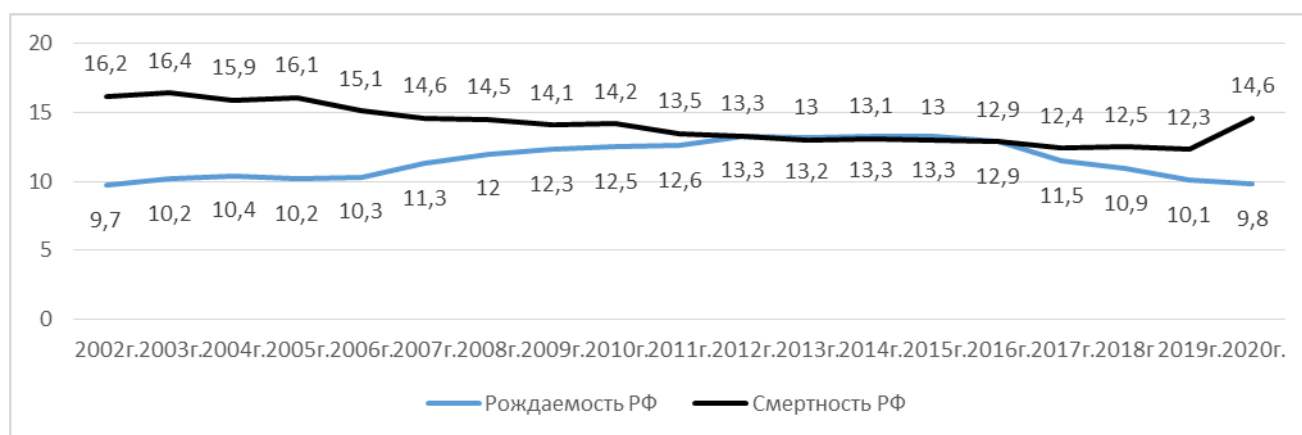


Рисунок 1 – Рождаемость и смертность в России на 1000 населения за период 2002-2020 гг.

В г. Новокузнецке тенденция показателя численности населения негативная (корреляция Тау-Кендалла:  $\tau = -0,58$ ,  $p < 0,001$ ). В 2021 году численность населения г. Новокузнецка минимальна за весь исследуемый период 2002-2021 гг., составляет 544,6 тыс. человек.

В таблице 2 представлены демографические показатели по г. Новокузнецку за 2017-2021 гг.

Таблица 2 – Демографические показатели по г. Новокузнецку за 2017-2021 гг.

Демографические показатели	2017г.	2018г.	2019г.	2020 г.	2021 г.
Численность населения общая, тыс. чел.	552,4	<b>553,6</b>	<b>552,1</b>	<b>549,4</b>	<b>544,6</b>
Численность детского населения, (0-17 лет), тыс. чел.	112,5	113,8	<b>114,2</b>	<b>113,9</b>	<b>112,9</b>
Численность трудоспособного населения, тыс. чел.	<b>317,2</b>	<b>315,6</b>	<b>313,0</b>	<b>316,7</b>	<b>312,8</b>
Число работающих, тыс. чел.	257,6	<b>259,2</b>	<b>258,5</b>	<b>253,2</b>	Нет данных

Снижается численность *трудоспособного населения г. Новокузнецка* и *числа работающих*, что можно объяснить, в том числе, и неблагоприятной тенденцией оттока молодого населения. Для исправления ситуации недостаточно медицинских мер, необходима заинтересованность и законодательной, и исполнительной власти города.

График, отражающий тенденции показателей смертности и рождаемости в Новокузнецке похож на российский (рис.1), но рождаемость за анализируемые годы так и не достигла уровня смертности, город находится в демографической яме: в динамике *смертность* значительно снижается до 2019 года ( $\tau = -0,85$ ,  $p < 0,001$ ). Затем рост. *Рождаемость до 2013 г.* растет ( $\tau = 0,683$ ,  $p < 0,001$ ), далее тенденция убывающая ( $\tau = -0,86$ ,  $p = 0,003$ ). Смертность превышает рождаемость на всем исследуемом периоде.

В таблице 3 представлены показатели рождаемости и смертности за 2015-2021 гг. по г. Новокузнецку.

Таблица 3 – Показатели рождаемости и смертности за 2015-2021 гг. по г. Новокузнецку

Показатель	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021*
Рождаемость (на 1000)	12	12,3	10	9,4	8,8	8,3	8,1
Общая смертность (на 1000)	13,9	13,8	13,5	13,7	13,3	15,7	17,5
Младенческая смертность (на 1000)	6,1	6,7	7,5	3,8	7,0	6,0	4,3
Смертность (на 1000) в трудоспособном возрасте	6,9	6,5	6,2	6,1	5,9	6,6	6,8
Естественный прирост (%)	-1,9	-1,5	-3,5	-4,3	-4,5	-7,4	-9,4
* за 2021 год – предварительные данные Кемеровостата							

Показатели *рождаемости и естественного прироста* имеют негативные тенденции с 2016 года ( $\tau=1,0$ ,  $p<0,001$ ). Показатели *общей смертности и смертности в трудоспособном возрасте* – с 2019 года.

Смертность по классам заболеваний от всех причин растет с 2017 года, от болезней системы кровообращения - с 2018 г., от ВИЧ, заболеваний органов дыхания, симптомов, признаков, отклонений от нормы, болезней эндокринной системы - с 2019 года.

Смертность от коронавирусной инфекции в Новокузнецке с 11 места в 2020 году (38,8 на 100 000 населения) поднялась в 2021 на пятое место среди причин смертности (127,1). Проблема не только в дополнительной смертности непосредственно от коронавирусной инфекции, но и в меньшем внимании со стороны врачей в годы пандемии пациентам с хроническими заболеваниями. Также серьезны и осложнения у хроников после перенесенного covid-19. В настоящее время наблюдается спад заболеваемости коронавирусной инфекции. Но как было понятно уже в начале пандемии, covid-19 не исчезнет, а перейдет в сезонное инфекционное заболевание. Поэтому всем необходимо соблюдать меры разумной предосторожности.

Статистически значимые тенденции к росту выявлены в динамике у показателей: *численности населения РФ старше трудоспособного*:  $\tau=0,643$ ,  $p=0,026$ ; *численности населения РФ моложе трудоспособного*:  $\tau=0,837$ ,  $p=0,004$ .

Статистически значимые тенденции к снижению выявлены в динамике у показателей: *численности трудоспособного населения РФ*:  $\tau=-0,643$ ,  $p=0,026$ ; *численности женского населения РФ 15-49 лет*:  $\tau=-1,0$ ,  $p<0,001$ .

*Показатель рождаемости* в России значимо увеличивается в возрастных группах женщин 40-44 и 45-49 лет, а значимо снижается в группах женщин моложе 20 и 20-24 лет. Снижается суммарный коэффициент рождаемости.

В Новокузнецке негативные тенденции имеет целый ряд демографических показателей:

- *численность населения* убывает с 2002 года ( $\tau=-0,58$ ,  $p<0,001$ );
- *рождаемость* снижается с 2013 года ( $\tau=-0,86$ ,  $p=0,003$ );
- с 2016 года растет *показатель убыли населения* ( $\tau=1,0$ ,  $p<0,001$ );
- с 2019 г. – наблюдается рост показателей *общей смертности и смертности в трудоспособном возрасте*.

Определены негативные тенденции *смертности от основных классов болезней* в Новокузнецке:

- с 2017 года растет смертность по классам заболеваний от всех причин,
- с 2018 г. – от болезней системы кровообращения;
- с 2019 года – от ВИЧ, заболеваний органов дыхания, симптомов, признаков, отклонений от нормы, болезней эндокринной системы.

### Выводы и рекомендации:

1. сравнение показателей по РФ и Новокузнецку показывает, что значимо хуже российского уровня имеют значение показатели:
  - *смертность* населения в г. Новокузнецке:  $z=-3,411$ ,  $p=0,001$ ;
  - *суммарный коэффициент рождаемости*:  $z=3,408$ ;  $p=0,001$ ;
  - *смертность от онкологических заболеваний*:  $z=-2,201$ ,  $p=0,028$ ;
2. необходимо разработать Программу обязательного онкоскрининга жителей молодого и среднего возраста с повышенными рисками онкопатологии;
3. повысить доступность информации для населения о праве на онкоскрининг по ОМС на этапе диспансеризации;
4. следует дополнить муниципальную программу Новокузнецкого городского округа «Реализация молодежной политики» (Постановления Администрации №171 от 01.12.2014 и №47 от 14.03.2022) подпрограммой «Забота о молодых семьях» с мероприятиями по стимулированию рождаемости у женщин молодого возраста и обеспечению молодых семей с двумя и более детьми льготным жильем и первоочередными местами в детских садах с целью повышения рождаемости и уменьшения миграционного оттока молодежи из города;
5. необходимо создать перспективные рабочие места для молодежи города в рамках развития муниципальной Программы импортозамещения.

### Библиографический список

1. 10 ведущих причин смерти в мире. Информационный бюллетень ВОЗ. декабрь 2020г. [Интернет]. URL: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs310/ru/> (Дата обращения 27.03.2022).
2. Жилина Н.М., Фадеева А.Е., Чеченин Г.И. Анализ смертности населения г. Новокузнецка на основе электронной базы данных за период 1999-2007гг. *Социальные аспекты здоровья населения* [электронный научный журнал] 2009; 11(3). URL: <http://vestnik.mednet.ru/content/category/5/42/30> (Дата обращения 12 сентября 2015).
3. Козырева П.М., Назимова А.Э., Смирнов А.И. Здоровье населения России: динамика и возрастные особенности (1994-2011 гг.). *Вестник Института социологии* 2012; (6): 9-47.
4. *Здравоохранение в России. 2019: Стат.сб./Росстат.* - М., 3-46 2019. – 170 с.
5. Федеральная служба государственной статистики. Официальная статистика. Население. Демография. URL: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/population/demography/#](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/population/demography/#) (Дата обращения: 04.04.2022)
6. Жилина Н.М. Основные причины инвалидности и смертности населения в 2012-2016 годах на примере Новокузнецка. *Информационно-аналитический вестник «Социальные аспекты здоровья населения».* 2018; 60(2). <http://vestnik.mednet.ru/content/view/968/30/lang,ru/> Дата обращения 21.05.2021
7. Вишневский А.Г., Андреев Е.М., Тимонин С.А. Смертность от болезней системы кровообращения и продолжительность жизни в России. *Демографическое обозрение.* 2016;1:6-34.
8. Филимонов С.Н., Баран О.И., Рябов В.А. Естественное воспроизводство населения Сибирского федерального округа в начале второй волны депопуляции (особенности и прогноз). *Здравоохранение Российской Федерации.* 2019; 63(3): 116– 121. <https://doi.org/10.18821/0044-197X-2019-63-3-116-121>
9. Лещенко Я.А., Лисовцов А.А. Тенденции в динамике продолжительности жизни населения в федеральных округах Российской Федерации. *Социальные аспекты здоровья населения* [сетевое издание] 2020; 66(6):9. URL: <http://vestnik.mednet.ru/content/view/1218/30/lang,ru/>. DOI: 10.21045/2071-5021-2020-66-6-9/ Дата обращения 21.03.2022.

10. Жилина Н.М., Чеченин Г.И., Херасков В.Ю. Основные тенденции и риски демографических показателей на примере г. Новокузнецка. *Социальные аспекты здоровья населения* [сетевое издание]. Режим доступа: <http://vestnik.mednet.ru/> Главная/ Архив номеров/ № 4 2022 (68). DOI: 10.21045/2071-5021-2022-68-4-11

УДК 622 + 62-9 : 004.3 + 62-50 : 550.835.41

## ПОДХОДЫ К АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОЦЕНКЕ ОБЪЕМА И СОСТАВА ГОРНОЙ МАССЫ В ПРОЦЕССЕ ВЫПУСКА УГЛЯ НА ЗАБОЙНЫЙ КОНВЕЙЕР

Кизиллов С.А.<sup>1,2</sup>, Баловнев Е.А.<sup>1</sup>, Черкасов П.В.<sup>1,2</sup>, Никитенко М.С.<sup>1,2</sup>,  
Худоногов Д.Ю.<sup>1</sup>, Попинако Я.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук» (ФИЦ УУХ СО РАН)

<sup>2</sup>Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева  
г. Кемерово, Россия, [balovnev.evgeny.a@gmail.com](mailto:balovnev.evgeny.a@gmail.com)

**Аннотация.** В статье рассмотрены различные подходы к оценке состава горной массы и измерению её объема, проведена оценка применимости подходов в условиях проведения очистных работ при добыче угля. Предложен альтернативный способ измерения единичного объема горной массы, подаваемой питателем на забойный конвейер в технологическом процессе выпуска при отработке мощных угольных пластов лавным комплексом. Рассмотрено применение гамма-метода для реализации системы контроля и остановки выпуска угля подкровельной толщи.

**Ключевые слова:** горная масса, состав горной массы, объем горной массы, машинное зрение, гамма-метод, управляемый выпуск, система управления, технологический процесс, выпуск угля подкровельной толщи.

**Abstract.** The article considers different approaches of rock mass consistence estimating and its volume measuring, an estimation of approaches applicability in coal mining second working conditions is proceeded. An alternative approach of measuring unit volume of rock mass transported with feeder to the face conveyor in technological process of callows mining with lava complex. Gamma method applying for system of high coal mining control and stop realization is considered.

**Keywords:** rock mass, rock mass consistence, rock mass volume, machine vision, gamma method, release operation, operation system, technological process, high coal releasing.

В настоящее время, по причине истощения легкодоступных пластовых месторождений, применение технологий для отработки мощных угольных месторождений с выпуском получает большее распространение [1]. Это обусловлено преимуществами технологии и возможностью снижения присутствия человека в очистном забое при автоматизированном режиме работы комплекса. Поскольку технические средства, обеспечивающие выпуск (питатель и заслонка), должны быть объединены в общую систему управления крепи [2] и должны работать с определенной степенью автономности, без присутствия человека, контроль и измерение количественных и качественных характеристик неоднородной сыпучей горной массы в условиях шахты в автоматизированном режиме является актуальной задачей. При этом свойства горной массы являются измеримыми параметрами, на основе которых реализуется управление технологическим процессом выпуска угля подкровельной толщи.

Задачи работы заключались в проведении аналитического обзора технологий измерения объема и определения состава горной массы, разработке аппаратно-программных средств для автоматизированного измерения объема и оценки её состава.

Для оценки объема сыпучих материалов существует достаточное количество способов, часть из которых основывается на машинном зрении. Одним из таких способов является поиск и последующая обработка, так называемой, «зоны интереса» на изображе-

нии сыпучего материала, полученного с помощью фотофиксации. Данный подход применяется в условиях хранения сыпучих материалов. Частным примером может послужить применение технологии для вычисления объема складированного леса [3], съемка которого производится со стороны спила дерева. Цветом в зоне интереса выделяются фрагменты, содержащие фигуры, схожие с окружностью, а затем с помощью программы вычисляется объем, в зависимости от длины бревен. Данный способ измерения объема зависит от формы измеряемого сыпучего материала и его расположения относительно камеры, что не представляется возможным реализовать в условиях выпуска в отношении фрагментов угля.

Объем сыпучих материалов также может быть измерен с применением лидар-сканеров, принцип работы которых основан на излучении направленного светового импульса на объект и расчета времени возвращения сигнала. Частным случаем применения такого вида сканирования может послужить описанный в [4] метод оценки объема груза в движущихся транспортных средствах. Во время движения транспорт сканируется в разных плоскостях, отслеживается его положение, создаются облака точек и выделяются поверхности, непосредственно соответствующие грузу. Лидар-сканеры обладают высокой точностью и скоростью работы, не зависят от интенсивности освещения в зоне сканирования, а также обеспечивают высокое разрешение изображения по сравнению с иными технологиями оценки объема. Применение лидар-сканеров в условиях шахты возможно, однако их эффективность зависит от степени запыленности, генерируемый объемных наборов данных является избыточным для решения поставленной задачи, накладывает повышенные требования к шахтным линиям передачи данных, а также требует вычислительных ресурсов для последующей обработки.

В качестве способа измерения объема также применяется времяпролетная камера, содержащая источник света, излучающий в инфракрасном спектре, и светочувствительную матрицу, улавливающую интенсивность отраженного света. Камера рассчитывает время с момента испускания луча света до момента его фиксации на светочувствительной матрице, вычисляет расстояние до объекта и составляет объемное изображение [5]. Таким образом, объем оценивается с помощью вычисления разности высот между поверхностью сыпучего материала и пустой опорной поверхностью.

Как указывалось выше, вторым наиболее значимым свойством горной массы, на основе измерения параметров которого следует реализовать часть системы технологическим управлением выпуском, является качественный состав. Существуют различные способы оценки состава: минералогические, химические, электронно-оптические, физические и пр. Однако технологические условия применения в условиях выпуска позволяют рассматривать исключительно бесконтактные варианты.

Одна из разновидностей способов оценки, соответствующая указанным требованиям, подразумевает выявление машинным зрением пустой породы по признаку цвета [6]. Однако ключевым недостатком такого способа является зависимость от степени освещенности. Также встречаются экспериментальные разработки способов выявления пустой породы в горной массе по ее плотности, рассчитанной по весу и объему, на основе взвешивания на конвейере, технологии машинного зрения и трехмерного лазерного сканирования [7]. Также существует вариант отличия угля и пустой породы с использованием тепловизора [8]. Теплоносителем является вода, при ее испарении данные у угля и пустой породы, полученные с тепловых изображений, являются различными. Другой способ включает анализ изображений сверточной нейронной сетью. Предполагается получение изображения с конвейера и дальнейшее использование сверточной нейронной сети для распознавания угля и пустой породы. Известен способ отличия угля и пустой породы на основе технологии инфракрасной визуализации, когда инфракрасное изображение анализируется нейронной сетью [9]. Однако следует понимать, что генерация нейронными сетями объемных наборов данных повышает требования к оборудованию, производящему оценку качества горной массы. Вышеперечисленные способы отличия угля и пустой по-

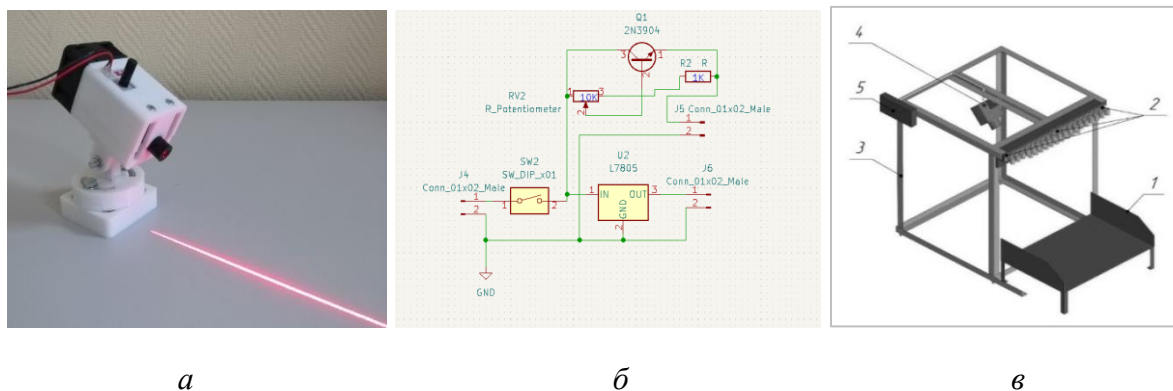
роды показывают эффективность в определенных условиях, однако обладают недостатками, препятствующими их использованию в технологии с выпуском на забойный конвейер.

Сотрудниками ФИЦ УУХ СО РАН предложен способ управления выпуском на основе альтернативного подхода к использованию машинного зрения при измерении объема горной массы, а также оценки состава горной массы путем расчета естественного излучения гамма-частиц. Ниже приведено описание двух подходов, применение которых в условиях отработки мощных угольных пластов лавным комплексом позволяют своевременно останавливать выпуск, предотвращая перегруз конвейера и попадание породы на питатель, снижая тем самым зольность добываемого угля.

### **Оценка объема горной массы**

С точки зрения авторов, в условиях работы крепи, наиболее перспективным для измерения объема горной массы, является применение технологии машинного зрения, дополненной подсветкой световых маркеров. Предложенный способ отличается упрощенной обработкой данных видеоизображения, за счет сужения «зоны интереса» до контрастных линий сетки.

Для получения лазерной сетки, направленной на горную массу, предложено использовать излучатели световых контрастных линий (рисунок 1 а, б).



*а* – излучатель световых контрастных линий; *б* – схема электрическая принципиальная излучателя световых контрастных линий. *в* – лабораторная установка в сборе (*1* – приставной стол; *2* – блок излучателей световых контрастных линий; *3* – рама; *4* – камера машинного зрения; *5* – ЭВМ)

Рисунок 1 – Технические средства, обеспечивающие реализацию способа оценки объема

Образованная маркерами лазерная сетка сканируется камерой машинного зрения, которая рассчитывает высоты слоя горной массы в местах пересечения световых маркеров (рисунок 2), создавая двумерный массив данных – карту высот исследуемого объекта. По данным карты высот на ЭВМ вычисляется объем исследуемого объекта.

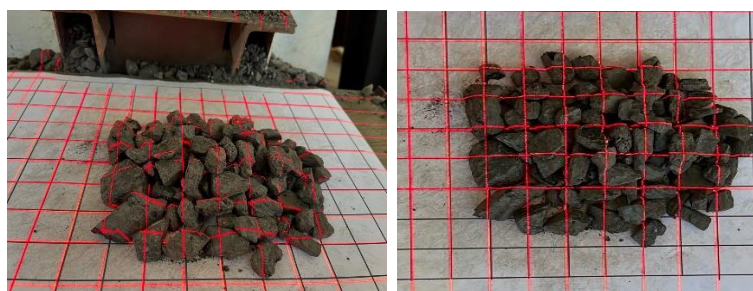


Рисунок 2 – Получение лазерной сетки на поверхности измеряемых объектов

Контрастные световые маркеры обеспечивают создание заранее определенной сцены для работы системы машинного зрения, что упрощает работу алгоритмов обработки и снижает требования к качеству первичного изображения. Дополнительным преимуществом данного способа является то, что он не зависит от интенсивности освещения в зоне съемки. Экспериментальный прототип установки, обеспечивающий выполнение данного способа, представлен на рисунке 1 в.

При проектировании установки, для оценки объема горной массы, учтены следующие факторы:

- количество излучателей световых контрастных линий, обеспечивающих построение лазерной сетки;
- охлаждение излучателей световых контрастных линий и управление его интенсивностью;
- настройка положения излучателей относительно горизонтальной поверхности, а также настройка направления светового маркера (обеспечение его перемещения в двух координатных плоскостях);
- размещение камеры машинного зрения так, чтобы обеспечивалось получение и запись данных проецируемой лазерной сетки на поверхности неоднородной сыпучей горной массы.

По результатам серии лабораторных экспериментов, проведенных согласно разработанной методики, получены данные об объеме горной массы с погрешность до 10 % без учета гранулометрического состава и имеющихся пустот.

#### **Оценка состава горной массы**

Предложенный выше способ оценки состава горной массы подразумевает получение данных об естественном радиационном излучении горной массы при помощи гамма-метода, который видится наиболее перспективным по причине высокой проникающей способности и низкого биологического действия, что позволяет определить наличие пустой породы в ней (рисунок 3 а).

В условиях управления выпуском предложено установить радиометр внутри силовой конструкции, как указано на рисунке 3 б.



*а* – процесс измерения с применением радиометра; *б* – размещение радиометра в выпускном окне лавной секции механизированной крепи для отработки угольных пластов с выпуском

Рисунок 3 – Оценка естественной радиактивности угля и породы

Таким образом, одновременно обеспечивается защита чувствительного элемента от физического контакта с горной массой, а также возможность оперативного управления техническими средствами, обеспечивающими выпуск (питатель и заслонка) и остановкой процесса выпуска за счет регистрации изменения естественного радиационного фона пород.

В результате обзора выявлены подходы к применению машинного зрения для оценки объема горной массы. Предложены способы оценки объема и состава горной массы для реализации управления техническими средствами, обеспечивающими выпуск, для своевременной его останавливать, исключить попадание пустой породы на питатель и конвейер. Что также позволяет определять наличие выпуска угля как такового и исключает вероятность перегрузки забойного конвейера.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук» проект FWEZ-2021-0017 «Разработка научных основ создания автономных и автоматизированных горных машин, оборудования, технических и управляющих систем на базе перспективных цифровых и роботизированных технологий» (рег. № 121121000036-1).*

### **Библиографический список**

1. Перспективные технические решения отработки мощных пологих угольных пластов с выпуском / В. И. Клишин, А. В. Николаев, А. П. Егоров, В. Н. Фрянов // Уголь. – 2011. – № 12(1029). – С. 6-10.
2. Nikitenko M. S. Technical devices of powered roof support for the top coal caving as automation objects / M. S. Nikitenko, S. A. Kizilov, P. I. Nikolaev, I. S. Kuznetsov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering – 2018 – Vol. 354
3. Shvarts D., Tamre M. Bulk material volume estimation method and system for logistic applications 9-ya Mezhdunarodnaya konferenciya DAAAM Baltic «Promyshlennaya inzheneriya» [9th International DAAAM Baltic Conference «Industrial engineering»] Estonia, 2014.
4. L. L. Amorim, F. Mutz, A. F. De Souza, C. Badue and T. Oliveira-Santos, «Simple and Effective Load Volume Estimation in Moving Trucks using LiDARs,» 2019 32nd SIBGRAPI Conference on Graphics, Patterns and Images (SIBGRAPI), 2019, pp. 210-217, doi: 10.1109/SIBGRAPI.2019.00036.
5. Heyduk A. Bulk density estimation using a 3-dimensional image acquisition and analysis system. Veb-konferenciya E3S [E3S Web of Conferences]. 2016 Vol.8 DOI: 10.1051/e3sconf/20160801060
6. Changjie X., Yujie , Haimei F., Junhong W., Chang D., Jun D. Research on Automatic Coal Sorting Technology Based on Machine Vision [Electronic resource] – URL: <https://www.atlantis-press.com/proceedings/iicec-15/16981> (date of treatment: 05.10.2022).
7. Wang, W.D., Zhang, C. Separating coal and gangue using three-dimensional laser scanning. Mezhdunarodnyj zhurnal po pererabotke poleznyh iskopaemyh [International Journal of Mineral Processin]. Beijing, 2017, Vol. 169, 79-84.
8. LI, SHANHU and zhang, yanxin and Tao, yourui, An Efficient Method for Separation of Coal/Gangue with Thermal Imaging Technique and Water Evaporation. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=4136069> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4136069>
9. Hu F., BIAN K. Accurate Identification Strategy of Coal and Gangue Using Infrared Imaging Technology Combined With Convolutional Neural Network. Dostup po standartu IEEE [IEEE Access], 2022, Vol. 10.
10. L. L. Amorim, F. Mutz, A. F. De Souza, C. Badue and T. Oliveira-Santos, «Simple and Effective Load Volume Estimation in Moving Trucks using LiDARs,» 2019 32nd SIBGRAPI Conference on Graphics, Patterns and Images (SIBGRAPI), 2019, pp. 210-217, doi: 10.1109/SIBGRAPI.2019.00036.
11. Hong H., Zheng L., Zhu J., Pan S., Zhou K. Automatic Recognition of Coal and Gangue based on Convolution Neural Net [Electronic resource]. – URL:<https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1712/1712.00720.pdf> (date of treatment: 05.10.2022).



12. Геотехнологические перспективы использования радиационных свойств угля и породы / С. М. Никитенко, Ю. Ф. Патраков, М. С. Никитенко [и др.] // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2021. – № 6. – С. 181-189. – DOI 10.15372/FTPRPI202.
13. Разработка мощных пластов механизированными крепями с регулируемым выпуском угля / В. И. Клишин [и др.]; отв. ред. М. В. Курленя; Российская акад. наук, Сибирское отд-ние, Ин-т горного дела. – Новосибирск: Наука, 2007. – 134 с. – ISBN 5-02-023171-1.
14. H. Weber Lidar sensor functionality and variants / Sick ag whitepaper. Germany. 2018.
15. Raj, T.; Hashim, F.H.; Huddin, A.B.; Ibrahim, M.F.; Hussain, A. A Survey on LiDAR Scanning Mechanisms. *Electronics* 2020, 9, 741. <https://doi.org/10.3390/electronics9050741>
16. F. Villa Light detection and ranging (LiDAR). Encyclopedia. Web. 22 June, 2021. <https://encyclopedia.pub/entry/11122>

УДК [621.313.333.1+ 621.313.323]:622.23.05

## АНАЛИЗ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОДЪЕМНОЙ УСТАНОВКИ, ПОСТРОЕННОГО НА ОСНОВЕ МАШИНЫ ДВОЙНОГО ПИТАНИЯ

Поползин И.Ю.<sup>1</sup>, Маршев Д.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»  
г. Новокузнецк, Россия, [eidoline@yandex.ru](mailto:eidoline@yandex.ru)

<sup>2</sup>ООО «НИИ АЭМ СибГИУ»  
г. Новокузнецк, Россия

***Аннотация.** В статье рассматривается один из вариантов модернизации электропривода шахтных и рудничных подъемных установок на основе асинхронного двигателя с фазным ротором – машина двойного питания. Для разработанной авторами схемы электропривода на основе технологических диаграмм подъемной установки проводится анализ режимов работы и делается вывод о необходимости изменения режимов работы преобразователя частоты в цепи ротора для реализации требуемых технологических режимов.*

***Ключевые слова:** подъемная установка, асинхронный двигатель с фазным ротором, машина двойного питания, преобразователь частоты, векторная диаграмма, тахограмма.*

***Abstract.** The article considers one of the options for upgrading the electric drive of mine hoisting installations based on a wound-rotor induction called a doubly-fed motor. An analysis of the operating modes based of technological diagrams of the lifting installation is carried out for the such electric drive circuit developed by the authors. A conclusion about the need to change the operating modes of the frequency converter in the rotor circuit to implement the required technological modes is made.*

***Keywords:** lifting installation, wound-rotor induction motor, doubly-fed induction machine, frequency converter, vector diagram, speed diagram.*

В электроприводе шахтных и рудничных подъемных установок до сих пор достаточно широкое применение находит схема на основе асинхронного двигателя с фазным ротором (АДФР) и роторной станцией. Использование этой схемы исторически было продиктовано возможностью регулировать скорость мощных асинхронных подъемных двигателей в большом диапазоне, не уменьшая при этом их перегрузочную способность; кроме того, данная схема обладает относительной простотой по сравнению с другими. Однако в современных условиях такие установки следует признать морально устаревшими, в первую очередь, по причине низкой энергоэффективности – значительная часть (по разным оценкам, до 25-30%) электрической энергии, подведенной к двигателю, бесполезно рассеивается на резисторах роторной станции в виде тепла. Кроме того, регулирование

скорости подъемного двигателя в данной схеме осуществляется с помощью переключения (шунтирования) ступеней роторной станции, что ведет к практически мгновенному изменению тока роторной цепи двигателя в момент переключения. Это приводит к броскам электромагнитного момента АДФР, что вызывает рывки в подъемных канатах (снижая их срок службы и создавая условия для потенциально аварийных ситуаций) и удары в механических передачах (в первую очередь, в редукторе). Кроме того, ступенчатое изменение сопротивления роторной цепи позволяет осуществлять только ступенчатое же регулирование скорости подъема. Таким образом, указанные электроприводы требуют модернизации для соответствия их современным требованиям.

Одним из способов такой модернизации без замены самого подъемного АДФР является его включение по схеме машины двойного питания (МДП) [1], при этом при этом к ротору машины подключается преобразователь частоты с полностью управляемыми вентильными группами, позволяющий подавать в цепь ротора двигателя добавочное напряжение с регулируемой частотой, амплитудой и фазовым сдвигом [2, 3], а для работы на низких скоростях используется преобразователь тока ротора с активной нагрузкой [4]. Такая схема при условии осуществления алгоритма управления, описанного, например, в [5], позволяет осуществлять энергоэффективное регулирование скорости АДФР в диапазоне 30÷40:1 без существенного падения перегрузочной способности машины и с возможностью рекуперации энергии скольжения во внешнюю сеть.

Упрощенная схема преобразователя в роторной цепи МДП приведена на рисунке 1.

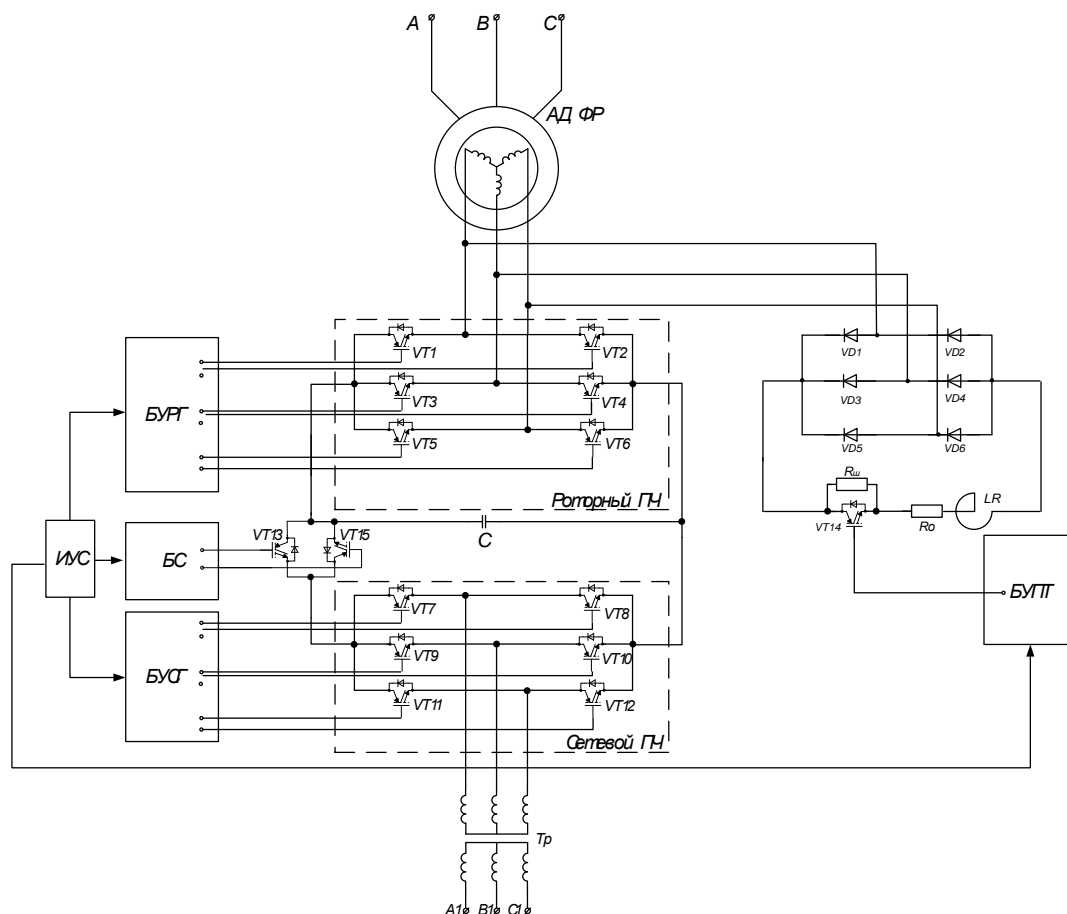
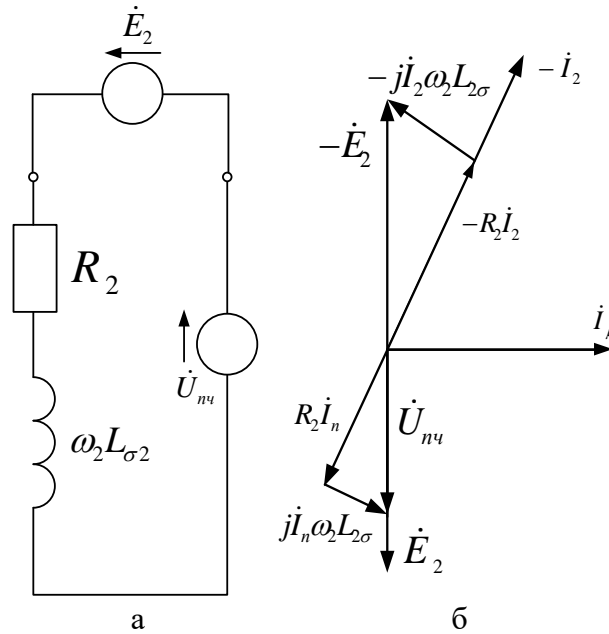


Рисунок 1 – Схема преобразователя в цепи ротора МДП

На рисунке 1 приняты следующие обозначения: VT1-VT15 – силовые ключи (IGBT); A-B-C – сеть, питающая статор; A1-B1-C1 – сеть, питающая преобразователь в

цепи ротора (может быть запитан и от сети А-В-С); С – накопительный конденсатор в цепи постоянного тока; VD1-VD6 – выпрямительные диоды в цепи преобразователя тока; Rш – шунтовое сопротивление; Ro – токоограничивающее сопротивление; LR – сглаживающий реактор; БУРГ – блок управления роторной группой вентиляй; БУСГ – блок управления сетевой группой вентиляй; БС – блок синхронизации; БУПТ – блок управления преобразователем постоянного тока.

Схема замещения фазы ротора и соответствующая ей векторная диаграмма при включении в цепь ротора преобразователя показаны на рисунке 2.



$I_n$  – ток фазы преобразователя;  $U_{нч}$  – напряжение на выходе преобразователя частоты;  $\omega_2$  – частота тока ротора;  $L_{2\sigma}$  – индуктивность рассеяния ротора,  $R_2$  – активное сопротивление ротора,  $I_2$  – ток ротора

Рисунок 2 – а – схема замещения фазы ротора с преобразователем частоты в цепи; б – векторная диаграмма цепи ротора с источником добавочного напряжения

Момент МДП и ток ротора связаны соотношением [1]:

$$M = \frac{3}{2} L_\mu \frac{U_1 I_2 \cos \left[ \arctg \frac{s}{s_{крe}} - \arctg \left( \frac{X_1}{R_1} \right) + \arctg \left( \frac{X_2}{sR_2} \right) \right]}{\sqrt{R_1^2 + X_1^2}}, \quad (1)$$

где  $M$  – электромагнитный момент;  
 $L_\mu$  – индуктивность воздушного зазора машины;  
 $U_1$  – напряжение на статоре МДП;  
 $I_2$  – ток цепи ротора МДП;  
 $s$  – скольжение;  
 $s_{крe}$  – критическое скольжение;  
 $X_1, X_2$  – соответственно, индуктивные сопротивления цепей статора и ротора;  
 $R_1, R_2$  – соответственно, активные сопротивления цепей статора и ротора.

Выразим из (1) ток ротора:

$$I_2 = \frac{M}{\frac{3}{2} L_\mu \frac{u_S \cos \left[ \arctg \frac{s}{s_{KPe}} - \arctg \left( \frac{X_S}{R_S} \right) + \arctg \left( \frac{X_R}{sR_R} \right) \right]}{\sqrt{R_S^2 + X_S^2}}} = \frac{M}{k_M}, \quad (2)$$

где  $k_M$  – коэффициент связи между током ротора и электромагнитным моментом.  
Уравнение электромеханической характеристики двигателя имеет вид:

$$I_2 = \frac{U_1}{\sqrt{\left( R_1 + \frac{R_2}{s} \right)^2 + (X_{1\sigma} + X_{2\sigma})^2}}, \quad (3)$$

где  $X_1, X_2$  – индуктивности статора и ротора соответственно.

В схеме, приведенной на рисунке 1, при условии пренебрежения реактивными сопротивлениями, ток фазы ротора определяется как:

$$I_2 = \frac{E_2 - U_{II}}{R_2}. \quad (4)$$

При расчете и настройке преобразователя возникает задача определения режимов работы вентиляльных групп и направления тока между ними. Поскольку усилие на валу АДФР определяет величину и направление тока ротора, для анализа режимов работы преобразователя, показанного на рисунке 1, проанализировать режимы работы подъемной и сопоставить их с режимами работы АДФР.

Электропривод подъемной установки (ПУ) должен обеспечивать требуемые по технологии подъема на конкретной установке тахограмму движения подъемного сосуда (сосудов) в стволе и диаграмму моментов (движущих усилий). Конкретный вид тахограммы зависит от технологических особенностей конкретного подъема, а также технических особенностей и конструкции самой установки, однако практика показывает, что наиболее часто как для скиповых, так и для клетевых ПУ применяются трех-, пяти- или семипериодные кусочно-линейные тахограммы [6].

Для определения режимов работы подъемного двигателя обычно осуществляют совместное построение тахограммы, диаграммы ускорений и диаграммы движущих усилий (моментов). Связь основных механических параметров движения при этом выражается основным уравнением движения электропривода:

$$M_{дв} - M_c = J_\Sigma \frac{d\omega}{dt}, \quad (5)$$

где  $M_{дв}$  – электромагнитный момент двигателя;

$M_c$  – момент нагрузки на валу двигателя;

$J_\Sigma$  – приведенный к валу двигателя суммарный момент инерции всех движущихся частей ПУ.

Проанализируем диаграммы работы подъемной машины и соответствующие им режимы работы МДП и частотного преобразователя в роторе/ Как правило, для подъемной установки характерны следующие типовые участки движения с постоянными значениями ускорения [7,8]:

1. выборка напуска каната;

2. растормаживание;
3. разгон и движение на малой скорости в разгрузочных кривых;
4. выход из кривых и разгон до полной скорости подъема;
5. движение на полной скорости;
6. торможение и вход в кривые;
7. движение на малой скорости в кривых;
8. торможение и останов.

Ускорение на участках 1, 3 и 4 положительно. Таким образом, выражение (5) с учетом знака скорости и (2) примет вид:

$$\begin{cases} M_{ДВ} - M_C = J_{\Sigma} \frac{d\omega}{dt} > 0, \\ \omega > 0, \\ I_2 > 0. \end{cases} \quad (6)$$

В соответствии с (6) выражение для электромеханической характеристики (3) примет вид:

$$I_2 = \frac{U_1}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2\omega_0}{(\omega - \omega_0)}\right)^2 + (X_{1\sigma} + X_{2\sigma})^2}} \quad (7)$$

С учетом (6) и (7) выражение (4) может быть преобразовано к виду:

$$U_{II} = E_2 - I_2 R_2 \quad (8)$$

Из выражения (8) следует, что на указанных участках тахограммы подъемный двигатель работает в двигательном режиме (I квадрант электромеханической характеристики). При этом ток в звене постоянного тока преобразователя протекает в направлении от роторной группы вентилях к сетевой, изменение  $U_{II}$  позволяет регулировать величину тока ротора, а, следовательно, и развиваемого двигателем момента. Векторная диаграмма для данного режима имеет вид, показанный на рисунке 3.

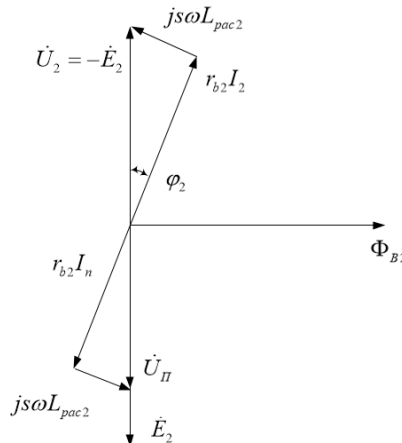


Рисунок 3 – Векторная диаграмма для двигательного режима

Данный режим в целом аналогичен двигательному режиму работы АДФР с изменением активного сопротивления роторной цепи, однако скорость вращения ротора двигателя в данном случае определяется не величиной активного сопротивления цепи ротора, а величиной тока  $I_n$ .

Ускорение на участках 6, 8 отрицательно, (5) примет вид:

$$\begin{cases} M_{ДВ} - M_C = J_{\Sigma} \frac{d\omega}{dt} < 0, \\ \omega > 0, \\ I_2 > 0. \end{cases} \quad (9)$$

С учетом (9) выражение (4) может быть преобразовано к виду:

$$U_{II} = -E_2 + I_2 R_2. \quad (10)$$

Векторная диаграмма, соответствующая данному режиму, приведена на рисунке 4.

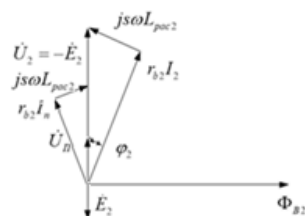


Рисунок 4 – Упрощенная векторная диаграмма АДФР в режиме торможения

В соответствии с (10) на указанных участках двигатель работает в тормозном режиме. В этом случае поток энергии направлен от ротора к сети. При этом, изменяя ЭДС сетевого блока, можно добиться изменения тока ротора и тормозного момента, а также рекуперации энергии [9,10].

На участках 3, 5, 7 ускорение равно 0, выражение (1) примет вид:

$$\begin{cases} M_{ДВ} - M_C = 0, \\ \omega > 0, \\ I_2 > 0. \end{cases} \quad (11)$$

На указанных участках двигатель работает в установившемся двигательном режиме.

Таким образом, совместный анализ технологических режимов работы электропривода и приводного двигателя позволяет установить условия реализации того или иного режима и разработать алгоритм управления.

### Библиографический список

1. Ostrovlyanchik V. Y. Algorithmic structure of control system of mine winder electric drive with a doubly-fed motor / V. Yu. Ostrovlyanchik, I. Yu. Popolzin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – Vol. 377. [012042, 8 p.]. – DOI: 10.1088/1755-1315/377/1/012042.

2. Онищенко Г. Б. Асинхронные вентиляные каскады и двигатели двойного питания / Г. Б. Онищенко, И. Л. Локтева. – М.: Энергия, 1979. – 200 с.
3. Хватов С. В. Проектирование и расчет асинхронного вентиляного каскада [Текст] / С. В. Хватов, В. Г. Титов. – Горький: ГГУ им. Н. И. Лобачевского, 1977. – 91 с.
4. Управляемый преобразователь тока для электропривода шахтной подъемной установки на основе машины двойного питания / В.Ю. Островлянчик, И.Ю. Поползин, Д.А. Маршев, А.В. Толстых, А.В. Дроздова // Горное оборудование и электромеханика. – 2019. – №1. – С.
5. V Yu Ostrovlyanchik et al. Operation algorithm of the hoist electric drive based on a doubly-fed machine with combined control / V Yu Ostrovlyanchik, I Yu Popolzin, V A Kubarev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018. –Vol. 206. – Iss.1. – 012040.
6. Долганов А. В. Стационарные машины / А. В. Долганов. – М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2017. – 281 с.
7. Шахтный подъем / В. Р. Бежок, В. И. Дворников, И. Г. Манец, В. А. Пристром; под общ. ред. Б. А. Грядущего и В. А. Корсуна. – Донецк : ООО «Юго-Восток ЛТД», 2007. – 624 с.
8. Руководство по ревизии и наладке шахтных подъемных установок / В. Р. Бежок, В. Г. Калинин, В. Д. Коноплянов, Е. М. Курченко; под общ. ред. В. А. Корсуна. – Донецк : Донеччина, 2009 . – 672 с.
9. Pena R. Doubly fed induction generator using back-to-back PWM converters and its application to variable-speed wind-energy generation / R. Pena, J. C. Clare, G. M. Asher // IEE Proceedings – Electric Power Applications, 1996. – Vol. 143. – Iss. 3. – P. 231 – 241.
10. Понкратов А. С. Использование машины двойного питания в качестве генератора переменного тока / А. С. Понкратов, Д. Н. Мирошник // Инновационные перспективы Донбасса: материалы международной научно-практической конференции, г. Донецк, 20 – 22 мая 2015 г. Т. 2: Перспективы развития электротехнических, электромеханических и энергосберегающих систем. – 2015. – С. 12 – 21.

## Секция 1. Системы автоматизации производственного, исследовательского и учебного назначения

УДК 004.9

### КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ КРИТЕРИИ И АЛГОРИТМЫ РАСЧЕТА ДЛЯ ОЦЕНКИ ДИАГНОСТИКИ РЕЖИМА РАБОТЫ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

Спирин Н.А., Федотов Г.А., Истомин А.С., Щипанов К.А.

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»  
г. Екатеринбург, Россия, n.a.spirin@urfu.ru; grigory.fedotov@urfu.ru;  
as.istomin@urfu.ru; rukirill.shchipanov@urfu.ru

**Аннотация.** В работе предложены и обоснованы количественные критерии и алгоритмы их расчета для оценки диагностики нормального режима работы доменной печи. Рассмотрены критерии и алгоритмы их расчета, позволяющие распознать наличие отклонения доменной плавки от нормального режима. Для этого проведено исследование влияния параметров хода доменной плавки на вероятность возникновения отклонения от нормального режима. Предусмотрена диагностика следующих отклонений от нормального режима доменной печи: нарушение устойчивости газового потока (периферийный, центральный газовые потоки); теплового режима плавки (горячий и холодный ход плавки); ровного схода шихты в печи (подвешивание шихты: верхнее и нижнее, тугой ход).

**Ключевые слова:** доменное производство, информационно-логическая система, диагностика хода доменной плавки, количественные критерии, алгоритмы расчета.

**Abstract.** This article proposes and substantiates quantitative criteria and algorithms for their calculation to assess the diagnosis of the normal operation of the blast furnace. The criteria and algorithms of their calculation are considered, allowing to recognize the presence of a deviation of the blast furnace melting from the normal mode. For this purpose, the influence of the parameters of the blast furnace melting stroke on the probability of a deviation from the normal mode was studied. Diagnostics of the following deviations from the normal mode of the blast furnace is provided: violation of the stability of the gas flow (peripheral, central gas flows); thermal mode of melting (hot and cold course of melting); smooth descent of the charge in the furnace (suspension of the charge: upper and lower, tight stroke).

**Keywords:** blast furnace production, information and logic system, diagnostics of the course of blast furnace melting, quantitative criteria, calculation algorithms.

Современный процесс выплавки чугуна в доменной печи подвержен влиянию многих переменных контролируемых и неконтролируемых факторов, которые вызывают нарушения хода печи и ее теплового состояния и требуют высокой квалификации технологического персонала при управлении доменной плавкой. Одним из способов диагностики и управления ходом доменной печи в настоящее время является использование экспертных систем, включающих в себя как детерминированные знания о процессе, так и формализованный практический опыт специалистов-доменщиков. Технологические основы экспертных систем доменной плавки представлены в работах [1-8]. Развитие таких систем возможно при использовании детерминированных знаний о процессе и обобщении практического опыта специалистов в предметной области.

*Подсистема диагностики нормального хода доменной плавки*

Эта подсистема призвана в режиме реального времени отслеживать показатели доменной плавки и на их основе в численном выражении указывать на возможное наличие отклонения от нормального режима.

При нормальном режиме работы отклонение по модулю  $i$ -го признака  $\Delta X_i$ , характеризующего работу печи в базовом  $X_i^B$  (заданные значения) и проектном периодах  $X_i^{Пне}$  должно превышать допустимого значения  $\Delta X_i^{доп}$ , которое является настройкой модели.



$$\Delta X_i = |X_i^B - X_i^H| \leq \Delta X_i^{\text{доп}}. \quad (1)$$

Если условие (1) выполняется («Истина»), то значению  $i$ -го идентификатора признака  $P_i$  присваивается значение «1», в противном случае («Ложь») – значение «0». При этом все признаки ранжируются. Каждому из них присваивается значение его ранга  $R_i$  изменяющегося в диапазоне от «0» до «1», определяемого методом экспертного оценивания.

Вероятность нормальной работы доменной печи ( $V_n$ ), рассчитывается по следующему соотношению:

$$V_n = \sum_{i=1}^n \left( P_i \times \frac{R_i}{\sum_{i=1}^n R_i} \right) = \sum_{i=1}^n (P_i \times \alpha_i) \quad (2)$$

где  $\alpha_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го идентификатора признака, изменяющийся в диапазоне от 0 до 1;

$n$  – число признаков.

В расчетах принимались следующие условия: если вероятность  $V_n$  более 0,8 (нормативно-справочная информация), то доменная плавка имеет ровный ход плавки без существенных отклонений от заданного режима; если вероятность  $V_n$  находится в диапазоне от 0,6 до 0,8 (нормативно-справочная информация), то на рассматриваемой печи присутствует нормальный режим плавки; в ином случае на печи присутствует неровный ход печи и необходимо корректировать ход печи для ликвидации отклонений плавки от нормального режима.

Для распознавания нормального режима работы доменной печи значения для условий работы конкретной доменной печи. Число контролируемых признаков, используемых в модели для распознавания нормального режима работы доменной печи, составляет 12. В отличие от известных работ других авторов в данном исследовании осуществляется интеграция комплексов контролируемых признаков и расчетных параметров доменной плавки. В математическом и программном обеспечении используется дополнительно комплекс 9 основных расчетных показателей, используемых в модели доменного процесса УрФУ-ММК и адаптируемых применительно к условиям ПАО «ММК» [9-10]. Таким образом, число признаков достигает 21.

Основные комплексные расчетные параметры для диагностики хода доменной плавки относятся к следующим режимам [8-9]:

– тепловой режим – обобщенные параметры, характеризующие тепловое состояние: верхней (индекс теплового состояния шахты) и нижней части доменной печи (индекс теплового состояния низа);

– газодинамический режим – степень уравнивания шихты газом в верхней и нижней частях печи, в отдельных кольцевых зонах и др. Прогнозирование и расчет критических газодинамических параметров доменной плавки;

– шлаковый режим – вязкость и политермы вязкости конечного шлака: вязкость шлака при заданной температуре, градиент вязкости шлака в диапазоне от 2,5 до 0,7 Па\*с, Па\*с/°С, градиент вязкости шлака в пределах от 1400 до 1500°С, Па\*с / °С;

– интенсивность проплавки (объем проплавленной шихты за единицу времени, м<sup>3</sup>/мин.). Является аналогом скорости схода шихты на колошнике печи.

*Распознавание вида отклонений от нормального режима доменной печи*

В случае обнаружения такого отклонения подсистема определяет его вид и вероятность возникновения. Предусмотрена диагностика следующих отклонений от нормального режима доменной печи:

1. нарушение устойчивости газового потока (периферийный, центральный газовые потоки);

2. нарушение теплового режима плавки (горячий и холодный ход плавки);
3. нарушение ровного схода шихты в печи (подвисяние шихты: верхнее и нижнее, тугой ход).

Для выявления вида отклонения плавки от нормального режима работы доменной печи сочли целесообразным использовать сравнение между собой параметров двух периодов – базового, для которого значения параметров плавки  $X_i^B$  являются настройкой модели и характеризует его нормальный режим работы. Вторым для распознавания видов отклонения от нормального режима работы доменной печи выбирается проектный период, в котором производится сбор информации в течение 2 часов.

При наличии отклонения от нормального режима доменной плавки разность значений  $i$ -го признака  $\Delta X_i$ , характеризующего работу печи в базовом  $X_i^B$  и проектном периодах  $X_i^П$ , превышает допустимое значения  $\Delta X_i^{доп}$

$$\Delta X_i = (X_i^B - X_i^П) \geq \Delta X_i^{доп}. \quad (3)$$

Вероятность распознавания видов отклонения от нормального режима, значение критерия  $B_n^{отк}$  рассчитывается по соотношению, аналогичному уравнению (2).

Диагностика видов отклонений от нормального режима доменной плавки, количество контролируемых и расчетных (по модели) параметров для оценки этих режимов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Количество контролируемых и расчетных (по модели) параметров для оценки видов отклонений от нормального режима доменной плавки

Вид отклонений от нормального режима	Количество контролируемых параметров	Количество комплексных расчетных параметров	Итого
<i>Нарушение устойчивости газового потока:</i>			
– периферийный газовый поток;	9	3	12
– центральный газовый поток.	8	2	10
<i>Нарушение теплового режима плавки:</i>			
– горячий ход плавки;	8	4	12
– холодный ход плавки.	7	5	12
<i>Нарушение ровного схода шихты в печи:</i>			
– верхнее подвисяние шихты;	6	3	9
– нижнее подвисяние шихты;	3	3	6
– тугой ход печи.	6	6	12
<i>Итого:</i>	47	26	73

В таблице 2 представлен фрагмент одного из вариантов оценки нормального хода доменной печи №10 ПАО «ММК». Значение вероятности нормального хода доменной плавки, равное 0,63, свидетельствует о том, что на рассматриваемой печи присутствует нормальный режим плавки.

Таблица 2 – Расчет вероятности нормального хода доменной плавки

№ п/п	Наименование признака, размерность	Базовый период	Проектный период	Отклонение параметра	Допустимое отклонение	Ранг признака, $R_i$	$\alpha_i$	$P_i$
P <sub>1</sub>	Расход дутья, м <sup>3</sup> /мин	3422	4019	597	603	0,9	0,055	1
P <sub>2</sub>	Температура дутья, °С	1147	1154	7	50	0,6	0,036	1
P <sub>3</sub>	Общий перепад давления, кПа	131	140	9	5	0,7	0,042	0
P <sub>4</sub>	Нижний перепад давления, кПа	92	98	6	3,5	0,8	0,048	0
P <sub>5</sub>	Верхний перепад давления, кПа	39	42	3	1,5	0,7	0,042	0
P <sub>6</sub>	Окружная неравномерность температуры газа, °С	193	332	139	100	0,6	0,036	0
P <sub>7</sub>	Неравномерность распределения температуры колошниково-го газа по газоотводам, °С	95	95	0	100	0,8	0,048	1
P <sub>8</sub>	Отклонение усреднённой температуры колошниково-го газа, °С	184	161	-23	100	0,8	0,048	1
P <sub>9</sub>	Содержание Si в чугуна, %	0,72	0,948	0,228	0,1	0,9	0,055	0
P <sub>10</sub>	Содержание CO <sub>2</sub> в колошниково-м газе, %	20,26	19,21	-1,05	1	0,8	0,048	0
P <sub>11</sub>	Температура чугуна, °С	1416	1475	59	50	0,8	0,048	0
P <sub>12</sub>	Основность шлака (CaO+MgO)/SiO <sub>2</sub> , доли	1,221	1,214	-0,007	0,05	0,9	0,055	1
P <sub>13</sub>	Индекс теплового состояния низа, доли	1	1,1	0,1	0,05	0,9	0,055	0
P <sub>14</sub>	Индекс теплового состояния верха печи, доли	0,7	0,7	0	0,05	0,6	0,036	1
P <sub>15</sub>	Степень уравнивания шихты газовым потоком, доли	0,55	0,58	0,03	0,1	0,9	0,055	1
P <sub>16</sub>	Степень уравнивания шихты газовым потоком в верхней части печи, доли	0,3	0,3	0	0,05	0,9	0,055	1
P <sub>17</sub>	Степень уравнивания шихты газовым потоком в нижней части печи, доли	0,65	0,7	0,05	0,1	0,9	0,055	1
P <sub>18</sub>	Вязкость конечного шлака при температуре 1500 °С, пу-аз/(Па*с):	3,5/ (0,35)	3/ (0,3)	-0,5 (0,05)	0,5 (0,05)	0,7	0,042	1
P <sub>19</sub>	Градиент вязкости шлака в диапазоне (2,5-0,7 Па*с), Па*с/°С	0,0175	0,0185	0,001	0,005	0,7	0,042	1
P <sub>20</sub>	Градиент вязкости шлака в пределах от 1400°С до 1500°С, Па*с/°С	0,005	0,0055	0,0005	0,001	0,8	0,048	1
P <sub>21</sub>	Объём проплавленной шихты за единицу времени, м <sup>3</sup> /мин.	6,5	6,75	0,25	0,5	0,8	0,048	1
Вероятность нормального хода печи, доли								0,63

Итоги результатов моделирования, приведенные в таблице 3, свидетельствуют о том, что вероятности того или иного вида отклонений от нормального режима не превышают пороговых значений, принятых равными 0,8.

Таблица 3 – Результаты расчетов вероятности нарушений хода доменной плавки в проектном периоде

№ п.п.	Вид нарушений	Вероятность нарушений, доли
1	Периферийный ход	0,163
2	Осевой ход	0,093
3	Горячий ход	0,369
4	Холодный ход	0,074
5	Тугой ход	0,247
6	Верхнее подвисяние шихты	0,083
7	Нижнее подвисяние шихты	0,000

#### *Заключение*

Усовершенствована математическая модель диагностики состояния и прогнозирования хода доменной плавки УрФУ-ММК за счет разработки блока логической модели, использующей комплекс контролируемых и расчетных параметров. Разработано соответствующее алгоритмическое и программное обеспечение, которое может быть использовано в режиме советчика мастера для выбора управляющих воздействий.

Предложены и обоснованы количественные критерии и алгоритмы их расчета для оценки диагностики нормального режима работы доменной печи, а также отклонений от нормального режима.

#### **Библиографический список**

1. Интеллектуальная автоматизированная система управления металлургическими агрегатами / В.И. Соловьев, Е.А. Павлова, В.А. Краснобаев // Черные металлы. 2004. №7-8. – С. 26-29.
2. Лисиенко В.Г., Суханов Е.Л., Морозова В.А., Овчинников Ю.Н. Структура трехуровневой АСУТП доменной печи с использованием логико-количественной экспертной системы. Учебное пособие. – Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2003. – 82 с.
3. Blast furnace Phenomena and modelling / Ed. By Yasuo Omori. Elsevier applied science. – London and New York, 1987. – 631 p.
4. Lida O. Применение управляющей системы и искусственным интеллектом в доменном производстве. Application of a techniques to blast furnace operation / O. Lida, S. Taniyochi, T.Hetani // Kawasaki Steel Techn Dept, 1992, №26. – С. 30–37.
5. Edwards J.S. Expert Systems in Management and Administration – Are they really different from Decision Support Systems? // European Journal of Operational Research, 1992. Vol. 61. – Pp. 114-121.
6. Power D. J. Web-based and model-driven decision support systems: concepts and issues. Americas Conference on Information Systems, Long Beach, California, 2000.
7. Экспертная система управления ходом доменной плавки / М.М. Френкель, Ю.В. Федулов, О.А. Белова, В.А. Краснобаев // Сталь. 1992. №7. – С. 15-18.
8. Информационные системы в металлургии // Н.А. Спириин, Ю.В. Ипатов, В.И. Лобанов [и др.]; под ред. Н.А. Спирина. – Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2001. – 617 с.
9. Модельные системы поддержки принятия решений в АСУ ТП доменной плавки металлургии / Н.А. Спириин, В.В. Лавров, В.Ю. Рыболовлев [и др.]; под ред. Н.А. Спирина. – Екатеринбург: УрФУ, 2011. – 462 с.
10. Логические основы распознавания вида отклонения доменной плавки от нормального режима / О.П. Онорин, Н.А. Спириин, А.В. Павлов, В.В. Лавров, А.С. Истомин // Известия вузов. Черная металлургия. 2014. № 8. – С. 42-47.

## О ФОРМИРОВАНИИ ОПТИМАЛЬНЫХ РАСКРОЙНЫХ ПЛАНОВ НА УЧАСТКЕ ОТДЕЛКИ 25-МЕТРОВЫХ РЕЛЬСОВ

Темнохудов Д.Р., Кулаков С.М.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»

г. Новокузнецк, Россия, danil.temnokhudov00@mail.ru

**Аннотация.** В статье приведено описание установки ультразвукового контроля участка отделки рельсов длиной 25 метров, расположенной в рельсобалочном цехе АО «ЕВРАЗ ЗСМК». Установка предназначена для выявления наличия дефектов рельса. Наличие дефектов делает невозможным использование рельса. Однако, поскольку номенклатура рельсов предусматривает для них различные длины, то при возможности удаления дефектной зоны механическим методом оставшаяся часть рельса может быть использована как годная. Поэтому, зная координаты и длину дефектов в рельсе имеется возможность сформировать для сверлильно-отрезного станка оптимальную раскройную схему.

**Ключевые слова:** АСУТП, неразрушающий контроль, ультразвуковой контроль зеркально-теневым методом, рельсовое производство.

**Abstract.** The article describes the system of ultrasonic control of the rail finishing section with a length of 25 meters, located in the rail-block shop of JSC EVRAZ ZSMK. The system is designed to detect the presence of rail defects. The presence of defects makes it impossible to use the rail. However, since the nomenclature of rails provides different lengths for them, if it is possible to remove the defective zone mechanically, the remaining part of the rail can be used as a suitable. Therefore, knowing the coordinates and the length of defects in the rail, it is possible to form an optimal cutting scheme for a drilling and cutting machine.

**Keywords:** APCS, nondestructive testing, ultrasonic inspection by mirror-shadow method, rail production.

Контролю качества выпускаемых рельсов уделяется особое внимание. Качество рельсовой продукции должно соответствовать ГОСТ Р 51685-2013, ГОСТ Р 55820-2013, EN 13674-1, EN 13674-2, AREMA. Для поддержания высокого качества и стандартов выпускаемых рельсов в рельсобалочном цехе (РБЦ) АО «ЕВРАЗ ЗСМК» применяются автоматизированные установки ультразвукового контроля зеркально-теневым методом. Суть данного метода заключается в излучении в изделие и последующем принятии отраженных ультразвуковых колебаний с помощью специального оборудования – ультразвукового дефектоскопа и пьезоэлектрического преобразователя (ПЭП) и дальнейшем анализе полученных данных с целью определения наличия дефектов, а также их эквивалентного размера, формы, вида, глубины залегания и пр. Наличие подобных дефектов делает невозможной эксплуатацию данного рельса. Однако, поскольку номенклатура рельсов предусматривает для них различные длины, то при возможности удаления дефектной зоны оставшаяся часть рельса может быть использована как годная.

Объектом автоматизации является участок отделки рельсов длиной 25 метров, расположенный в рельсобалочном цехе АО «ЕВРАЗ ЗСМК». Он включает в себя линию неразрушающего контроля (ЛНК), в состав которой входит установка мокрого ультразвукового контроля (МУЗК) (рисунок 1).

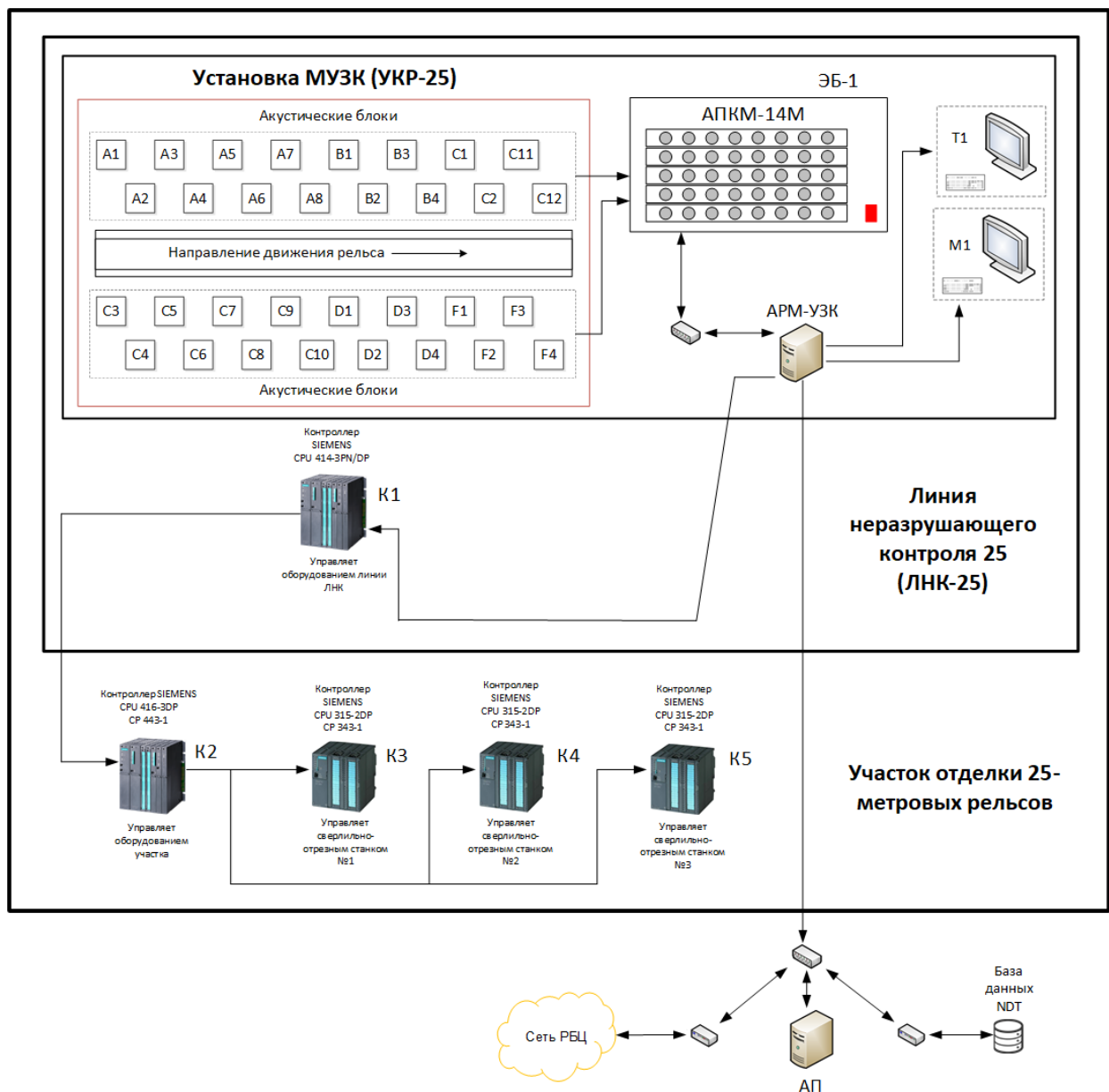


Рисунок 1 – Структурная схема системы МУЗК для 25-метровых рельсов

Обозначения:

- ЭБ-1: электронный блок дефектоскопа;
- А1-А8, В1-В4, С1-С12, D1-D4, F1-F4: акустические блоки, с расположенными в них ультразвуковыми дефектоскопами и пьезоэлектрическими преобразователями;
- АРМ УЗК, М1: системный блок АРМ УЗК с основным монитором М1;
- Т1: выносной терминал дефектоскописта;
- АП: системный блок архива протоколов;
- К1: контроллер S7-400, управляющий оборудованием ЛНК-25;
- К2: контроллер S7-400, управляющий оборудованием участка отделки-25;
- К3, К4, К5: контроллеры S7-300, управляющие сверлильно-отрезными станками.

Технология обработки рельсов на участке следующая: рельс поступает на рольганг имея длину 25300 мм или более. Он проходит через горизонтальную и вертикальную роликоправильные машины (ГРПМ, ВРПМ) и через специальный рольганг поступает на ЛНК. Двигаясь со скоростью 2м/с, он проходит через установку МУЗК, в которой производится контроль наличия дефектов в рельсе. Результаты измерения передаются на АРМ

дефектоскописта, который производит визуальный контроль результата измерения и подтверждает или отклоняет наличие дефекта. Если рельс признан годным, он передается на другой рольганг и задается в станок. Последний производит обрезь неконтролируемых концов и разрезает рельс на необходимые размеры. Затем рельс передается в пресс, который осуществляет контроль прямолинейности концов рельса и их доправку методом давления в четырех плоскостях. После этого рельс передается на инспекторский стеллаж отдела технического контроля ОТК. Если рельс признан негодным, то он проходит через станок и пресс без обработки, и сталкивается на браковочный стеллаж.

Система ультразвукового контроля рельсов (УКР-25) включена в информационный обмен данными с информационной системой РБЦ. Перед началом контроля Система УКР-25 считывает из базы данных NDT Technologies Inc номер рельса на позиции УЗК. По окончании контроля она сохраняет в локальной базе данных результат контроля рельса для последующего использования в информационной системе РБЦ.

В зависимости от схемы прозвучивания рельса, каналы контроля могут быть следующих видов (рисунок 2):

- с поверхности катания головки (В1,2; D1,2; В3,4);
- с боковых граней головки (А1,2; А3,4; А5,6; А7,8);
- с боковой поверхности шейки (С1,2; С3,4; С5,6; С7,8; С9,10; С11,12);
- с нижней стороны подошвы (F1,2; D3,4; F3,4).

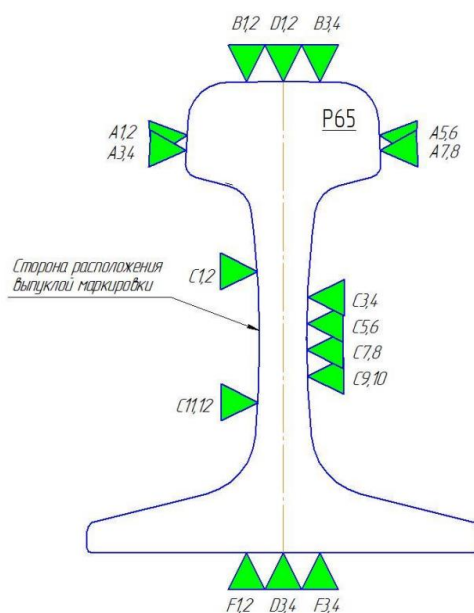


Рисунок 2 – Схема прозвучивания рельсов типа Р65

В результате прозвучивания рельса по каждому каналу формируется дефектограмма (рисунок 3). Дефектограмма позволяет определить координаты и длину дефектов в рельсе. С АРМ-УЗК контроллер S7-400 ЛНК-25 получает данные в виде таблицы по каждому каналу контроля, в которой приводится информация по: начальной координате дефекта; длине дефекта; типу дефекта; амплитуде максимума; глубине.

Укрупненный алгоритм анализа данных ультразвукового контроля, выделения бездефектных участков условно дефектного рельса и формирования оптимального раскройного плана представлен на рисунке 4.

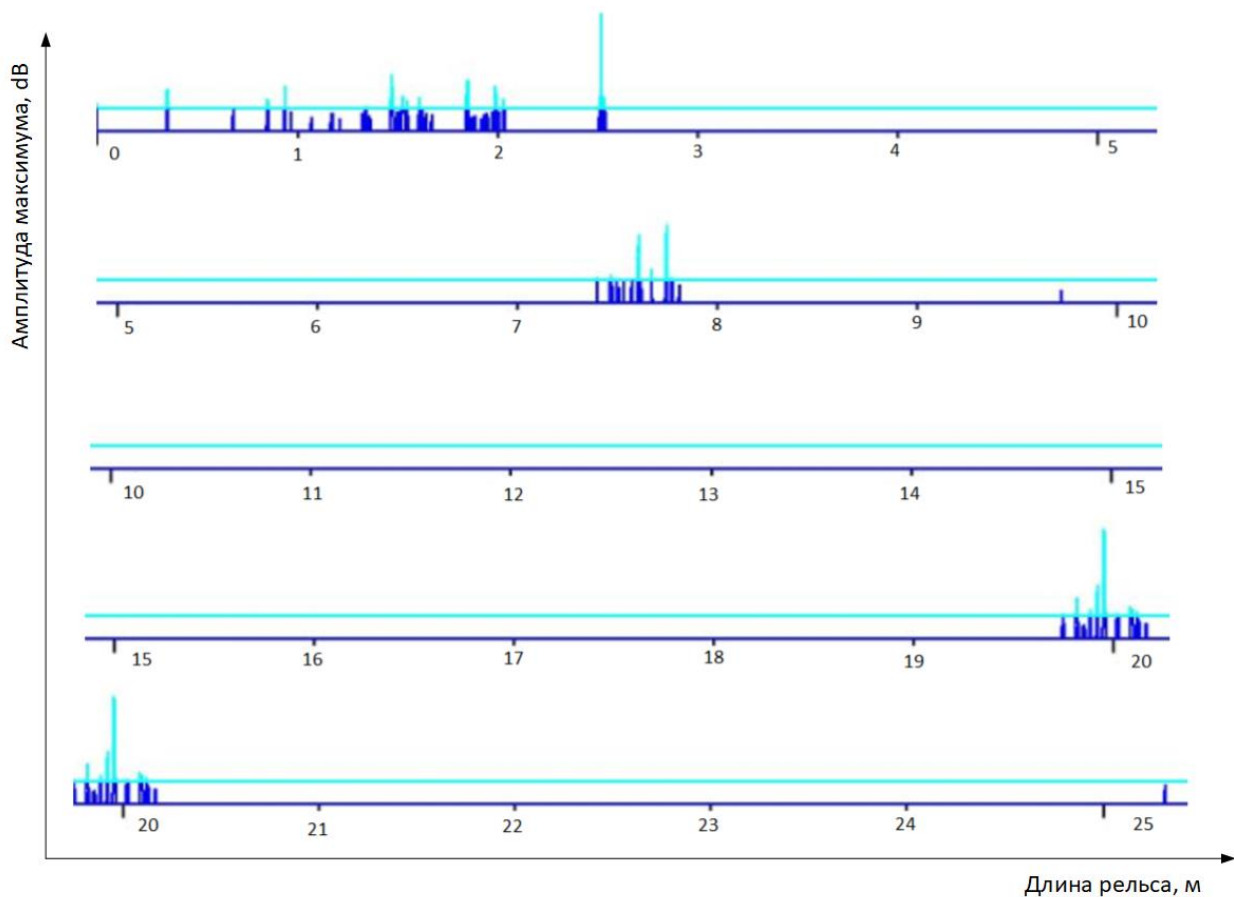


Рисунок 3 – Пример дефектограммы, полученной для канала С5

Таблица 1 – Таблица дефектов по каналу С5

Обозначение ка- нала контроля	Начало де- фекта, мм	Длина дефек- та, мм	Тип дефекта	Амплитуда максимума, dB	Глубина, мм
C5	346	10	1	2	12
C5	940	6	1	8	11
C5	1473	10	1	12	10
C5	1528	16	1	8	11
C5	1614	4	1	8	12
C5	1848	13	1	10	11
C5	1981	15	1	3	10
C5	1993	12	1	11	10
C5	2036	4	1	7	12
C5	2517	30	1	12	12
C5	7599	16	1	6	9
C5	7673	3	1	6	10
C5	7741	9	1	9	10
C5	19811	16	1	12	10
C5	19912	13	1	4	9
C5	19953	13	1	12	10



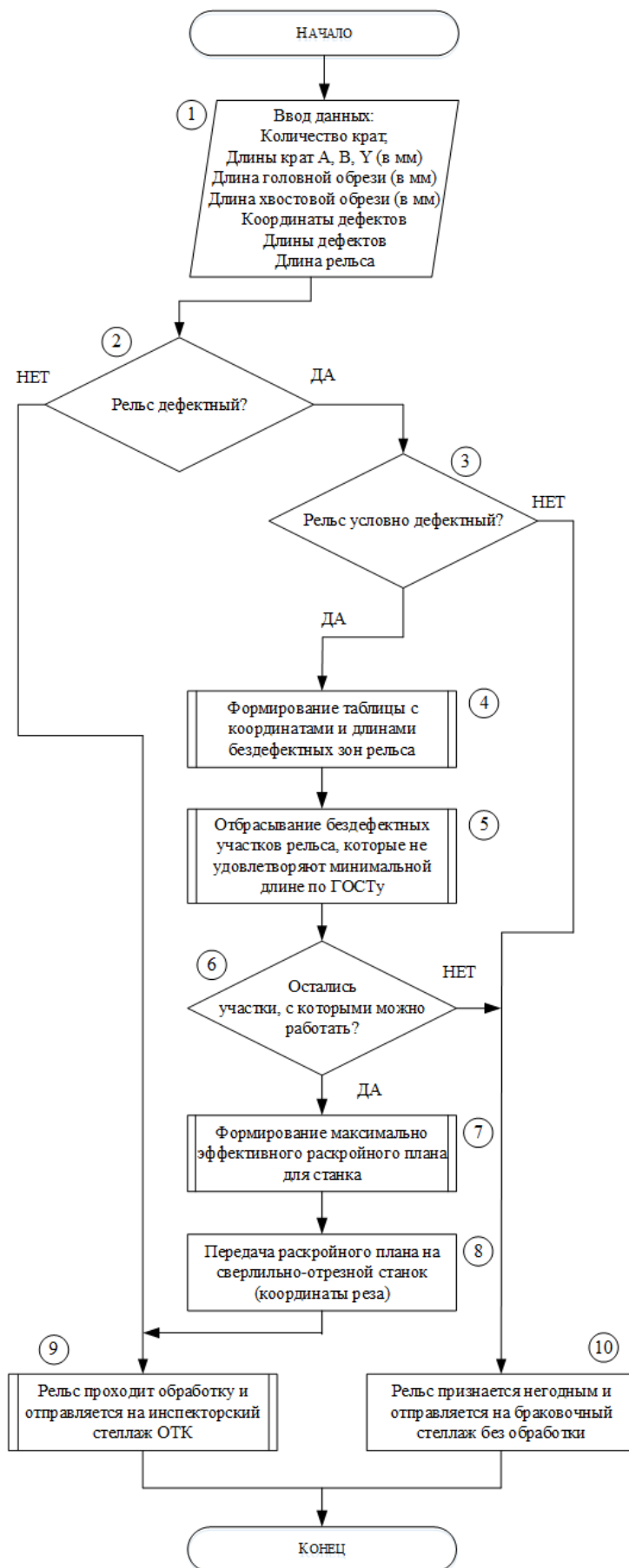


Рисунок 4 – Блок-схема формирования оптимального плана раскроя условно дефектного рельса

В настоящее время, при обнаружении дефекта в рельсе, весь рельс признается негодным. Однако в ГОСТ Р 51685-2013, ГОСТ Р 55820-2013 длина рельсов типа Р может быть 25,00; 24,92; 24,84; 12,52; 12,50; 12,46; 12,42 12,38 м с допускаемым отклонением  $\pm 4$  мм. А длина рельсов типа ОР может быть 17000, 15540, 13110, 10790, 8340, 6555 мм с допускаемым отклонением  $\pm 4$  мм. При этом система управления сверлильно-отрезным станком позволяет изменить параметры алгоритма раскроя рельсов в заданном диапазоне.

Таким образом, зная координаты и длину дефектов в рельсе возможно сформировать для сверлильно-отрезного станка раскройную схему, которая позволит вырезать из рельса дефектные участки и производить из условно бракованного товарный рельс заданной стандартной длины.

### Библиографический список

1. ГОСТ Р 51685-2013. РЕЛЬСЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЕ. Общие технические условия.
2. ГОСТ Р 55820-2013. РЕЛЬСЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЕ ОСТРЯКОВЫЕ. Технические условия.
3. EN 13674-1. Железные дороги. Верхнее строение пути. Рельсы. Часть 1. Рельсы Виньоля 46 кг/м и более.
4. EN 13674-2. Железные дороги. Верхнее строение пути. Рельсы. Часть 2. Рельсы стрелок и переездов, используемые вместе с рельсами Виньоля 46 кг/м и более.

УДК 004.032.26:669.162

## РАСПОЗНАВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Трофимов В.Б.

*Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»  
г. Москва, Россия, trofimov\_vbt@mail.ru*

**Аннотация.** В работе рассматривается применение искусственной нейронной сети для распознавания состояния доменной печи, обеспечивающей стабильность ее работы и уменьшение издержек производства. Предложена нейронная сеть на основе продукционной модели представления знаний, извлеченных из натуральных данных, опыта эксплуатации доменной печи, технологических инструкций по производству чугуна. Информативные признаки представлены в виде траекторий с выраженными типами трендов. Эти признаки сформированы на основе прецедентного подхода, фильтрации натуральных данных, их группировки, сортировки.

**Ключевые слова:** доменная печь, искусственная нейронная сеть, распознавание, управление, контрольно-измерительные приборы.

**Abstract.** Artificial neural networks that recognize the state of a blast furnace, ensure its operational stability, and reduce the production costs are considered. An artificial neural network based on a production model of knowledge representation is proposed. The knowledge is extracted from field data, blast-furnace operating experience, and iron production operating procedures. The informative features are represented as trajectories with pronounced trends. They were obtained using a case-based approach, field data filtration, grouping, and sorting.

**Keywords:** blast furnace, artificial neural network, recognition, control, measuring instrumentation.

**Введение.** Одним из основных фундаментальных направлений современной науки и техники является теория искусственных нейронных сетей, принципы их построения и применения в металлургической промышленности. Теория нейронных сетей является логическим базисом для решения задач автоматизации управления сложными процессами.

Искусственная нейронная сеть это сеть с конечным числом слоев из однотипных элементов с различными типами связей между собой. Эти элементы осуществляют обработку и передачу сигналов, являются аналогами нейронов. Сложность функционирования нейросетей определяется связями между нейронами, то есть структурой связей.

Нейронные сети хорошо приспособлены для параллельных вычислений. Нейронные сети сохраняют работоспособность даже при разрушении некоторых связей в сети, реализуют функциональное преобразование входного пространства состояний в выходное. Это преобразование имеет аналитическое описание, что позволяет разработать эффективные алгоритмы обучения сети. Обучение с учителем, один из способов машинного обучения, предполагает наличие полного набора входных и выходных данных для настройки сети на всех этапах ее построения. Этот подход предполагает наличие натуральных данных, примеров работы объекта управления в разных промышленных ситуациях, то есть библиотеки прецедентов.

Искусственные нейронные сети и экспертные системы нашли широкое применение в металлургии [1 – 7]. В настоящее время автоматизированные системы «VAiron Closed Loop Expert System» и «VAIF Blast Furnace Expert System» (ранее «Rautaruukki Blast Furnace Expert System») внедрены на доменных печах, выплавляющих более 10 % мирового производства чугуна [2, 3]. Используемые на более чем 80 агрегатах эти системы обеспечивают экономию энергии и затрат, повышают стабильность режимов эксплуатации печей, улучшают качество выпускаемой продукции. Опыт эксплуатации этих систем был учтен при разработке новой модульной автоматизированной системы «VAiron TNG», которая объединяет их преимущества и включает искусственную нейронную сеть. Эта сеть осуществляет сопоставление своих данных с другими параметрами печи и позволяет устанавливать взаимосвязи, которые до этого не были известны.

В статье [4] показано применение нечеткой кластеризации и нейронных сетей (многослойных персептронов) для классификации «температурных профилей» и построения модели взаимозависимости между параметрами доменного процесса и результирующими «температурными профилями». Разработанные модели позволяют экономить ресурсы, необходимые для производства чугуна. В работе [5] представлена модель для классификации, визуализации и интерпретации распределения температуры кладки доменной печи. Модель классифицирует паттерны с помощью самоорганизующейся карты и отображает изменение распределений на карте признаков, которая используется в качестве рабочей диаграммы.

В статье [6] была представлена модель на основе нейронной сети, связывающая количество и химический состав чугуна и шлака с набором из 33 переменных процесса, которые могут быть измерены в режиме реального времени. Модель прогнозирует значения выходных переменных процесса с ошибкой менее 3%. Применение нейронной сети и экспертной системы обеспечивает требуемое качество чугуна. В работе [7] представлена нейросетевая модель толщины слоя шихты в доменной печи. То есть модель описывает зависимость между толщиной слоя и ключевыми параметрами загрузки.

**Автоматическое распознавание состояния доменной плавки.** Автоматизированная система управления доменной печью обеспечивает сбор, обработку, хранение и отображение технологической информации о ходе загрузки доменной печи, режимах работы печи и воздухонагревателей, управление технологическим оборудованием (рисунок 1, на примере доменного цеха ЕВРАЗ Объединенного Западно-Сибирского металлургического комбината [8]). Она состоит из 4 подсистем, каждая из которых выполняет определенные функции: «Нижняя загрузка», «Верхняя загрузка», «КИП», «Каупер».

Подсистемы состоят из двух уровней: уровень управления, который содержит несколько контроллеров; уровень визуализации, который состоит из операторских рабочих станций.

Станции представляют собой стандартные персональные компьютеры и выполняют следующие основные функции: отображение текущего состояния механизмов, участвующих в технологическом процессе; отображение текущих значений технологических параметров; отображение выхода параметров за заданные пределы и отказа механизмов (сигнализация); передача управляющих воздействий от оператора к исполнительным механизмам через контроллеры; архивирование измеренных значений и отображение их в

виде графиков; отображение и архивирование сообщений; организация ввода оператором настроечных параметров; контроль достоверности вводимой информации; организация ввода оператором задания на регуляторы.



Рисунок 1 – Фрагмент мнемосхемы автоматизированной системы управления доменной печью ЕВРАЗ ЗСМК

Любые нарушения хода процесса загрузки печи, действия оператора, предаварийные и аварийные ситуации контролируются системой управления и протоколируются на станции визуализации. Все сообщения делятся на следующие: аварийные, предупредительные, технологические и системные.

Актуальной задачей является разработка искусственной нейронной сети для распознавания следующих возможных состояний доменной печи: НХП – нормальный ход печи (доменной плавки); ПХП – периферийный ход печи (развитие периферийного потока газа); ЦХП – центральный ход печи (развитие центрального (осевого) потока газа); КХП – канальный ход печи (развитие канального газового потока); ХХП – холодный ход печи (похолодание доменной печи); ГХП – горячий ход печи (разогрев доменной печи или горячий ход доменной плавки); ВПШ – верхнее подвисяние шихты; НПШ – нижнее подвисяние шихты; ТХП – тугой ход печи [9 – 13].

Нормальный режим работы доменных печей ЕВРАЗ ЗСМК характеризуется следующим. Нормальное содержание  $CO_2$  в газе по диаметру шахты на диаграмме имеет вид плавной кривой и изменяется при выплавке передельного чугуна от 18 до 20 % у кладки печи (под защитными плитами), до 4÷10 % у оси печи, имея максимум 22÷24% на расстоянии одной трети радиуса от кладки печи. Диаграммы содержания  $CO_2$  и  $H_2$  в колошни-

ковом газе представляют собой прямые линии без значительных понижений абсолютных значений этих параметров. Общее содержание  $\text{CO}_2$  в колошниковом газе, отобранном из пылеуловителя, должно составлять для передельного чугуна  $19 \div 22$  % и зависит от степени подгрузки печи, параметров комбинированного дутья, содержания железа в шихте. Количество водорода  $\text{H}_2$  зависит от расхода природного газа, пара на увлажнение и составляет  $2 \div 10$ %. Общий перепад давлений в печи при работе на полных параметрах и комбинированном дутье при передельном чугуне для доменных печей № 1 и 3 составляет  $160 \div 180$  кПа, а для доменной печи № 2 –  $140 \div 150$  кПа. Перепад давления в печи независимо от условий должен поддерживаться на уровне, обеспечивающем ровный сход шихты по зондам.

Максимально допустимым давлением на колошнике для доменных печей № 1 и 3 является 190 кПа, а для доменной печи №2 – 170 кПа. Не допускается длительная работа печей с общим перепадом давлений ниже 130 кПа для доменных печей № 1 и 3 и ниже 110 МПа для доменной печи № 2.

Температура периферийных газов изменяется в широких пределах по высоте печи, при этом на одном горизонте температура не только на различных печах, но и на одной и той же печи может колебаться в пределах нескольких сотен градусов, что объясняется непостоянством технологических условий работы печи.

Полезный объем печей № 1 и 3 –  $3000 \text{ м}^3$ , а № 2 –  $2000 \text{ м}^3$ . Ежегодно комбинат производит около 6 млн тонн чугуна. Производительная мощность доменной печи № 2 – 4,5 тысячи тонн чугуна в сутки.

Для распознавания состояния доменного процесса (на примере доменной печи № 2) предлагается следующая процедура.

Шаг 1 – проверка данных на достоверность [14, 15].

Шаг 2 – фильтрация технологических данных, если присутствуют помехи [14, 15].

Шаг 3 – ввод данных {X1 – общий перепад давления газов, X2 – верхний перепад давления газов, X3 – нижний перепад давления газов, X4 – X7 – температура колошникового газа, X8 – X17 – температура периферийных газов, X18 – содержание Si в чугуне} в многослойный персептрон (рисунок 2).

Шаг 4 – распознавание состояния доменного процесса по выходу сети – коду ситуации {Y1, Y2, Y3, Y4, Y5, Y6, Y7}: {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0} – нормальный ход печи; {1, 0, 0, 0, 0, 0, 0} – периферийный ход печи; {0, 1, 0, 0, 0, 0, 0} – центральный ход печи; {0, 0, 1, 0, 0, 0, 0} – каналный ход печи; {0, 0, 0, 1, 0, 0, 0} – холодный ход печи; {0, 0, 0, 0, 1, 0, 0} – горячий ход печи; {0, 0, 0, 0, 0, 1, 0} – верхнее подвисяние шихты; {0, 0, 0, 0, 0, 0, 1} – нижнее подвисяние шихты.

Шаг 5 – выдача рекомендаций доменщику для обеспечения нормального режима работы объекта управления.

Фрагмент обучающей выборки представлен на рисунках 3 и 4.

При появлении новых ситуаций возможно изменение структуры нейронной сети, например, увеличение количества выходов, а также ее переобучение. Для повышения точности распознавания необходимо увеличение числа наблюдений.

Функция активации нейронов выходного слоя персептрона (рисунок 2) – униполярная логистическая. «Training Error Graph» представлен на рисунке 5. Сеть обучена по алгоритму обратного распространения ошибки.

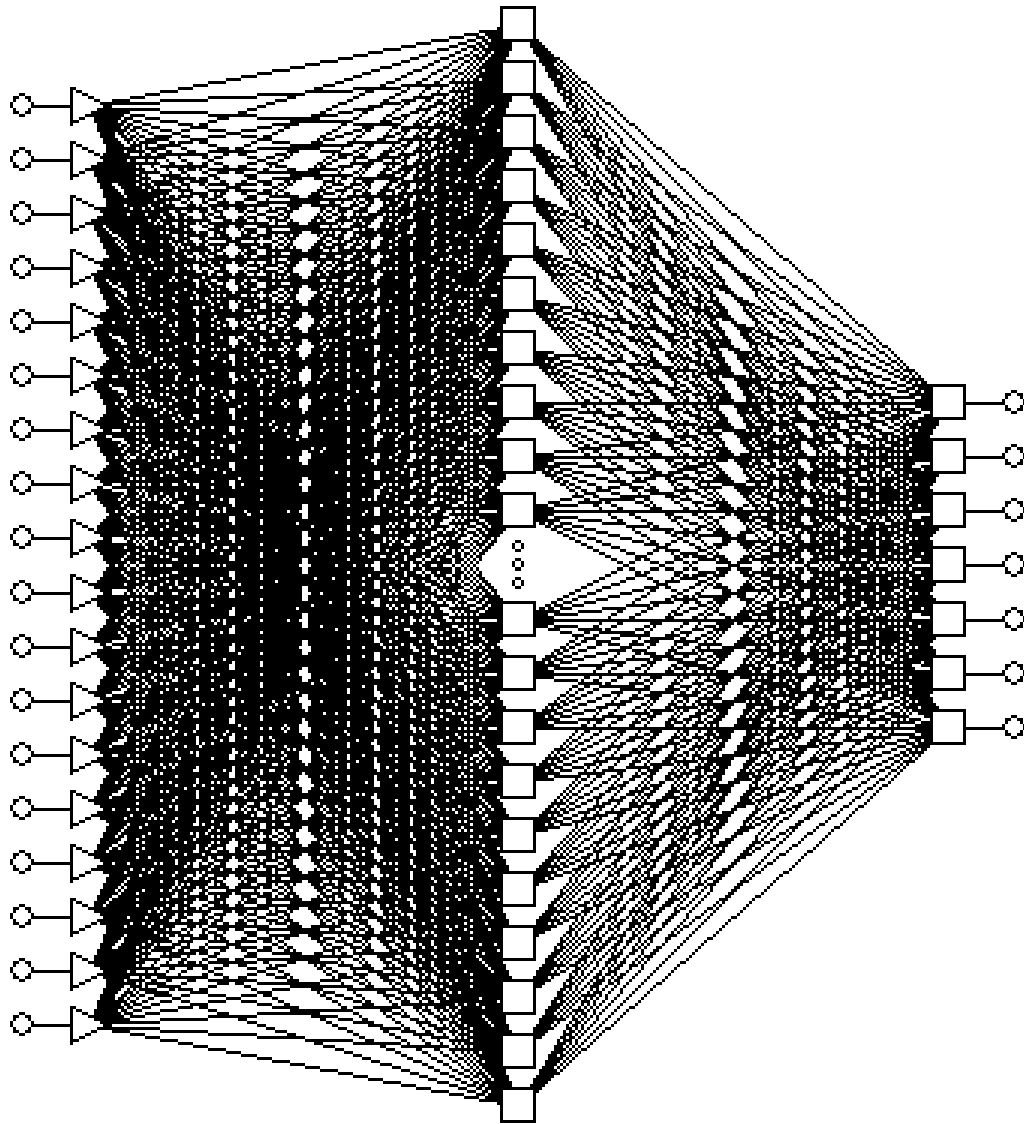
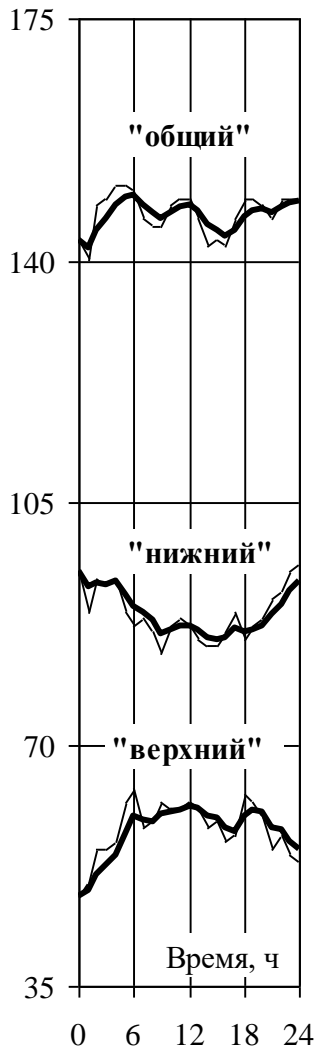
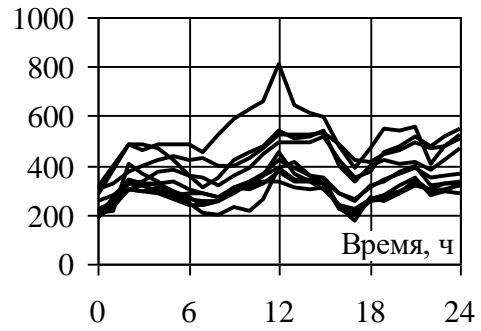


Рисунок 2 – Структура многослойного персептрона

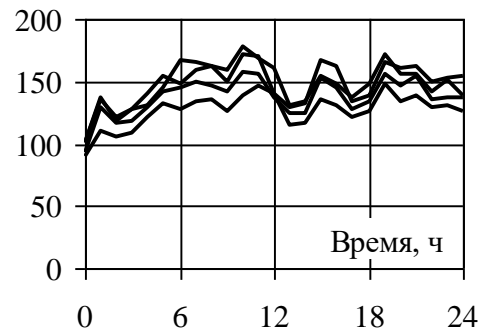
Общий и частные перепады давления газов, кПа  
измеренные (—) и сглаженные (—) значения перепадов давления



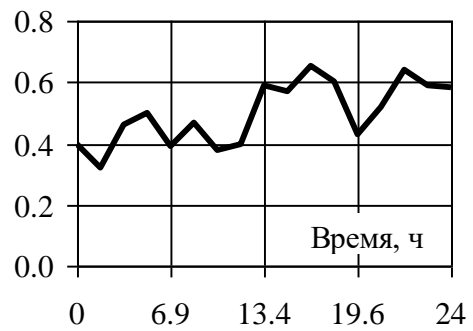
Температура периферийных газов, °С



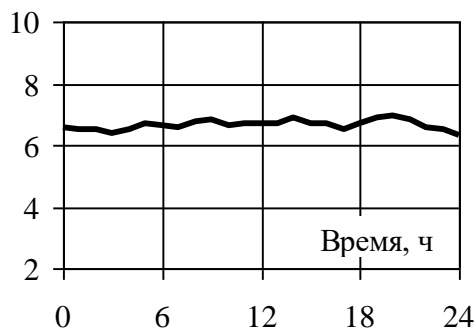
Температура колошникового газа, °С



Содержание Si в чугуна, %



Содержание H<sub>2</sub> в колошниковом газе, %



Содержание CO<sub>2</sub> в колошниковом газе, %

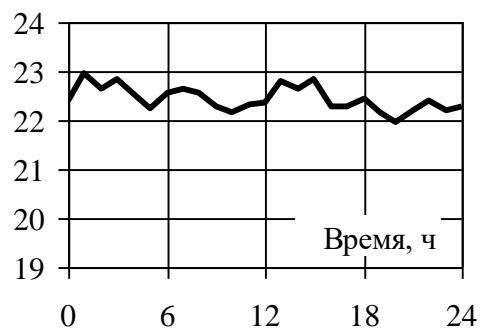
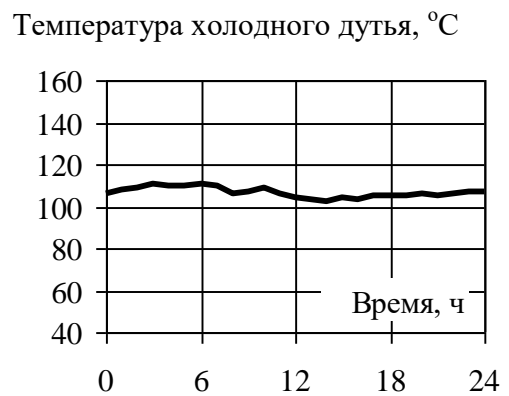
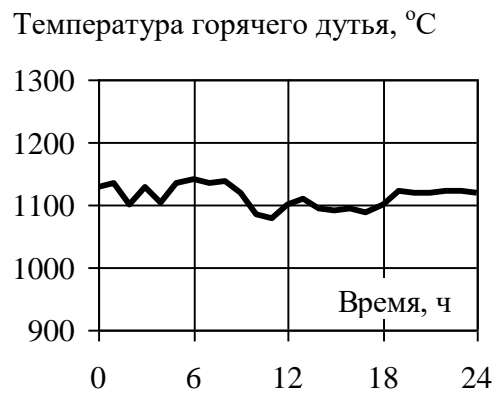
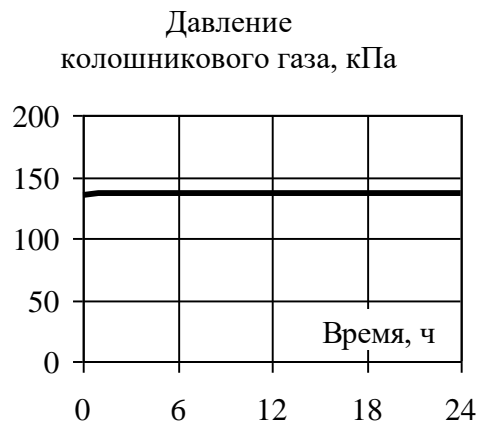


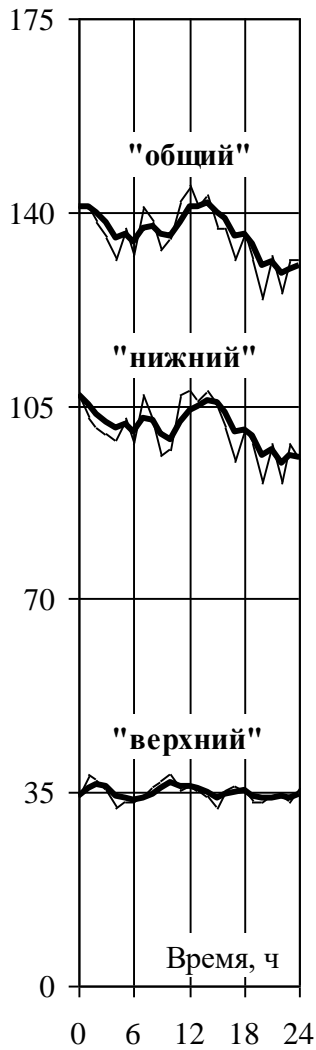
Рисунок 3 – Центральный ход печи (ситуация № 3)



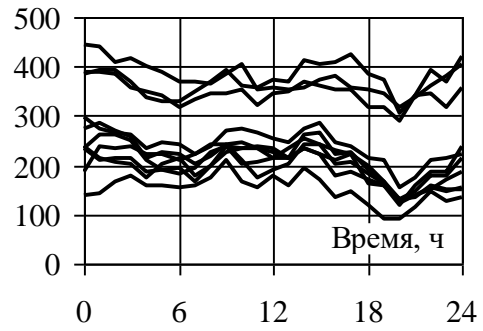
Рисунка 3, лист 2



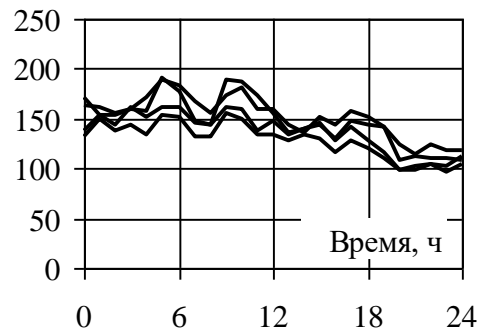
Общий и частные перепады давления газов, кПа  
измеренные (—) и сглаженные (—) значения перепадов давления



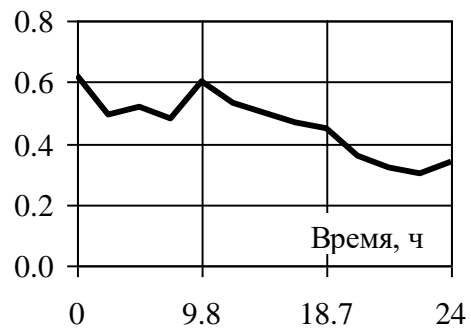
Температура периферийных газов, °С



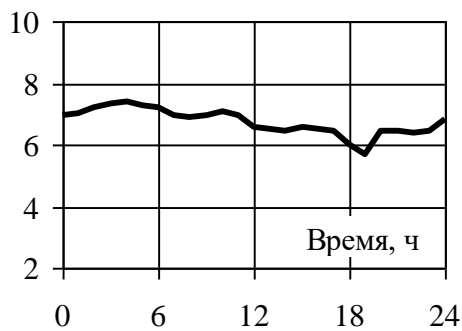
Температура колошникового газа, °С



Содержание Si в чугуна, %



Содержание H<sub>2</sub> в колошниковом газе, %



Содержание CO<sub>2</sub> в колошниковом газе, %

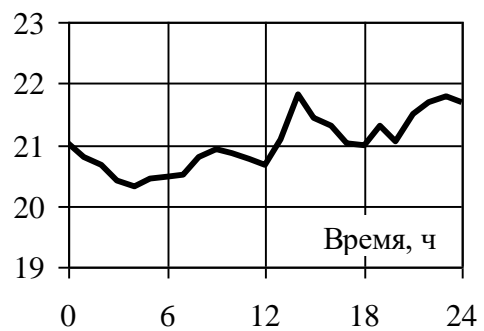


Рисунок 4 – Холодный ход печи (ситуация № 5)

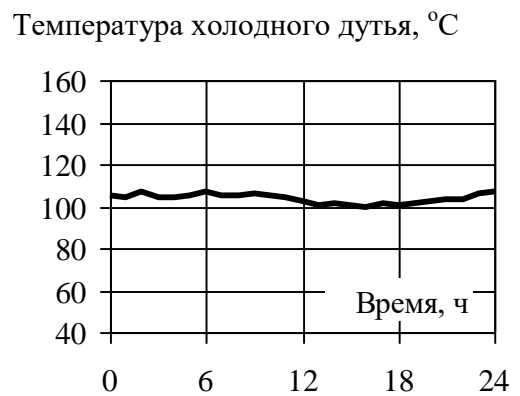
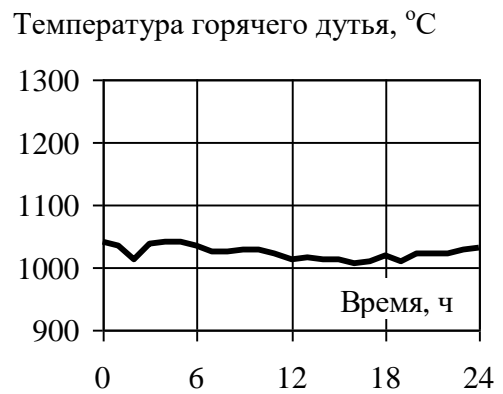
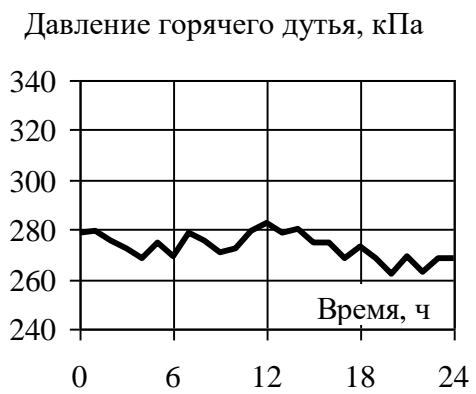
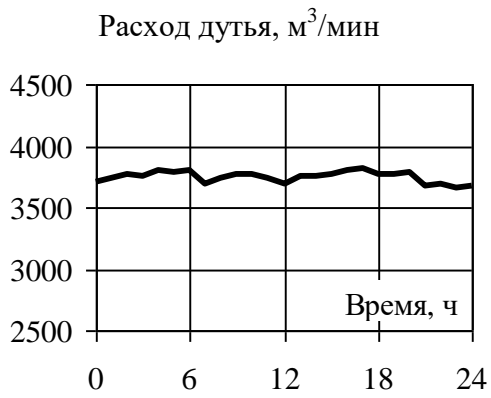
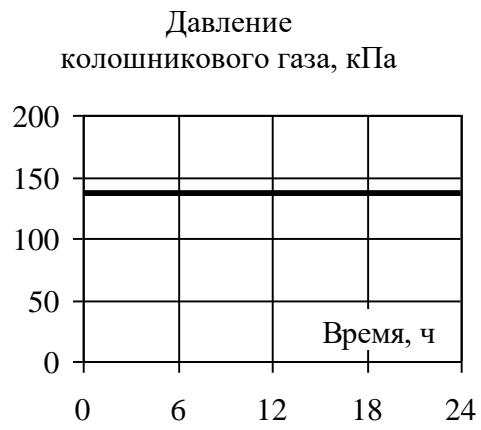


Рисунок 4, лист 2

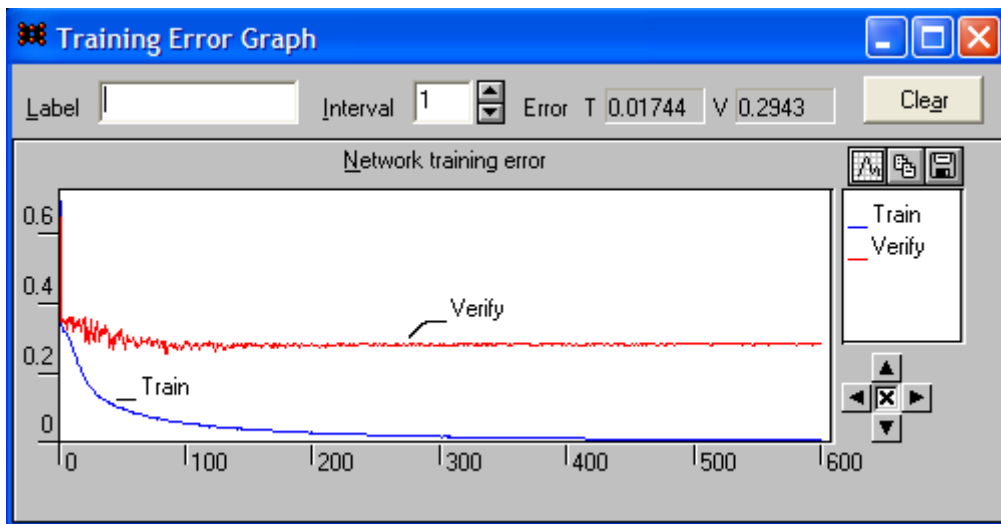


Рисунок 5 – Окно «Training Error Graph» в STATISTICA Neural Networks

Результаты работы сети показаны на рисунках 6 – 11.

Y<sub>2инс</sub> – выход 2-го нейрона

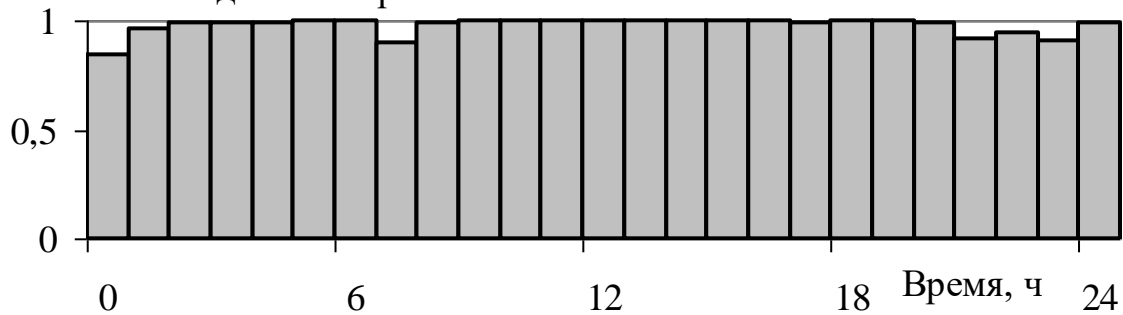


Рисунок 6 – Выходные значения нейрона выходного слоя сети (для ситуации № 3, рисунок 3, по обучающим данным)

Выходное значение нейронов

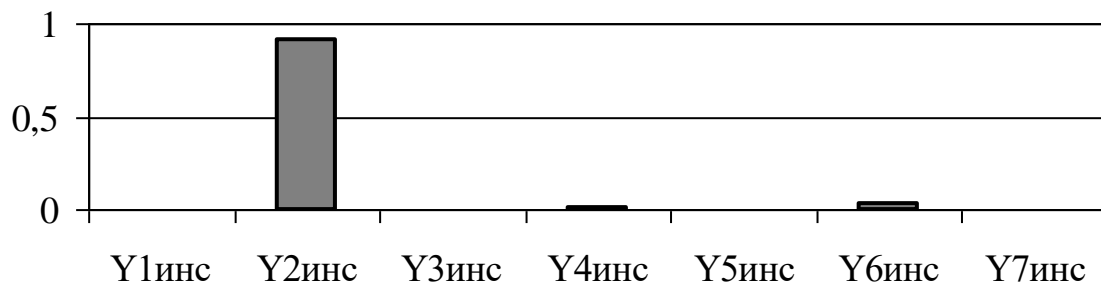


Рисунок 7 – Выходное значение нейронов выходного слоя сети (для ситуации № 3, в момент времени  $t = 21$  ч)

Y<sub>4инс</sub> – выход 4-го нейрона

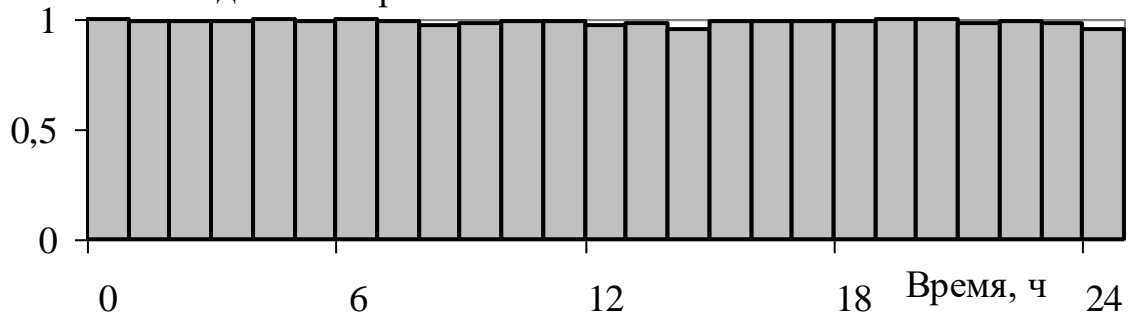


Рисунок 8 – Выходные значения нейрона выходного слоя сети (для ситуации № 5, рисунок 4, по обучающим данным)

Y<sub>1инс</sub> – выход 1-го нейрона

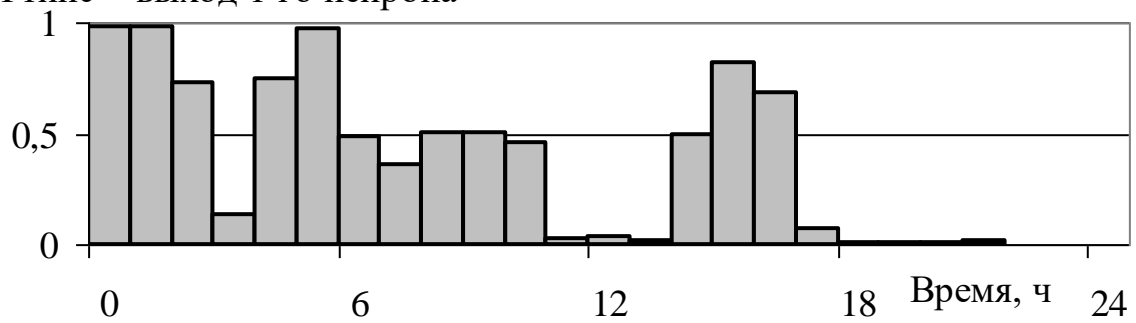
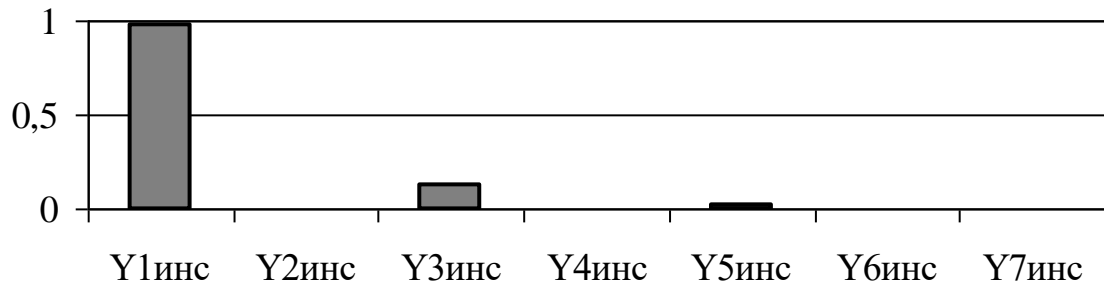
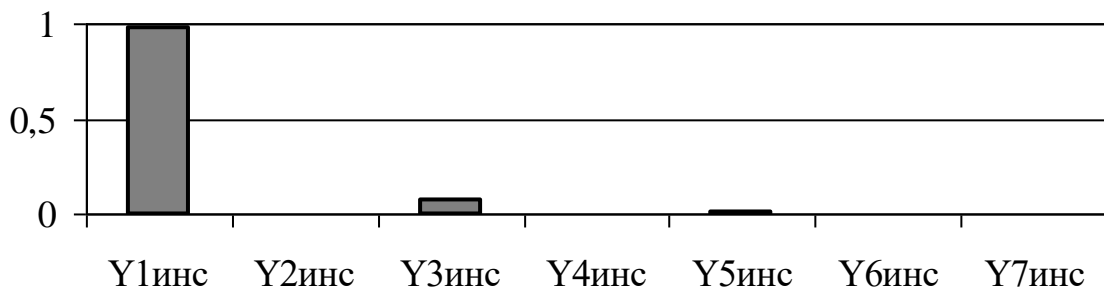


Рисунок 9 – Выходные значения нейрона выходного слоя сети (по верификационным данным)

Выходное значение нейронов, в момент времени  $t = 0$  ч



Выходное значение нейронов, в момент времени  $t = 1$  ч



Выходное значение нейронов, в момент времени  $t = 2$  ч

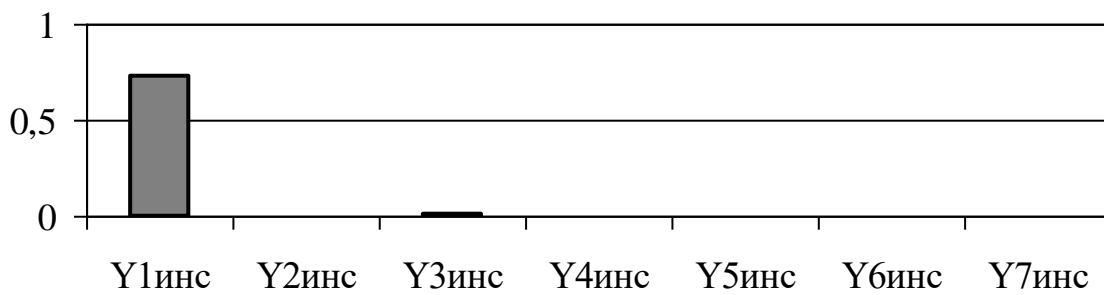
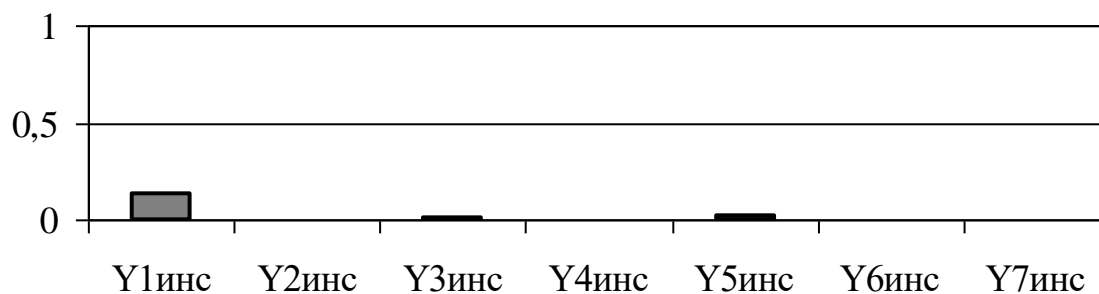
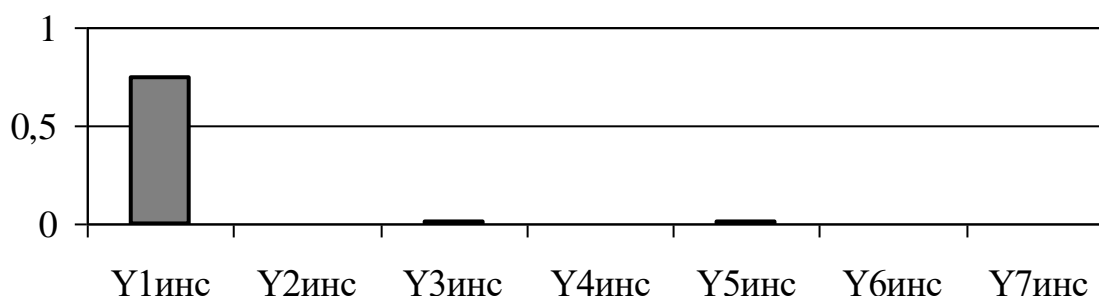


Рисунок 10 – Выходное значение нейронов выходного слоя сети (результат диагностики по верификационным данным, в разные моменты времени)

Выходное значение нейронов, в момент времени  $t = 3$  ч



Выходное значение нейронов, в момент времени  $t = 4$  ч



Выходное значение нейронов, в момент времени  $t = 5$  ч

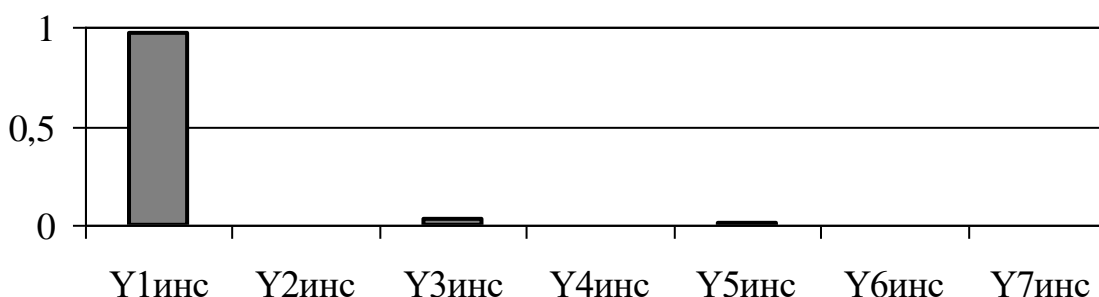


Рисунок 11 – Выходное значение нейронов выходного слоя сети (по верификационным данным, в разные моменты времени)

Из рисунков 9 – 11 следует, что сеть диагностирует возможность появления «Периферийного хода печи». Результат диагностики подтверждается тем, что содержание диоксида углерода ( $\text{CO}_2$ ) в колошниковом газе уменьшается (рисунок 12), температура периферийных газов увеличивается.

Для повышения эффективности управления доменным процессом целесообразно объединение искусственных нейронных сетей с экспертными системами [16 – 18].

**Заключение.** Переход к современным интеллектуальным производственным технологиям, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения является стратегией научно-технологического развития металлургической промышленности не только в России, но и в мире.

Основным преимуществом искусственных нейронных сетей является возможность воспроизводить сложные нелинейные зависимости с большим количеством входных и выходных величин. Ключевым свойством сети является способность к обучению, в ходе которого на основе выборки из представительных натуральных данных происходит опреде-

ление сложных связей между технологическими параметрами доменного процесса и его состоянием.

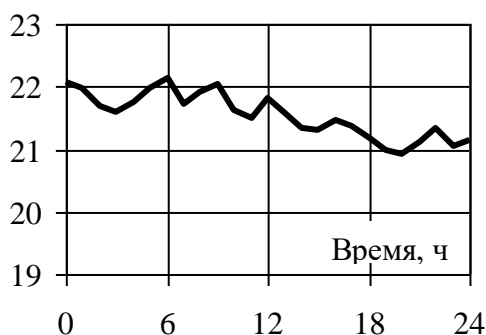


Рисунок 12 – Содержание CO<sub>2</sub> в колошниковом газе, % (для верификационной ситуации)

### Библиографический список

1. Mohanty I. Artificial Neural Network and Its Application in Steel Industry / I. Mohanty, D. Bhattacharjee // *Computational Approaches to Materials Design: Theoretical and Practical Aspects*. – Hershey: IGI Global, 2016. – P. 267 – 300.
2. Хёрл Й. Экспертные системы – новый уровень оптимизации работы доменных печей / Й. Хёрл, М. Шалер, К. Штоль и др. // *Черные металлы*. – 2007. – № 9. – С. 37–43.
3. Bettinger D. VAIRON Blast Furnace Process Optimization – 25 Years of Experience with Closed-Loop Expert Systems / D. Bettinger, H. Fritschek, T. Kronberger, M. Schaler, B. Schürz // *7th European Coke and Ironmaking Congress (ECIC 2016)*. – Linz, AT: Austrian Society for Metallurgy and Materials (ASMET), 2016. – P. 317 – 333.
4. Angstenberger J. Blast Furnace Analysis with Neural Networks / J. Angstenberger // *Artificial Neural Networks – ICANN 96: Proceedings of the International Conference*. – Bochum: Springer-Verlag, 1996. – P. 203 – 208.
5. Saxen H. A Neural Network Model for Blast Furnace Wall Temperature Pattern Classification / H. Saxen, L. Lassus // *Artificial Neural Nets and Genetic Algorithms*. – 1999. – P. 86 – 88.
6. Radhakrishnan V.R. Neural Networks for the Identification and Control of Blast Furnace Hot Metal Quality / V.R. Radhakrishnan, A.R. Mohamed // *Journal of Process Control*. – 2000. – V. 10, № 6. – P. 509 – 524.
7. Pettersson F. Evolutionary Neural Network Modeling of Blast Furnace Burden Distribution / F. Pettersson, J. Hinnela, H. Saxen // *Materials and Manufacturing Processes*. – 2003. – V. 18, № 3. – P. 385 – 399.
8. Портнов Л.В. Совершенствование АСУ ТП доменной плавки / Л.В. Портнов, В.В. Титов, Л.Д. Никитин, В.Г. Щипицын // *Сталь*. – 2014. – № 7. – С. 18 – 20.
9. Спиринов Н.А. Научные проблемы создания интеллектуальных систем управления технологическими процессами в пирометаллургии на основе концепции «Индустрия 4.0» / А.Н.А. Спиринов, В.Ю. Рыболовлев, В.В. Лавров, И.А. Гуринов, Д.А. Шнайдер, А.В. Краснобаев // *Металлург*. – 2020. – № 6. – С. 71 – 76.
10. Истомин А.С. Разработка программного продукта для распознавания видов отклонения доменной плавки от нормального режима с использованием нейросетевых технологий / А.С. Истомин, Н.А. Спиринов // *Творческое наследие В.Е. Грум-Гржимайло: история, современное состояние, будущее: Сборник докладов международной научно-практической конференции*. – Екатеринбург: УрФУ, 2014. – С. 210 – 213.
11. Лисиенко В.Г. Совершенствование и повышение эффективности энерго-технологий и производств. Т. 3. Кн. 1: Автоматизированное управление, информатика и диагности-

- ка. Технологические процессы и энергетика: Монография / В.Г. Лисиенко, Ю.В. Крюченков. – Екатеринбург: ООО «Издательство УМЦ УПИ», 2017. – 855 с.
12. Онорин О.П. Логические основы распознавания вида отклонения доменной плавки от нормального режима / О.П. Онорин, Н.А. Спирин, А.В. Павлов, В.В. Лавров, А.С. Истомин, А.А. Бурькин, К.А. Щипанов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2014. – № 8. – С. 42 – 47.
  13. Истомин А.С. Разработка программного обеспечения для диагностики вида отклонения доменной плавки от нормального режима / А.С. Истомин, Н.А. Спирин, В.В. Лавров, М.А. Бякова // Вестник Томского государственного университета. – 2016. – № 3 (36). – С. 97 – 102.
  14. Киселева Т.В. Многовариантные активные системы / Т.В. Киселева, В.Н. Бурков. – Новокузнецк: СибГИУ, 2000. – 377 с.
  15. Киселева Т.В. Теория и практика организационно-экономических механизмов: учебное пособие / Т.В. Киселева. – Новокузнецк: СибГИУ, 2011. – 126 с.
  16. Трофимов В.Б. Автоматизированные экспертные системы в управлении доменным процессом / В.Б. Трофимов // Металлург. – 2020. – № 1. – С. 17 – 24.
  17. Трофимов В.Б. Интеллектуальные автоматизированные системы управления технологическими объектами: учебное пособие / В.Б. Трофимов, С.М. Кулаков. – М.: Инфра-Инженерия, 2020. – 256 с.
  18. Трофимов В.Б. Экспертные системы в АСУ ТП: учебник / В.Б. Трофимов, И.О. Темкин. – М.: Инфра-Инженерия, 2020. – 284 с.

УДК 681.518.2

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА ТЕМПЕРАТУРЫ ХОЛОДИЛЬНИКОВ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

Саидмуродов Б.Р., Лавров В.В., Гурин И.А.

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

г. Екатеринбург, Россия, begmurod1999@mail.ru, v.v.lavrov@urfu.ru, ivan.gurin@urfu.ru

**Аннотация.** Работа посвящена процессу разработки интеллектуальной системы анализа температуры холодильников системы охлаждения доменной печи, основными функциями которой являются: получение отчетных данных из базы данных доменного производства, отображение динамики изменения показателей в виде графических трендов и в числовой форме, формирование отчетов, анализ работы системы охлаждения доменной печи с использованием средств машинного обучения. Рассмотрены этапы проектирования, функционального моделирования системы, а также программная реализация прототипа. Основными пользователями системы является инженерно-технологический персонал доменного цеха.

**Ключевые слова:** доменная печь, система охлаждения доменной печи, программное обеспечение, функциональное моделирование, отчетные показатели, веб-приложение, модель, анализ данных.

**Abstract.** The work is devoted to the process of developing an intelligent system for analyzing the temperature of refrigerators in the blast furnace cooling system, the main functions of which are: obtaining reporting data from the database of blast furnace production, displaying the dynamics of changes in indicators in the form of graphical trends and in numerical form, generating reports, analyzing the operation of the blast furnace cooling system ovens using machine learning tools. The stages of design, functional modeling of the system, as well as software implementation of the prototype are considered. The main users of the system are the engineering and technological personnel of the blast furnace shop.

**Keywords:** blast furnace, blast furnace cooling system, software, functional modeling, reporting figures, web-application, model, data analysis.

Доменный процесс остаётся в XXI веке доминирующей технологией экстрактивной металлургии получения стали, на долю доменного производства приходится более 93



% мирового производства стали [1]. Доменная печь относится к числу плавильных металлургических агрегатов шахтного типа, внутреннее рабочее пространство которой ограничено огнеупорной футеровкой, предназначенной для защиты металлоконструкций печи от воздействия высоких температур и сохранения в течение длительного времени начальной геометрической формы рабочего пространства. Одним из значимых факторов, влияющих на ограничение износа огнеупорной футеровки и увеличение продолжительности кампании печи, является непрерывный мониторинг состояния системы охлаждения доменной печи с использованием современных цифровых технологий [2]. Система охлаждения доменной печи предназначена для предохранения кожуха и кирпичной кладки, работающих в условиях высоких температур и напряжений, от преждевременного износа и разрушения. Изменение условий работы печи, несвоевременное обнаружение критических отклонений показателей системы охлаждения может привести к разрушению защитной кладки доменной печи и аварийным остановкам.

Работа посвящена созданию интеллектуальной системы анализа температуры холодильников системы охлаждения доменной печи, основными функциями которой являются: получение данных с датчиков системы охлаждения, сохранение их в базе данных, анализ работы системы охлаждения доменной печи с использованием средств машинного обучения, отображение динамики изменения показателей в виде графических трендов и в числовой форме, формирование отчетов. Основными пользователями системы является инженерно-технологический персонал доменного цеха.

Основные задачи работы сводятся к следующим [3]:

1. анализ предметной области, изучение работы системы охлаждения доменной печи;
2. выбор технологии и средств организация процесса разработки системы;
3. определение общих требований к разрабатываемой системе, выбор программной платформы;
4. проектирование архитектуры, выбор подходящей для реализации программной платформы и сервиса коллективного хранения программного кода;
5. разработка математического, алгоритмического и информационного обеспечений для программной реализации разрабатываемой системы;
6. инфологическое и даталогическое моделирование базы данных с использованием CASE-средств (Computer-Aided Software Engineering, компьютерные средства поддержки программной инженерии) реализации, обеспечивающих эффективную организацию и сопровождение специализированного информационного и программного обеспечения системы, а также ее интеграцию в существующую информационную структуру металлургического предприятия;
7. разработка веб-приложения для отображения данных в графическом и табличном виде;
8. реализация алгоритма машинного обучения;
9. тестирование и отладка программного обеспечения;
10. проведение контрольных испытаний, оценка результатов проведенных расчетов.

*Требования к системе.* Система должна обеспечивать возможность выполнения перечисленных ниже функций:

- хранение данных на сервере базы данных;
- автоматическое добавление измеренных параметров в базу данных;
- отображение на пользовательском интерфейсе полученных данных в виде таблицы и графических трендов;
- возможность поиска (фильтрации) данных пользователем;
- формирование различных отчетов в виде файлов форматов cvs и jpg;
- анализ и прогнозирование показателей системы охлаждения;
- нахождение корреляции между параметрами.

*Архитектура системы* включает в себя следующие компоненты [4]:

- источники данных;
- база данных;
- модуль интеллектуального анализа данных;
- графический интерфейс пользователя.

Функциональное моделирование системы выполнено с помощью приложения Ramus Educational [5] на основе стандарта IDEF0 [6, 7]. Фрагмент функциональной модели 1-го уровня представлен на рисунке 1.

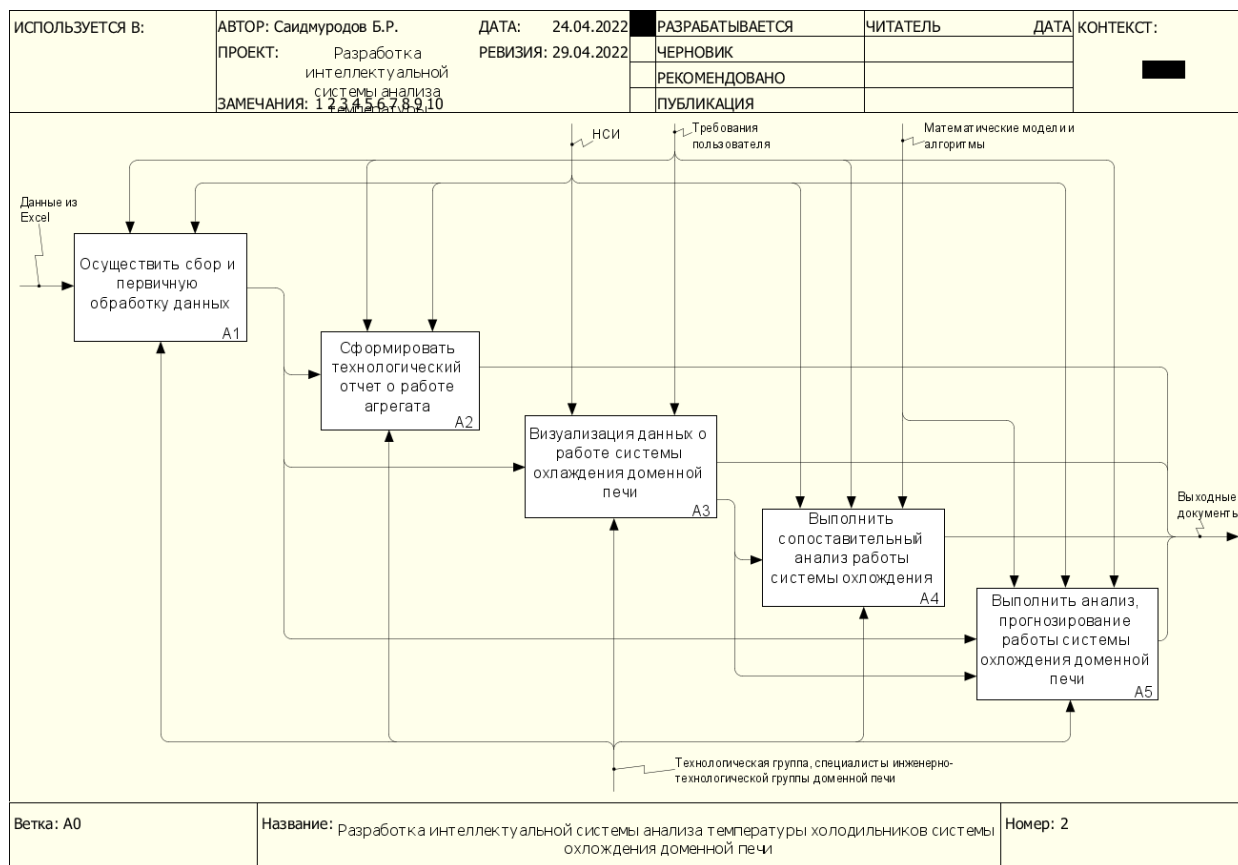


Рисунок 1 – Первый уровень декомпозиции функциональной модели интеллектуальной системы анализа температуры холодильников системы охлаждения доменной печи

Функция «Сбор и первичная обработка данных» (A1) обеспечивает автоматическое наполнение системы данными. Сбор первичных данных производится в регламентированные моменты времени, установленные согласно требованиям инженерно-технологического персонала.

Функция «Технологический отчет о работе агрегата» (A2) обеспечивает подготовку и формирование всех сведений о работе системы охлаждения доменной печи за календарный месяц или за период с начала года до указанного месяца.

Функция «Визуализация данных» (A3) обеспечивает возможность построения графических трендов фактических и основных технико-экономических показателей работы системы охлаждения. Выбор показателей работы осуществляется на основе требований пользователей системы и блока нормативно-справочной информации.

Функция «Сопоставительный анализ» (A4) обеспечивает возможность сравнения показателей работы печи за произвольно выбранные периоды. Источником данных этой функции являются сведения о работе системы охлаждения.

Функция «Анализ и прогнозирование» (A5) позволяет проводить оценку и прогнозирование работы системы охлаждения на основе программных библиотек машинного обучения.

*Выбор технологии и средств организация процесса разработки системы.* Для реализации проекта выбраны среда разработки программного обеспечения Visual Studio Code, язык программирования Python [8], СУБД SQLite, библиотека Matplotlib для построения графиков различной сложности. Для анализа и обработки данных выбрана библиотека pandas, а в качестве веб-фреймворка – flask. Организация процесса разработки произведена на основе технологии Agile с использованием средств Azure DevOps (трекер задач), GitHub (репозиторий для хранения программного кода).

Спроектированная база данных содержит семь таблиц: tbPech (справочник печей), tbParams (измеряемые параметры), tbValuesAVGDay (усреднение данных по дням), tbValuesAVGMonth (усреднение данных по месяцам), tbValuesAVGHour (усреднение данных по часам), tbValuesAVGSmenaDC12 (усреднение данных по сменам DC12) и tbValuesAVGSmenaDC (усреднение данных по сменам). Схема базы данных представлена на рисунке 2.

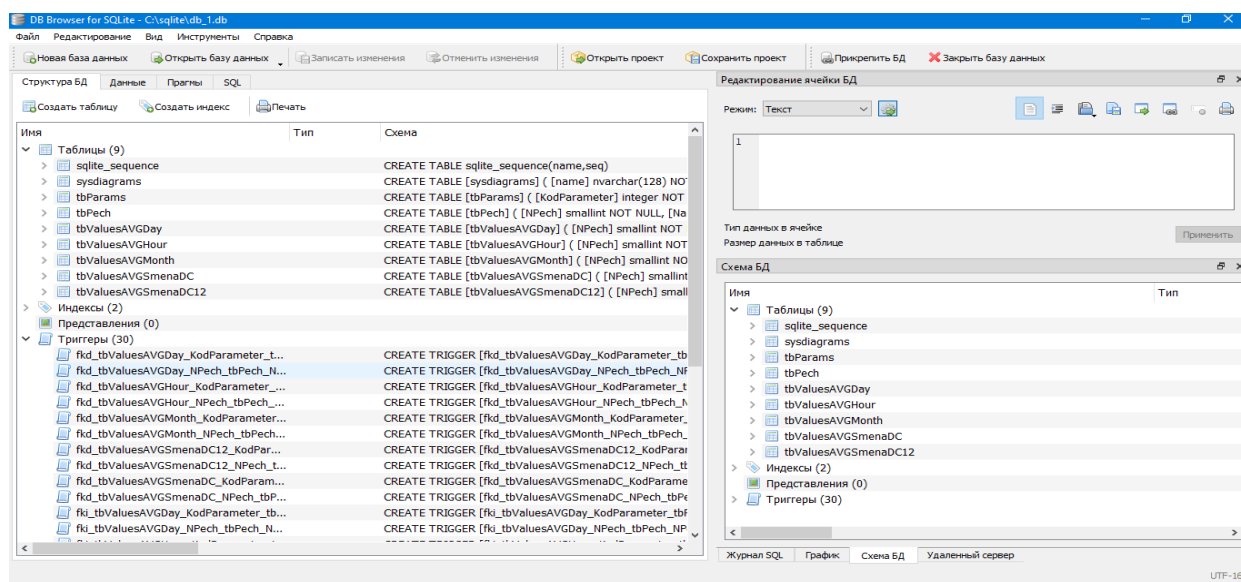


Рисунок 2 – Фрагмент структуры базы данных системы в СУБД SQLite

*Веб-приложение для взаимодействия БД с пользователем.* Веб-приложение позволяет пользователю просматривать данные в графическом и табличном виде, отобразить расчетные закономерности между параметрами, спрогнозировать поведение параметров в доменной печи. Дополнительно добавлен ряд удобных функций, в частности, выбор периода для анализа, фильтрация по печам, параметрам и др.

Веб приложение состоит из трех страниц, фрагмент главной страницы представлен на рисунке 3. Главная веб-страница содержит себе следующие элементы управления:

- кнопка «Закономерности», при нажатии на которую можно увидеть величины корреляции между параметрами;
- кнопка «Предсказание», при нажатии на которую отображаются графики прогнозирования параметров. Период прогнозирования определяется продолжительностью выбранного для анализа периода;
- поля фильтрации данных: номер печи, выбор параметра, дата начала и конца, а также таблица с результатами фильтрации;
- кнопка «Отчет», при нажатии на которую отображаются данные в графическом и табличном виде;

- кнопка «Скачать График», при нажатии на которую формируется отчет в виде jpg-файла;
- кнопка «Скачать Таблицу», при нажатии на которую формируется отчет в виде csv-файла.

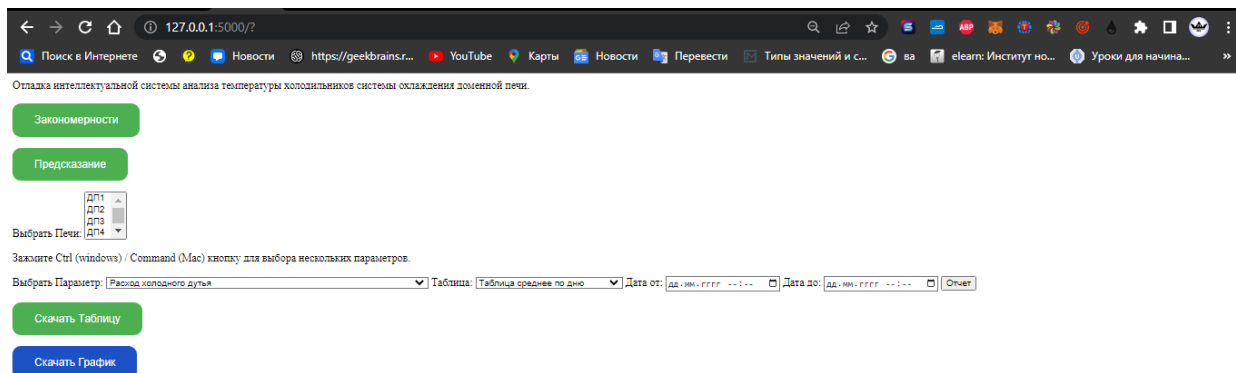


Рисунок 3 – Фрагмент главной страницы веб-приложения

Фрагмент веб-страницы отображения корреляционной зависимости между параметрами представлен на рисунке 4.

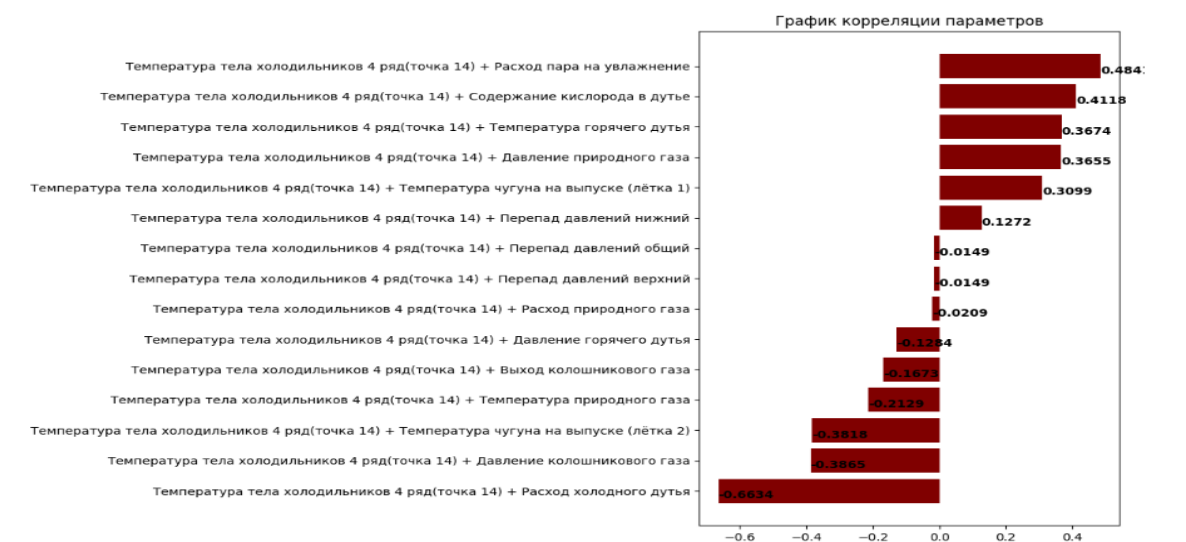


Рисунок 4 – График отображения коэффициентов корреляции параметров

Таким образом, разработанное веб-приложение позволяет инженерно-технологическому персоналу доменного цеха проводить оперативный анализ и прогнозирование работы холодильников в системе охлаждения доменной печи с использованием элементов машинного обучения. Создание системы позволит снизить трудозатраты персонала на сбор и обработку данных, необходимых для оперативного анализа температуры холодильников системы охлаждения доменной печи и принятия решений по корректировке технологических воздействий на процесс ведения доменной плавки.

### Библиографический список

1. Производство чугуна: путь перемен / Х.Б. Люнген, М. Петерс, П. Шмёле // Черные металлы. 2011. №9. – С. 18-25.

2. Мониторинг состояния огнеупорной футеровки горна доменной печи на основе цифровых технологий / А.Н. Дмитриев, М.О. Золотых, Г.Ю. Витькина. – Екатеринбург: АМБ, 2022. – 156 с.
3. Модельные системы поддержки принятия решений в АСУ ТП доменной плавки / Н.А. Спириин, В.В. Лавров, В.Ю. Рыболовлев [и др.]; под ред. Н.А. Спирина. – Екатеринбург: УрФУ, 2011. – 462 с. – Электронный научный архив УрФУ. URL: <http://hdl.handle.net/10995/39973>.
4. Архитектура интеллектуального анализа данных; 2013 – [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.education-wiki.com/2195841-data-mining-architecture>.
5. Попов А.И. Свободные инструменты проектирования информационных систем. – М.: ИПК «Издательство стандартов», 2014. – 78 с.
6. Госстандарт России. Методология функционального моделирования IDEF0. – М.: ИПК «Издательство стандартов», 2000. – 75 с.
7. Waissi G.R., Demir M., Humble J.E., Lev B. Automation of strategy using IDEF0 – A proof of concept // Operations Research Perspectives. 2015. Vol. 2. Pp. 106-113 – [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/10.1016/j.orp.2015.05.001>.
8. Лутц М. Изучаем Python. Т. 1. – М.: «Диалектика», 2019. – 832 с.; Т. 2. – М.: «Диалектика», 2020. – 720 с.

УДК 378.147

## ПРИМЕНЕНИЕ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ГИБКОЙ МЕТОДОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

**Лавров В.В., Гуриин И.А., Спириин Н.А.**

*ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»*

*г. Екатеринбург, Россия, v.v.lavrov@urfu.ru, ivan.gurin@urfu.ru, n.a.spirin@urfu.ru*

**Аннотация.** В докладе представлен опыт применения в образовательной деятельности вуза гибкой методологии (Agile-методологии) на примере выполнения студентами проекта разработки программного обеспечения информационных систем. Отмечены ключевые роли преподавателя и студента при выполнении проекта. Представлен пример использования гибкой Agile-методологии для организации работы по проекту создания информационной системы анализа простоев оборудования на предприятии.

**Ключевые слова:** гибкая методология разработки, программное обеспечение, Agile, трекер задач, Azure DevOps, GitHub.

**Abstract.** The report presents the experience of using flexible methodology (Agile-methodology) in the educational activities of the university on the example of the implementation of the project of information systems software development by students. The key roles of the teacher and student in the implementation of the project are noted. An example of using a flexible Agile methodology for organizing work on a project to create an information system for analyzing equipment downtime in an enterprise is presented.

**Keywords:** agile development, software, Agile, issue tracker, Azure DevOps, GitHub.

В Программе развития цифровой экономики России одним из основных направлений отмечается подготовка кадров и образование («цифровая школа») [1]. Профессиональные кадры в области информационных технологий (ИТ) сегодня относятся к числу самых востребованных на рынке труда, поэтому подготовка ИТ-специалистов является в настоящее время одной из приоритетных задач государства.

Использование информационных технологий необходимо для повышения эффективности и развития любого предприятия и организации. ИТ помогают сократить большое количество рутинных операций, улучшить обратную связь с потребителями, повышать качество продукции и услуг, более эффективно управлять бизнес-процессами. Чтобы соответствовать современным требованиям, компании, занимающиеся внедрением

информационных технологий или же связанные с ИТ-проектами, в своей деятельности должны учитывать и использовать передовые методы, знания и технологии для повышения конкурентного преимущества по сравнению с другими компаниями. Одними из таких технологий, дающих компании возможность успешно и качественно выполнять проекты, учитывая все пожелания заказчика, являются гибкие методологии управления проектами (Agile-методологии). Гибкие методологии дают большое количество преимуществ по сравнению с другими методологиями управления проектами, что делает использование этих технологий в деятельности одним из важных конкурентных преимуществ [2-6].

В докладе представлен опыт применения в образовательной деятельности гибкой методологии на примере выполнения студентами проекта разработки программного обеспечения информационных систем.

*Методологии организации работы над проектом*

В таблице 1 представлено сравнение двух основных методов организации работы (каскадный и Agile) над проектом разработки программного обеспечения по основным ключевым признакам.

Таблица 1 – Сравнение методов работы над проектом разработки программного обеспечения

Классический подход (каскадный метод)	Гибкий подход (Agile-метод)
Проект разбивается на этапы, которые выполняются в строго определенной последовательности	Разбиение проекта на несколько итеративных фаз (спринтов), по результатам которых заказчику (преподавателю) предоставляется продукт, собирается обратная связь от заинтересованных сторон
Требования к продукту проекта максимально четко определяются на стадиях инициации и планирования, могут (но не желательно) корректироваться в процессе реализации	Требования к продукту проекта корректируются в процессе реализации проекта
Степень вовлеченности заказчика (преподавателя) в процесс реализации проекта относительно невысокая	Высокая степень вовлеченности заказчика (преподавателя) в процесс реализации проекта
В команде проекта четко распределены роли и ответственность за работы проекта	Самоорганизация, само мотивация внутри команды проекта
Коммуникации между участниками проекта происходят в рамках выстроенной иерархии	Все участники команды взаимодействуют между собой (отсутствует внутренняя иерархия)

Работа над проектом с использованием гибкой методологии в общем случае включает в себя следующие процессы:

1. создание итераций (спринтов);
2. выполнение итераций;
3. демонстрация результатов каждой итераций;
4. ретроспектива каждой итерации;
5. демонстрация результатов проекта.

В проекте по разработке программного обеспечения информационной системы можно выделить отдельные типовые роли преподавателей и студентов, которые производят соответствующие действия.

*Заказчик (преподаватель):*

- формулировка постановки задачи: цель, результат проекта, требования и другие параметры проекта;
- верификация общего списка задач для получения продуктового результата проекта;
- проведение приемки результатов проекта.

*Руководитель студенческого проекта (студент):*

- организация работы команды проекта ритмично, результативно и с благоприятным психологическим климатом в команде;
- поддержка деятельности команды проекта в соответствии с гибкой методологией;
- организация и проведение регулярных встреч команды проекта, в том числе с использованием технологий удаленной связи;
- контроль и соблюдение план-графика проекта;
- оформление и хранение в установленном формате документации по проекту;
- передача отчетной документации и материалов после защиты проекта преподавателю.

*Аналитик, архитектор и технический писатель (студент):*

- написание постановок задач для разработчика базы данных, прикладного программиста и тестировщика в трекере задач, например, в сервисе Azure DevOps;
- тестирование выполненных задач;
- управление задачами (изменение статуса) в трекере задач, например, в сервисе Azure DevOps;
- подготовка технического задания на выполнение проекта создания программного обеспечения информационной системы;
- разработка функциональной модели информационной системы;
- определение требований пользователей к информационной системе;
- разработка архитектуры информационной системы;
- оформление руководств администратора по развертыванию и настройке программного обеспечения информационной системы в информационной инфраструктуре пользователя;
- оформление руководств пользователя по использованию программного обеспечения информационной системы.

*Разработчик базы данных (студент):*

- концептуальное проектирование базы данных, например, в сервисе ERDPlus;
- разработка даталогической модели базы данных, например, в СУБД Microsoft SQL Server;
- разработка автоматизированной системы наполнения базы тестовыми данными, например, с использованием сервиса Microsoft SQL Server Integration Services;
- создание системы авторизации пользователей базы данных;
- разработка системы мониторинга доступа к данным ключевых таблиц базы данных;
- подготовка SQL-запросов для создания пользовательских отчетов.

*Прикладной программист (студент):*

- создание и настройка программного проекта в среде разработки, например на платформе Microsoft Visual Studio;
- создание формы регистрации пользователей в приложении;
- разработка визуальных форм для сопровождения таблиц базы данных;
- разработка средств визуализации отчетных данных в табличном и графическом видах;
- разработка системы экспорта отчетных данных во внешний файл.

Рассмотрим пример использования гибкой Agile-методологии для организации работы по проекту создания информационной системы анализа простоев оборудования на предприятии.

#### *Пример постановки задачи*

Бесперебойная работа технологических агрегатов – основа любого производства. Этот вопрос приобретает большую важность в условиях рыночных отношений, когда существует конкуренция. Каждая организация в процессе своей деятельности сталкивается с необходимостью проведения плановых и возникновения внеплановых простоев оборудования, этого не избежать, ведь даже самые «продвинутые» агрегаты имеют свойство выходить из строя. Причины возникновения простоев технологических агрегатов две: это плановые простои (планово-предупредительные ремонты) и внеплановые (аварии и инциденты).

Анализ простоев позволяет выявить их причины, что является неотъемлемой частью рациональной организации производства. Это позволит разработать организационно-технические мероприятия, обеспечивающие ликвидацию и предупреждение внеплановых простоев, учет потерь от простоев оборудования и организацию работ по ремонту. Наконец, данные учета и анализа простоев оборудования используются для подготовки статистических материалов, используемых для изучения динамики простоев оборудования по отдельным календарным периодам и технологическим агрегатам.

Информационная система может помочь инженерно-техническому персоналу отследить причины внеплановых простоев оборудования, проанализировать на каких стадиях производственного процесса возникают несоответствия, приводящие к ремонту и простою оборудования. Основной положительный фактор разработки и внедрения такой системы на предприятии – это уменьшение временного интервала на ремонт оборудования в связи с внеплановыми простоями.

Система должна обеспечивать сопровождение данных в базе о структурных подразделениях предприятия, оборудования, относящегося к этим структурным подразделениям, причинам простоев, дату возникновения и их продолжительность. Также система должна формировать наглядный отчет по цехам и графический анализ в разрезе дат возникновения простоев.

Информационная система должна включать в себя следующие компоненты:

1. централизованное структурированное хранилище данных, размещенное на сервере базы данных SQL, с возможностью аудита процесса сопровождения (добавления, корректировки и удаления) данных в таблицу с важной информацией;
2. клиентское пользовательское приложение для сопровождения базы данных, реализующее операции вставки, выборки, обновления и удаления данных;
3. интерактивный отчет с результатами визуализации данных из базы в табличной и графической форме, размещенный на web-сервере;
4. OLAP-кубы для решения задач бизнес-анализа отчетных данных, направленных на изучение закономерностей в поведении данных и выявления факторов, влияющих на количество неплановых простоев.

Доступ к базе данных со стороны клиентского приложения и web-сервера отчетов необходимо организовать только уполномоченным пользователям, имеющим реквизиты доступа на сервер базы данных (учетную запись и пароль).

Реализацию системы планируется выполнить с использованием следующих средств разработки: Microsoft Excel, Microsoft SQL Server, Visual Studio, Microsoft SQL Integration Services, Analysis Services. Конечными пользователями системы будет инженерно-технологический персонал предприятия, аналитики данных и руководители.

Архитектура информационной системы представлена на рисунке 1.



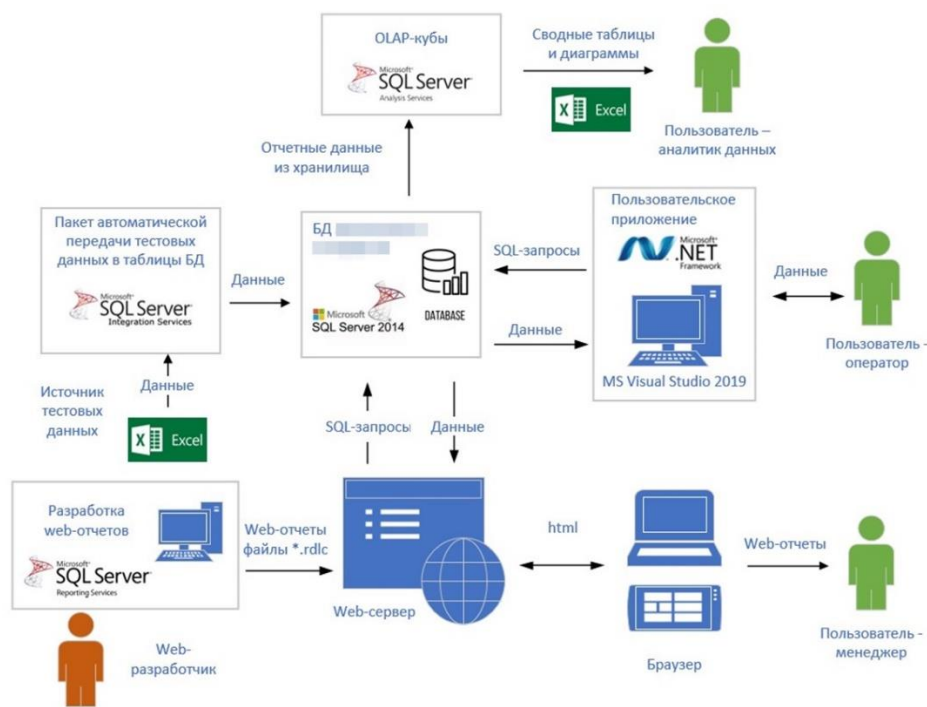


Рисунок 1 – Архитектура информационной системы

### Трекер задач и мониторинг состояния задач

Важным инструментом организации работы над проектом, согласно гибкой методологии, является трекер задач, например, с использованием сервиса Azure DevOps. Azure DevOps Server (ранее Team Foundation Server, сокр. TFS) – продукт корпорации Microsoft, представляющий собой комплексное решение, объединяющее в себе систему управления версиями, сбор данных, построение отчетов, отслеживание статусов и изменений по проекту и предназначенное для совместной работы над проектами по разработке программного обеспечения. Продукт доступен в виде отдельного приложения, сходного по функциям с облачным сервисом Azure DevOps Services.

На рисунке 2 представлен фрагмент окна вкладки Boards сервиса Azure DevOps с перечнем задач на разработку проекта.

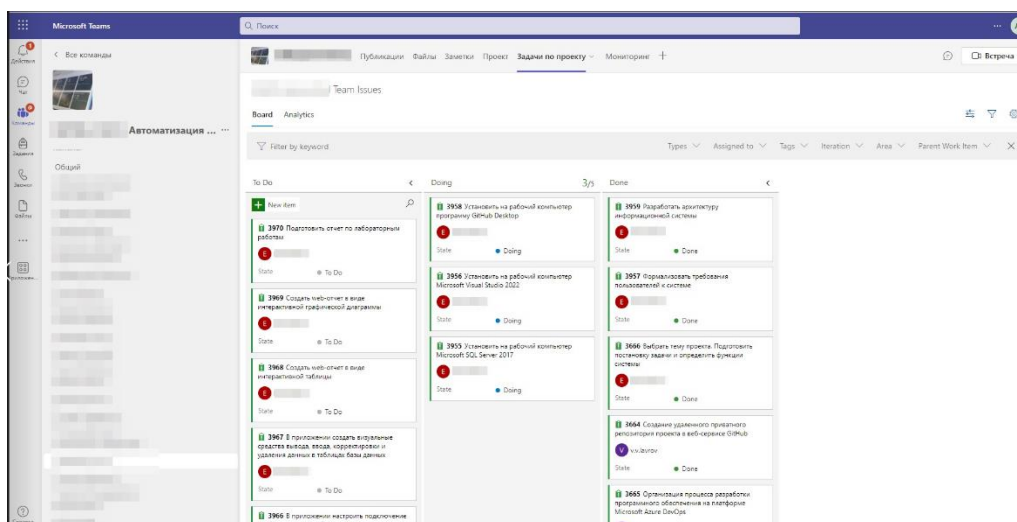


Рисунок 2 – Перечень задач на разработку проекта на вкладке Boards сервиса Azure DevOps

На рисунке 3 представлен фрагмент окна вкладки Dashboards сервиса Azure DevOps, на котором отражены ключевые визуальные метрики для наблюдения за ходом выполнения задач в процессе реализации проекта. В представленной вкладке использованы следующие графические виджеты:

- Burndown (диаграммы выгорания задач);
- Cumulative Flow Diagrams (CFD);
- Lead Time.

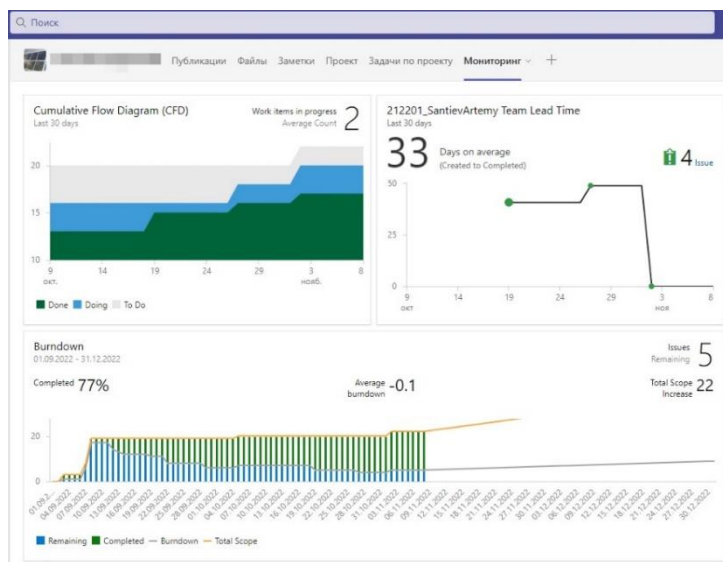


Рисунок 3 – Мониторинг выполнения задач на разработку проекта в сервисе Azure DevOps

Диаграммы выгорания Burndown предоставляют простой способ отслеживать прогресс между командами и спринтами, показывая оставшуюся работу с течением времени. Оставшаяся работа – это вертикальная ось, а время – горизонтальная ось. Оставшаяся работа рассчитывается как сумма определенного поля, такого как Story Points (единица измерения, используемая в Agile управлении и разработке проектов для оценки сложности реализации задач, эта метрика не привязывается к конкретному времени, такому как дни или часы разработки), или количества типа рабочего элемента, такого как User Stories (пользовательские истории, т.е. способ описания требований к разрабатываемой системе, сформулированных как одно или более предложений на повседневном или деловом языке пользователя). Кроме того, каждая диаграмма вычисляет и отображает среднюю скорость выгорания или выгорание и добавленный объем задач в ходе проекта.

На основе исторических данных и увеличения объема задач диаграмма выгорания показывает прогнозируемую дату завершения работы. Используя Burndown, команды могут следить за своим прогрессом и сразу же видеть влияние своей работы на дату выполнения. Эти диаграммы предоставляют следующие полезные показатели:

- работа выполнена в процентах;
- средняя скорость выгорания;
- общее увеличение объема;
- количество рабочих элементов, не оцененных с помощью Story Points или любого другого поля, которое вы используете;
- прогнозируемое выгорание, основанное на исторической скорости выгорания;
- прогнозируемое увеличение объема на основе исторической скорости увеличения объема;

– прогнозируемая дата завершения, основанная на исторических показателях выгорания и увеличения объема работ.

Диаграмма Cumulative Flow Diagrams (CFD) показывает количество задач в каждом столбце Канбан-доски (To Do, Doing, Done) за выбранный период времени. Из этой диаграммы можно получить представление об объеме незавершенной работы и времени выполнения каждой работы. Незавершенные работы учитывают незавершенные требования. Время выполнения указывает количество времени, необходимое для выполнения требования после начала работы.

Гистограмма Lead Time времени цикла для Azure DevOps отображает распределение частоты в зависимости от времени выполнения завершенных рабочих элементов в вашем рабочем процессе. Вертикальная ось отображает частоту, а горизонтальная ось показывает время цикла. Анализируя распределение времени цикла, можно оценить, не слишком ли много вариаций в процессе разработки.

#### *Управление версиями проекта на основе веб-сервиса GitHub*

Системы контроля версий позволяют разработчикам сохранять все изменения, внесённые в код. Поэтому в случае, описанном выше, они могут просто откатить код до рабочего состояния вместо того, чтобы тратить часы на поиски маленькой ошибки или ошибок, ломающих весь код. Системы контроля версий также дают возможность нескольким разработчикам работать над одним проектом и сохранять внесённые изменения, чтобы убедиться, что все могут следить за тем, над чем они работают.

GitHub – сервис онлайн-хостинга репозиторий, обладающий всеми функциями распределённого контроля версий и функциональностью управления исходным кодом – всё, что поддерживает Git. Используется вместе с Git и даёт разработчикам возможность сохранять их код онлайн, а затем взаимодействовать с другими разработчиками в разных проектах.

К проекту, загруженному на GitHub, можно получить доступ с помощью интерфейса командной строки Git и Git-команд. Также есть и другие функции, такие как документация, запросы на принятие изменений (pull requests), история коммитов, интеграция со множеством популярных сервисов, email-уведомления, эмодзи, графики, вложенные списки задач.

На рисунке 4 представлен фрагмент окна сервиса GitHub с размещением программных компонентов проекта – базы данных, приложения, тестовых данных, web-отчета, OLAP-системы и документов с отчетами документами по проекту.

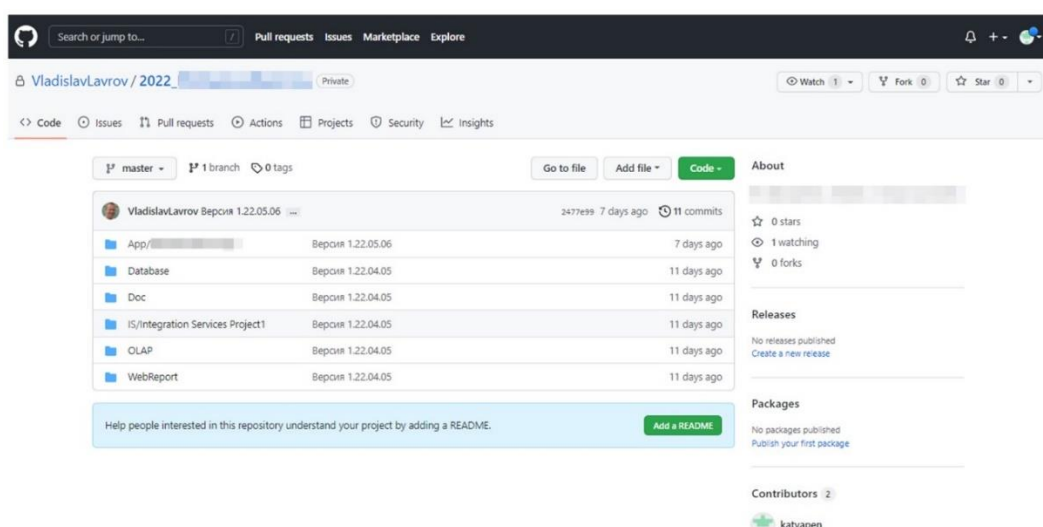


Рисунок 4 – Фрагмент окна сервиса GitHub с размещением проекта

В заключение отметим, что применение в образовательной деятельности гибкой методологии выполнения проектов разработки программного обеспечения информационных систем способствует получению студентами опыта самостоятельной деятельности и повышению личной ответственности за результаты работы, а также формированию ключевых профессиональных компетенций специалиста в ИТ-сфере.

### Библиографический список

1. Цифровая экономика Российской Федерации. Программа до 2035 года (утв. президентом Совета при Президенте РФ по стратегическому развитию и национальным проектам, протокол от 24 декабря 2018, № 16) [электронный ресурс]. URL: <http://ivo.garant.ru>.
2. Практика применения методологий Agile, Scrum в ИТ-проектах / И.А. Зайцева, В.Ш. Ебата, Н.А. Ковбаса // Индустриальная экономика. 2021. №1. – С. 62-69.
3. Проблемы применения Agile-подходов по управлению проектами в российских ИТ-компаниях и способы их решения / Л.В. Евсеев, С.М. Голяков, А.Ю. Журавлев // Наука и мир. 2016. Т. 1. № 6. – С. 31-32.
4. Стратегическое развитие сложных систем в методологиях управления проектами и программами / И.Н. Кадыкова, С.А. Ларина, В.В. Хвостиченко, И.В. Чумаченко // Управление развитием сложных систем. 2017. № 32. – С. 22-31.
5. Современные технологии управления проектами информатизации на основе методологий AGILE-SCRUM и WATERFALL / А.О. Коломыцева, В.Белоусов // Новое в экономической кибернетике. 2017. № 4. – С. 106-111.
6. Технологии управления проектами и проектными командами на основе методологии гибкого управления проектами / О.Л. Чуланова // Вестник Евразийской науки. 2018. №1. Т.10. – С. 1-11.

УДК 681.5:517.444

## ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РАДИАЛЬНЫМ СГУСТИТЕЛЕМ НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ ПРОСТРАНСТВА СОСТОЯНИЙ И ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ПРИ НЕПОЛНОЙ ИНФОРМАЦИИ О ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРАХ

Сулимова А.А., Симикова А.А., Чичерин И.В.

*Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева  
г. Кемерово, Россия, simikovaanna@mail.ru*

**Аннотация.** Представлены и описаны необходимые аспекты проектирования и рабочего функционирования автоматизированных систем управления на примере системы управления процессом сгущения пульпы на обогатительных фабриках. Объект исследования – радиальный сгуститель и переходные процессы, возникающие при дозировании флокулянтов. Представлена техническая реализация системы управления, описаны типы и способы измерения технологических параметров.

**Ключевые слова:** автоматизация технологических процессов, обогащение полезных ископаемых, программно-аппаратный комплекс, радиальный сгуститель.

**Abstract.** The article presents and describes the necessary aspects of designing and operational functioning of automated control systems, using the example of a control system for the process of pulp thickening at processing plants. The object of research is a radial accelerator and transient processes during the dosing of flocculants. The actual engineering realization of the system is submitted here, the types and methods of measuring technological parameters are described.

**Keywords:** automation of technological processes, mineral processing, hardware and software complex, radial thickener.

При переработке руд, в процессе их обогащения, применяются технологии сгущения пульпы и их осветления в радиальных сгустителях. Результатом работы радиального сгустителя является повышение количества твёрдого в сгущаемом продукте, в сравнении с пульпой, подаваемой на переработку.

Одна из основных проблем управления радиальными сгустителями в том, что функционирование данного технологического процесса одновременно требует поддержания целого ряда технологических параметров. В условиях реального технологического процесса, как правило, ситуация усугубляется ограниченным количеством автоматически контролируемых технологических переменных, что вызвано отсутствием контрольно-измерительных приборов, позволяющих оценить характер технологического процесса в режиме реального времени. Тем самым право управления передается технологическому персоналу, принимающему решения на основе своих знаний и опыта.

При синтезе существующих систем автоматического управления (САУ) не создано алгоритма управления, учитывающего характер и структуру материальных потоков, от которых зависит качество технологического процесса. В технической литературе не обозначены причины возникновения нестабильности технологического процесса сгущения в радиальном сгустителе.

Отсюда следует необходимость разработки альтернативного подхода для моделирования, исследования и совершенствования процесса сгущения, решения задач моделирования и исследования процессов сгущения на базе теоретических и экспериментальных методов. Понимая, что повышение эффективности сгущения может быть обусловлено только автоматизацией этого процесса, разработка и реализация единого принципа построения систем управления операцией сгущения является актуальной научной задачей. Эффективность дальнейших гравитационных методов обогащения во многом определяется чистотой используемой на выходе радиального сгустителя оборотной воды.

Рассмотрим радиальный сгуститель в качестве объекта автоматизации (рисунок 1). Сгуститель представляется как сложный, инерционный объект. Выходные параметры: плотность слива  $\delta_c$  и плотность сгущенного продукта  $\delta_{ст}$ . Возмущающие воздействия: гранулометрический состав твердой фазы питания, плотность и расход питания радиального сгустителя ( $\Gamma, Q_x, \delta_x$ ). Промежуточные выходные параметры: плотность осветленного слоя  $\delta_{сл}$  и его высота ( $H_{сл}$ ) [1].

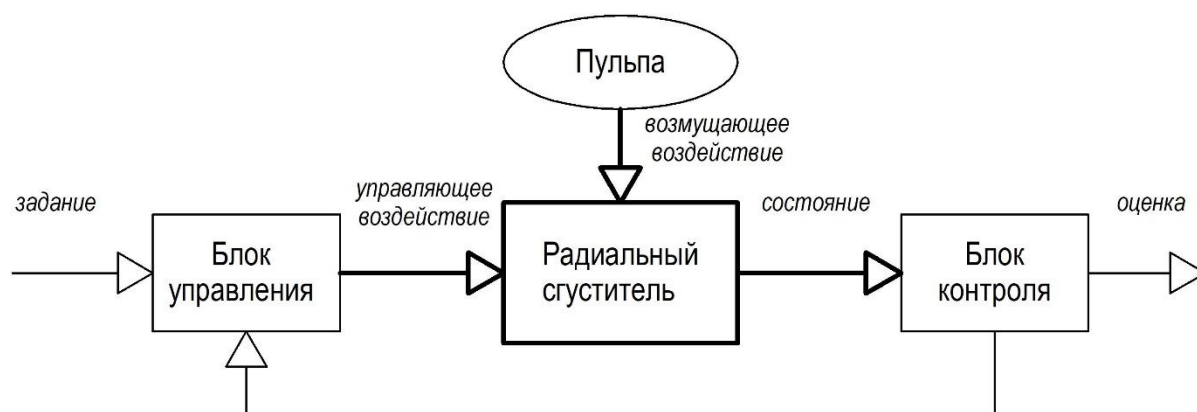


Рисунок 1 – Структурная схема объекта управления

Цель управления радиальным сгустителем, относительно требований технологии, заключается в стабилизации плотности сгущенного продукта ( $\delta_{ст} = const, \delta_{сл} < \delta_{сл доп}$ ).

Управляющим воздействием для стабилизации плотности сгущенного продукта является величина сечения выпускного отверстия у сгустителя. Для обеспечения условия допустимой плотности слива управляющим воздействием может быть расход флокулянта.

Использование системы регулирования плотности слива по отклонению с помощью изменения расхода флокулянта довольно непростая задача. Поскольку согласно теории управления известно, что система регулирования по отклонению становится бесполезной, или в некоторых случаях вредной, если выполняется условие:

$$\tau_{об} > 1/\alpha, \quad (1)$$

где  $\tau_{об}$  – запаздывание объекта регулирования;  
 $\alpha$  – параметр, который характеризует среднюю скорость изменения возмущающего воздействия [2].

Радиальный сгуститель по каналу регулирования плотности слива (САР по отклонению) с помощью изменения расхода флокулянта характеризуются большой инерционностью [3], что обеспечивает выполнение условия (1). Таким образом, система автоматическая регулирования (САР) неработоспособна.

Предлагается решить данную проблему двумя методами. Первый метод предлагает ввести систему регулирования расхода питания радиального сгустителя по возмущению  $Q_{пит}$ . Второй метод предполагает обеспечить стабилизацию высоты осветленного слоя в радиальном сгустителе путем изменения расхода флокулянта  $Q_{фл}$ . По каналу изменения расхода флокулянта инерционность объекта управления значительно меньше и реализация САР по отклонению адекватна. Стоит отметить, что некую сложность представляет измерение высоты осветленного слоя. Этот вопрос будет рассмотрен ниже, где будет предложен косвенный вариант измерения толщины осветленного слоя радиального сгустителя [4].

Первая САР, представленная на рисунке 2, выполняет функции стабилизации высоты осветленного слоя, путем изменения расхода флокулянта. На основании показаний датчика высоты осветленного слоя (1-1) регулятор управляет исполнительным механизмом (1-6) регулирующего органа (1-7) установленного на линии подачи флокулянта в сгуститель.

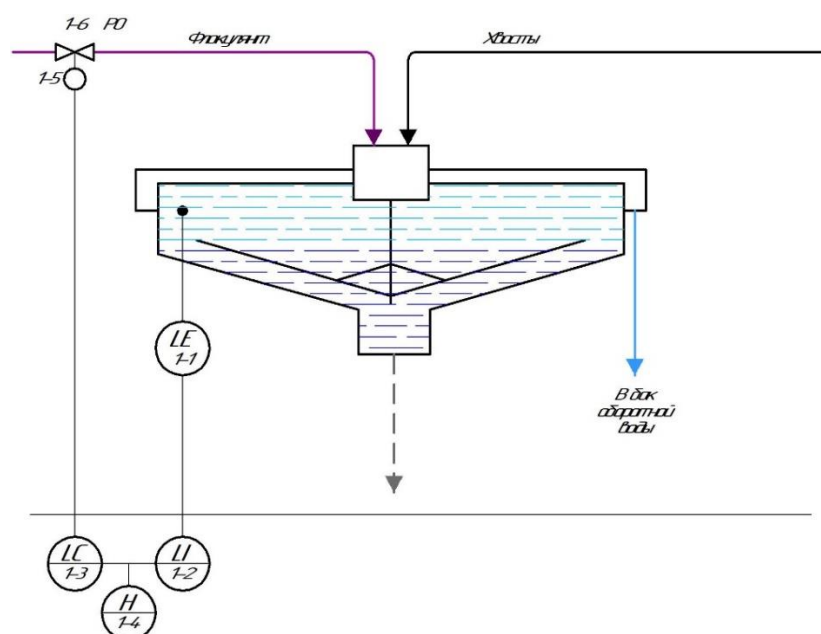


Рисунок 2 – САР стабилизации высоты осветленного слоя радиального сгустителя

С целью контроля степени флокуляции в контуре управления насосом, дозирующим флокулянт, высота осветленного слоя может быть измерена, например, поплавковым

уровнемером. Однако, данный способ на практике показывает низкую эффективность, поскольку при неправильном управлении в зоне осаждения плотность осадка сильно колеблется. Предлагается альтернативный метод косвенного измерения толщины осветленного слоя радиального сгустителя.

Датчик давления высоты постели устанавливается в разгрузочном конусе сгустителя, что позволяет косвенно измерить массу сгущенного слоя. Давление изменяется в диапазоне измерения 0-40 МПа. Датчик выдает унифицированный токовый сигнал 4-20 мА с погрешностью измерения  $\pm 0,15\%$ .

Вторая САР (рисунок 3) выполняет функции стабилизации плотности сгущенного продукта (2-1) за счет изменения величины сечения выпускного отверстия регулирующего органа (2-6) на выходе сгустителя.

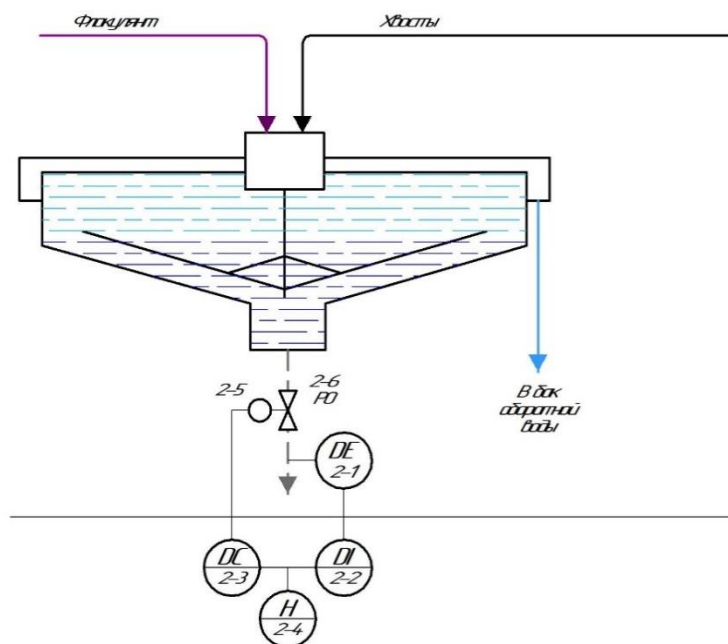


Рисунок 3 – САР стабилизации плотности сгущенного продукта

Для непрерывного измерения плотности сгущенного продукта предлагается вибрационный плотномер. Первичный преобразователь устанавливается в трубопровод. Он изготовлен из стального трубчатого корпуса, в котором закрепляются жестко соединенный с камертоном пьезопреобразователь и термопреобразователь. Генератор с помощью пьезопреобразователя возбуждает колебания камертона. Изменение плотности сгущенного продукта, в который погружен камертон, влияет на частоту его колебаний. Частота пересчитывается в значение плотности в  $\text{кг/м}^3$  с учетом температурной поправки. Датчик выдает унифицированный токовый сигнал 4-20 мА с погрешностью измерения  $\pm 0,5\%$ .

Полная схема автоматизации процесса сгущения в радиальном сгустителе приведена на рисунке 4. Она включает две приведенные ранее системы автоматического регулирования по отклонению, а также системы автоматического контроля и сигнализации.

Аварийная сигнализация и контроль плотности слива осуществляется мутномером (3-1) и вторичным прибором с функцией световой и звуковой сигнализации (3-3). Данная система позволяет использовать слив как оборотную воду.

Контроль плотности слива в осветленном сливе сгустителя осуществляется мутномером. Его принцип работы заключается в пропускании узко направленного потока света через слив. Погружные зонды устанавливаются непосредственно в точку отбора показаний в верхней области желоба для сбора слива сгустителя. Вторичный преобразова-

тель фиксирует величину рассеивания инфракрасного излучения твердыми частицами пульпы под углом  $90^\circ$  на основе нефелометрического метода исследования [5].

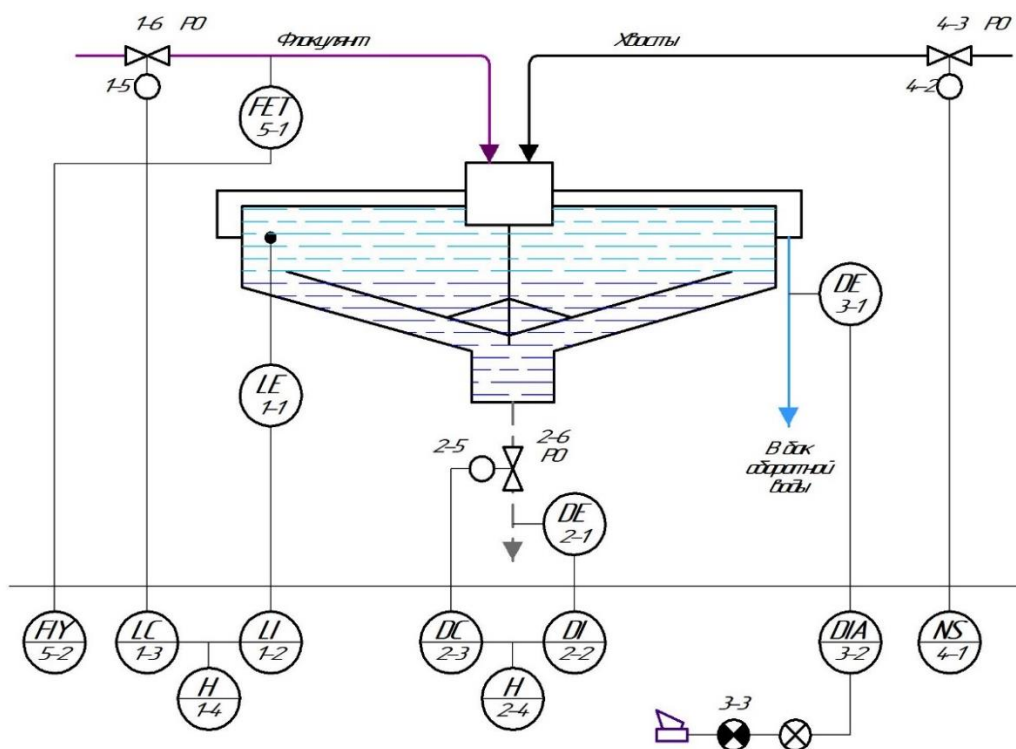


Рисунок 4 – Схема автоматизации радиального сгустителя

В случае изменения гранулометрического состава твердой фазы питания система регистрирует изменение мутности в верхних слоях радиального сгустителя и своевременно сигнализирует о нарушении технологического процесса, не допуская брака кондиции по сливу. Плотность изменяется в диапазоне измерения 0-1000 мг/л. Датчик выдает унифицированный токовый сигнал 4-20 мА с погрешностью измерения  $\pm 2\%$ .

Подача пульпы на сгущение в радиальный сгуститель осуществляется центробежным насосом (4-3).

Принимая во внимание большой расход и высокую стоимость флокулянтов рационально осуществлять контроль и учет расхода флокулянта (5-1).

Предполагаемая концепция управления радиальным сгустителем учитывает варьирование многомерного коэффициента обратной связи по состоянию в режиме реального времени в ходе переходных процессов в системе путем введения понятия параметрической нестационарности внутренней среды. При этом с целью экспериментальной оценки параметров переходных процессов последние определяются по отображениям сигналов на W-картах.

Используемая в системе вейвлет-среда оперирует время-частотными распределениями класса Козна (преобразованиями Вигнера-Вилле и Чуи-Уилльямса). Сочетание моделей переходных процессов в терминах пространства состояний и их представление в формате распределений Вигнера позволяет оценивать, задавать и переназначать параметры внутренней структуры объекта управления в режиме реального времени с целью достижения эффекта стабилизации технологических параметров в номинальном режиме.

В качестве примера вейвлет-преобразования реальных сигналов на рисунке 5 приведем сигнал расхода и его трехмерное время-частотное вейвлет-разложение в процессе управления по возмущению.

Анализируя функционирование, уход в сторону больших частот в области 1 говорит о нарушении технологического режима. В области 2 наблюдается разбаланс фазы до-



затора. Области 1а и 2а соответствуют восстановлению режима дозирования под воздействием управляющего сигнала.

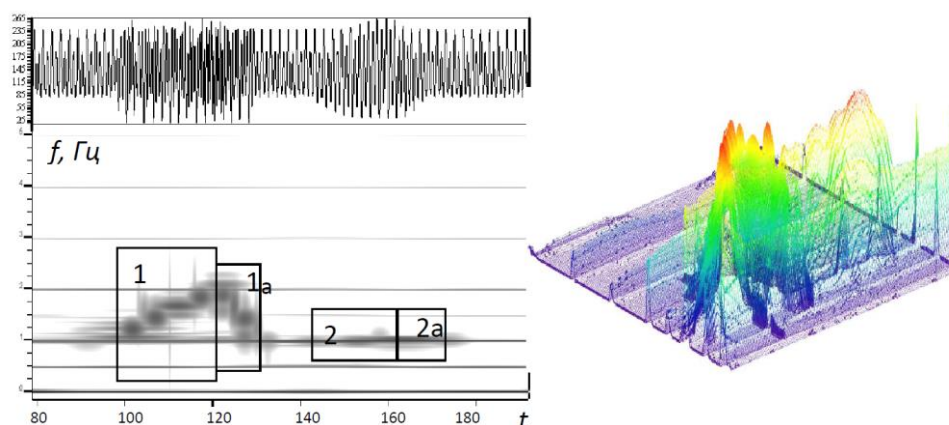


Рисунок 5 – Пример вейвлет-преобразования реальных сигналов расхода

Как видно, вейвлет-преобразование обеспечивает превосходное временное разрешение высокочастотных компонентов и масштабное (частотное) разрешение низкочастотных компонентов. Это часто件 полезно, поскольку позволяет отличать низкочастотные компоненты, которые обычно придают сигналу его основные характеристики или идентичность, друг от друга с точки зрения их частотного содержания, обеспечивая при этом превосходное временное разрешение для высокочастотных компонентов, которые добавляют нюансы к поведению сигналов.

В рамках реализации совместного проекта планируется реализовать концепцию управления процессом сгущения в радиальном сгустителе, учитывающую характер нестационарного переходного процесса и варьирование многомерного коэффициента передачи обратной связи по состоянию и разработать программно-аппаратный комплекс автоматизированной системы управления радиальным сгустителем, на основе датчиков собственного производства и программного продукта.

Структура программно-аппаратного комплекса с комплектом контрольно-измерительного оборудования для демонстрации и исследования процессов в радиальном сгустителе в режиме реального времени представлена на рисунке 6. Авторами ведется работа по разработке собственного датчика плотности и способа измерения высоты осветленного слоя, разрабатываются электронные платы вторичных преобразователей.

### Библиографический список

1. Гудима В.И. Основы автоматизации обогатительных фабрик. –М: Недра, 1979. – 213 с.
2. Крутов В.И., Спорыш И.П., Юношев В.Д. Основы теории автоматического регулирования. - М.: Машиностроение, 1969. – 360 с.
3. Автоматизация производства углеобогатительных фабрик/Л.Г. Мелькумов, В.А. Ульшин и др. – М.: Недра, 1983. – 295 с.
4. Козин В.З., Тихонов О.Н. Опробование, контроль и автоматизация обогатительных процессов. Учеб. для вузов. - М.: Недра, 1990. – 343 с.
5. Федосенков Б.А. Автоматизированное управление смесеприготовительными процессами в вейвлет-среде [Текст] : монография / Б. А. Федосенков, Д. Б. Федосенков ; М-во образования и науки Российской Федерации, Кемеровский технологический ин-т пищевой пром. - Кемерово: КемТИПП, 2015. – 188.

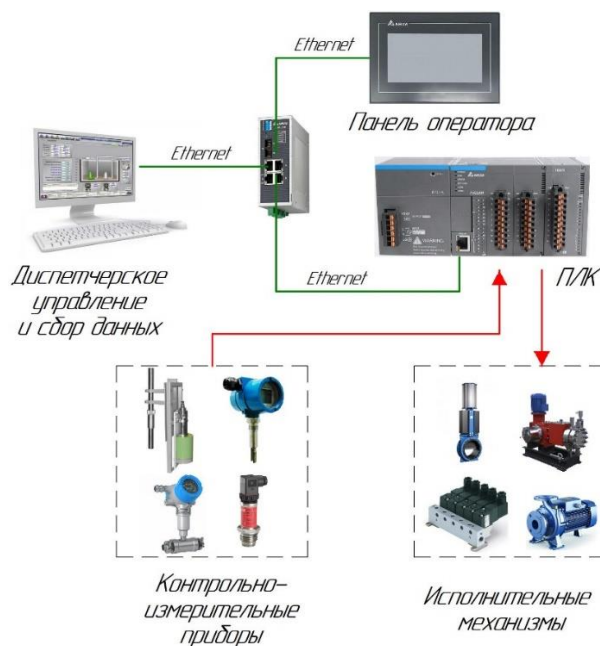


Рисунок 6 – Структура программно-аппаратного комплекса автоматизированной системы управления радиальным сгустителем

УДК 681.518.3

## О РАЗРАБОТКЕ МОДЕЛИРУЮЩЕГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕХАНИЗМОВ ПРЕЦЕДЕНТНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Койнов Р.С., Кулаков С.М., Тараборина Е.Н.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»  
г. Новокузнецк, Россия

**Аннотация.** Рассмотрена задача создания моделирующего комплекса применительно к системам прецедентного управления слабоформализуемым технологическим или организационным объектом. Представлены этапы моделирования, критерии оценки эффективности принятых управляющих решений. Показана возможность оценки эффективности конкретных механизмов прецедентного управления по результатам натурно-математического моделирования.

**Ключевые слова:** моделирующий комплекс, автоматизированное управление, сложные технологические объекты, модельный подход, натурно-модельный подход, метод прецедентов, СВР-цикл принятия решений, коррекция прецедентных управляющих решений.

**Abstract.** The problem of creating a modeling complex in relation to systems of case management of a weakly formalized technological or organizational object is considered. The stages of modeling, criteria for evaluating the effectiveness of the adopted management decisions are presented. The possibility of evaluating the effectiveness of specific mechanisms of case management based on the results of natural-mathematical modeling is shown.

**Keywords:** modeling complex, automated control, complex technological objects, modeling approach, full-scale modeling approach, precedent method, CBR-decision-making cycle, correction of precedent control decisions.

### Введение

С начала 21-го века значительное внимание в исследования в области систем автоматизированного управления организационными (активными) объектами уделяется применению метода прецедентов при выработке и принятии управляющих решений [1-4]. Относительно недавно появились первые публикации по применению этого метода в системах человеко-машинного управления сложными (трудно формализуемыми) технологическими агрегатами циклического действия, к числу которых относятся современные

агрегаты для выплавки стали, [4-6]. Предложена человеко-машинная процедура выбора, из регулярно пополняемой базы данных о прошлых плавках стали, оптимальных прецедентов для формирования программы управления предстоящей плавкой на основе заданных критериев оптимальности и вариантных ограничений [7]. Приведен пример применения метода прецедентов для построения программы управления предстоящей плавкой в кислородном конвертере [8].

Важным этапом построения систем автоматизированного управления на основе метода прецедентов является анализ эффективности принимаемых управляющих решений перед внедрением систем в промышленную эксплуатацию.

#### **Конкретизация метода натурно-математического моделирования применительно к системам прецедентного управления**

Метод натурно-математического моделирования (НММ), основанный на совместном использовании натуральных данных о функционировании действующей системы автоматизированного управления, и, так называемых, пересчётных математических моделей был разработан и получил распространение в 80-ых годах прошлого столетия усилиями известной научной школы Профессора Авдеева В.П. применительно к задачам разработки, испытания и совершенствования АСУТП [9]. В данном докладе этот метод конкретизирован для предварительного анализа эффективности и настройки прецедентного механизма, принятия управляющих решений в организационной (человеко-технической) системе.

Оценка эффективности прецедентного механизма управления методом НММ предполагает накопление и применение исторических данных о входных и выходных воздействиях (управлениях и возмущениях) объекта управления, а также о параметрах состояния объекта и полученных результатах управления. В контексте прецедентного управления плавкой стали в кислородном конвертере посредством формирования программы ведения предстоящей плавки такое моделирование может быть построено следующим образом.

На основании имеющихся данных из  $N$ -го количества паспортов плавки стали формируется общий массив данных о плавках стали. Количество паспортов должно быть достаточным, чтобы обеспечить репрезентативность выборки (например,  $N$  должно быть не менее 200). Далее данные паспортов плавки стали ранжируются по дате-времени и разделяются на две равные части. Первая половина паспортов в моделирующем комплексе содержит данные о прецедентах. Вторая половина используется в процессе моделирования для порождения новых ситуаций и задач принятия решений в форме программы ведения каждой предстоящей плавки стали. В дальнейшем, полученные в результате моделирования управляющие решения и их результаты сравниваются с фактическими управляющими воздействиями и результатами из исторических данных соответствующих ситуаций (рисунок 1).

Ранее в [7] был предложен механизм управления, в виде человеко-машинной процедуры ситуационного выбора программы ведения предстоящей плавки стали, из регулярно пополняемой базы данных о параметрах программ ведения прошлых плавки, которая является оптимальным прецедентом для новой ситуации (новой плавки стали).

Процедуру выбора программы ведения плавки следует рассматривать в контексте предложенного ранее [6] цикла выработки и реализации управляющих решений (рисунок 1; жирно выделены блоки, связанные с выбором и коррекцией оптимальных прецедентов).

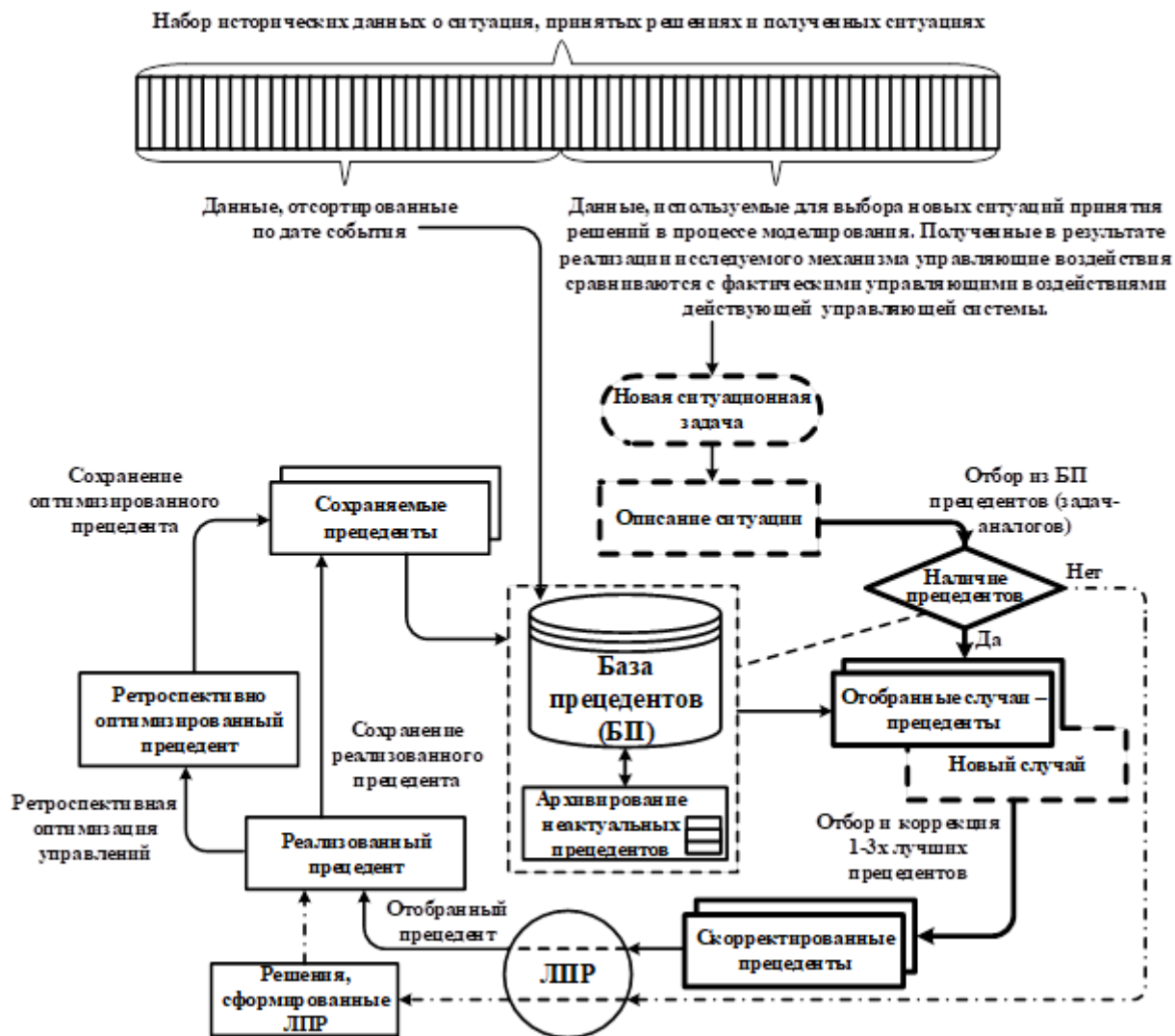


Рисунок 1 – Представление процесса моделирования выработки управляющих решений в системе управления на основе метода precedентов

Предлагаемый человеко-машинный механизм моделирования и выбора оптимальных precedентов включает следующие действия (на примере моделирования процесса управления плавкой стали в кислородном конвертере):

1. на рабочую станцию ЛПР поступает задание на предстоящую плавку (очередная новая ситуационная задача из второй половины исторических данных), содержащее параметры ситуации для новой плавки, в том числе: заданную массу плавки и марку стали (химсостав, температуру), химсостав жидкого чугуна, скрапа, ферросплавов и шлакообразующих;
2. ЛПР осуществляет запуск процесса формирования ближайшей, к текущему моменту времени, выборки заданного объема из базы precedентов и алгоритм отбора нескольких оптимальных precedентов, при этом:
  - 2.1. из выборки отбираются подмножества precedентов, удовлетворяющих ограничениям по марке и температуре стали, массе плавки, наличию необходимых сыпучих материалов;
  - 2.2. на основе заданной меры близости формируется малая (1-3 плавки) группа оптимальных, то есть наиболее близких к предстоящей плавке по значениям ситуационных параметров, precedентов;

- 2.3. при наличии в каком-либо представителе малой группы, существенных отличий от условий предстоящей плавки в него автоматически вносятся поправки, определяемые с помощью простых математических моделей в малом (пропорций, формул материального или теплового баланса);
- 2.4. представители группы оптимальных прецедентов, в сжатой форме, отображаются ЛПП, который, по своему усмотрению, выбирает один прецедент для реализации. Если ЛПП не находит подходящий прецедент, то он может поменять меру близости или ограничения и вновь обратиться к шагу 2.2 для формирования новой группы оптимальных прецедентов или внести собственные поправки в решение, соответствующее отобранному прецеденту;
3. ЛПП принимает к реализации выбранный прецедент «как есть» или делает его корректировку.

Затем выбранные/уточненные параметры программы ведения предстоящей плавки стали используются для сравнения с фактическими данными параметров программы этой же плавки из исторических данных.

Для анализа эффективности управления предлагается оценивать расхождение значений модельных и фактических управляющих воздействий на некоторой репрезентативной выборке для возможности вычисления, например, среднемодульного отклонения обобщённого показателя эффективности и т.д. Чем меньше эти отклонения, тем, можно считать, более качественным было модельное управление на основе метода прецедентов.

Структура программного моделирующего комплекса представлена на рисунке 2. Хранение всех данных, в т.ч. исходных, данных о прецедентах, результатах моделирования, настроек моделирования осуществляется в базе данных (БД). Все первичные данные, на основе которых выполняется моделирование, проходят предобработку, корректировку и сохраняются в БД. Моделирование реализовано отдельным программным классом (подсистемой) реализации модифицированного цикла принятия управленческих решений на основе прецедентного подхода. Подсистема отображения информации реализует пользовательский интерфейс, через который происходит первичная загрузка данных, настройка моделирования, проведение моделирования (в т.ч. работа ЛПП), вывод результатов моделирования и отчетов. Подсистема отчетов реализована как отдельный класс, который формирует «гибкие» SQL-запросы к БД и представляет результат в необходимом для пользователя виде (PDF, MS Excel и т.д.). Данная подсистема в настоящий момент работает посредством SQL Server Reporting Services, но может быть также реализована независимым модулем.

#### **Используемый при разработке моделирующего комплекса стек технологий**

Моделирующий комплекс разрабатывается с использованием языка программирования C# (windows forms). Для хранения данных используется реляционная СУБД MS Access (для крупных моделирований могут быть использованы СУБД MS SQL Server или PostgreSQL). Подключение приложения к СУБД осуществляется с помощью технологии ADO.

#### **Заключение**

Выполнен пробный этап моделирования предлагаемого прецедентного механизма ведения конвертерной плавки стали в условиях АО «Евраз ЗСМК», который охватил 50 плавков стали.

Новый механизм при этом показал возможность сократить количество додувок не менее чем на 10%, уменьшить длительность плавки в среднем на 3-5 минут, уменьшить среднее модульное отклонение от задания основности шлака на повалке на 10%.

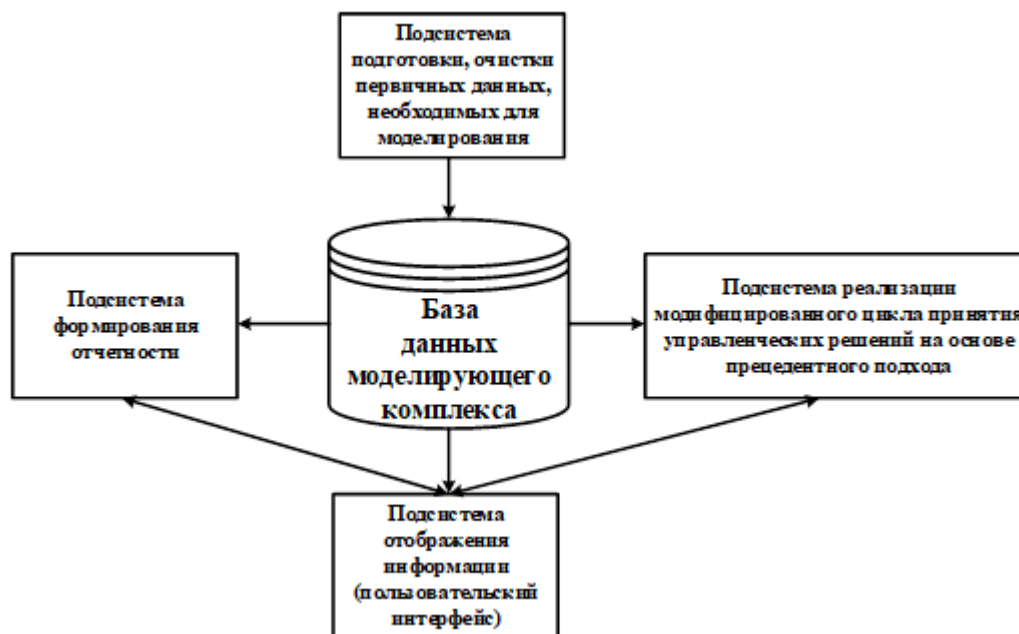


Рисунок 2 – Структура программного обеспечения моделирующего комплекса

### Библиографический список

1. Карпов Л.Е. Адаптивное управление по прецедентам, основанное на классификации состояний управляемых объектов / Л.Е. Карпов, В.Н. Юдин // Труды института системного программирования РАН, Т. 13, ч. 2. – М., 2007, с. 37-57.
2. Авдеенко Т.В. Система поддержки принятия решений в IT-подразделениях на основе интеграции прецедентного подхода и онтологии / Т.В. Авдеенко, Е.С. Макарова // Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2017. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-podderzhki-prinyatiya-resheniy-v-it-podrazdeleniyah-na-osnove-integratsii-pretsedentnogo-podhoda-i-ontologii> (дата обращения: 16.11.2020).
3. Варшавский П.Р. Метод поиска решений в интеллектуальных системах поддержки принятия решений на основе прецедентов / П.Р. Варшавский, Р.В. Алехин // International Journal «Information Models and Analyses» Vol.2 / 2013, Number 4. – с. 385-392.
4. Прецедентный подход к формированию программ управления объектами циклического действия / С. М. Кулаков, В. Б. Трофимов, А. С. Добрынин, Е. Н. Тараборина // Системы автоматизации в образовании, науке и производстве AS'2017 : труды XI Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием), 14-16 декабря 2017 г. – Новокузнецк : Издательский центр СибГИУ, 2017. – С. 11–19. – Библиогр.: с. 19 (18 назв.).
5. Кулаков, С. М. Метод прецедентов в системах управления сложными технологическими объектами / С. М. Кулаков, М. В. Ляховец, Р. С. Койнов // Труды XIII Всероссийского совещания по проблемам управления. ВСПУ-2019, Москва, 17–20 июня 2019 г. – Москва, 2019. – 6 с.
6. Управление слабоформализуемым технологическим объектом на основе метода прецедентов / С. М. Кулаков, М. В. Ляховец, Р. С. Койнов, Е. Н. Тараборина // Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности : сборник научных статей международной научной конференции, 31 января 2020 г. – Казань, 2020. – Ч. 1. – С. 113–120. – Библиогр.: с. 119–120 (14 назв.).
7. Койнов, Р. С. Выбор оптимальных прецедентов для формирования программы управления предстоящей плавкой стали / Р. С. Койнов, С. М. Кулаков, Е. Н. Тараборина //

- Автоматизированный электропривод и промышленная электроника : труды Девятой научно-практической конференции, 25-26 ноября 2020 г. – Новокузнецк : Издательский центр СибГИУ, 2020. – С. 100-108. – URL: <http://library.sibsiu.ru>.
8. Применение метода прецедентов для построения программы управления предстоящей плавкой стали в кислородном конвертере / Кулаков С. М., Койнов Р. С., Тараборина Е. Н., Квашнин К. В. // Системы автоматизации (в образовании, науке и производстве). AS'2021 : труды XIII Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием), 2–3 декабря 2021 г. – Новокузнецк : Издательский центр СибГИУ, 2021. – С. 31–39. – URL: <http://library.sibsiu.ru>.
  9. Авдеев В.П. Натурно-математическое моделирование в системах управления: Учебное пособие / В.П. Авдеев, С.Р. Зельцер, В.Я. Карташов, С.Ф. Киселёв.- Кемерово: КГУ, 1987. – 84 с.

УДК 621.74:681.3

## КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕРЫ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ СТАЛЬНЫХ ОБШИВОК СУДОВ К ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ КОРРОЗИИ

Веревкин В.И., Игушев В.Ф., Веревкин С.В.

*Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота  
г. Калининград, Россия, [verevkinvi@mail.ru](mailto:verevkinvi@mail.ru); [Igushev\\_TMM@bga.gazinter.net](mailto:Igushev_TMM@bga.gazinter.net);  
[verevkinserg@mail.ru](mailto:verevkinserg@mail.ru)*

**Аннотация.** Порождение множества причин развития самой опасной электрохимической коррозии стальных обшивок судов вынуждает судостроителей изыскивать наиболее универсальные средства борьбы с этим явлением. Предложен анализ причин возникновения и развития электрохимической коррозии обшивок судов. Приведены две основные схемы формирования термоэлектродвижущей силы стального сварного соединения в условиях высокоэлектропроводной морской среды – скрытой и открытой. Отмечено, что основными источниками дестабилизации двойного электрического слоя вблизи ватерлинии судна являются открытые формы проявления электромагнитных полей. Разработан способ долговременного малозатратного снижения склонности стальных обшивок судов к электрохимической коррозии путем снижения величины термоэлектродвижущих сил на сварных соединениях из взаимозаменяемых элементов обшивок путем предварительной оценки напряжений в каждом свариваемом узле. Перечислены основные источники нарушения стабилизирующего и тормозящего развитие электрохимической коррозии двойного электрического слоя. Разработан ряд способов ускоренного испытания стальных металлоконструкций на электрохимическую коррозию. С их помощью предложена технологическая таблица управления состоянием сварных стальных соединений в функции признаков технологических ситуаций. Даны конкретные рекомендации элиминирования склонности сварных металлоконструкций, и, прежде всего, стальных обшивок судов, к электрохимической коррозии.

**Ключевые слова:** электрохимическая коррозия, обшивка судов, термоэлектродвижущая сила, сварные соединения, электромагнитные поля, способ, морская вода.

**Abstract.** The origin of many reasons for the development of the most dangerous electrochemical corrosion of steel shells of ships forces shipbuilders to seek the most versatile means of combating this phenomenon. An analysis of the causes of the occurrence and development of electrochemical corrosion of ship hulls is proposed. Two main schemes of the formation of the thermoelectromotive force of a steel welded joint in a highly electrically conductive marine environment - hidden and open - are presented. It is noted that the main sources of destabilization of the electric double layer near the ship's waterline are open forms of manifestation of electromagnetic fields. A method has been developed for a long-term low-cost reduction of the tendency of steel shells of ships to electrochemical corrosion by reducing the magnitude of thermoelectromotive forces on welded joints from interchangeable shell elements by preliminary assessment of stresses in each welded joint. The main sources of disturbance of the electric double layer stabilizing and inhibiting the development of electrochemical corrosion are listed. A number of methods have been developed for accelerated testing of steel metal structures for electrochemical corrosion. With their help, a technological table for controlling the state of welded steel joints is proposed as a function of signs of technological situations. Specific recommendations are given to eliminate the tendency of welded metal structures, and, first of all, steel shells of ships, to electrochemical corrosion.

**Keywords:** *electrochemical corrosion, ship plating, thermoelectromotive force, welded joints, electromagnetic fields, method, sea water.*

Основной причиной, побуждающей развитие самой интенсивной коррозии стальных обшивок судов – электрохимической (ЭХК) – является дестабилизация двойного электрического слоя, образуемому на поверхности металла и препятствующего его дальнейшему разрушению [1].

При соприкосновении двух электропроводящих фаз (например, металл-жидкая электропроводная среда), когда одна из них заряжена положительно, а другая отрицательно, между ними возникает разность потенциалов. Это явление связано с возникновением двойного электрического слоя (ДЭС). Заряженные частицы располагаются на границе раздела фаз.

С одной стороны, при достаточно большой энергии гидратации ионы металла могут отрываться и переходить в раствор, оставляя на поверхности эквивалентное число электронов, которые определяют ее отрицательный заряд. Отрицательно заряженная поверхность притягивает к себе анионы металла из раствора. Так на границе раздела фаз возникает двойной электрический слой. С другой стороны, на поверхности металла разряжаются катионы электролита. Это приводит к тому, что поверхность металла приобретает положительный заряд, который с анионами раствора образует двойной электрический слой.

Дестабилизация ДЭС на границе раздела фаз ведет к протеканию по нему постоянных переходных процессов с многократным увеличением скорости перехода ионов (растворения) металла в раствор и с одновременной интенсификацией процесса разрядки катионов электролита на металл.

Настоящая статья посвящена изучению и описанию механизмов дестабилизации ДЭС стальных сварных металлоконструкций (прежде всего, обшивок судов) и разработке на этой базе технологических мер их блокировки.

Основными причинами нарушения ДЭС стальных обшивок судов являются термоэлектродвижущие силы (ТЭДС), возникающие в местах сварки стальных полотнищ (карт). Разнородные стали, соединяясь вместе, образуют термопары. Можно утверждать, что стойкость стальных обшивок судов лимитируется ресурсом работы их сварных соединений [4]. ТЭДС стальных контактов элементов обшивок может превышать напряжения самых чувствительных термопар, например, хромель-копелевых (ТХК). Однако в отличие от стандартных термопар, обладающих однозначными, неизменными и известными составами, термопары сварных стальных соединений остаются слабо определенными и трудно предсказуемыми.

Околошовная зона (ОШЗ) и сам сварной шов формируются путем сплавления основных и сварочных материалов. Структура и свойства шва и ОШЗ существенно непостоянны. Фактически в условиях существенного разброса химического состава внутренних областей стального шва и ОШЗ, их материалы можно установить лишь в результате разрушающего контроля.

На рисунке 1 представлена схема формирования скрытой ТЭДС с нагревом сварного соединения по толщине обшивки судна.

Данная схема соответствует принципу скрытой генерации ТЭДС. При этом ТЭДС для наиболее распространенного стыкового сварного соединения формируется по линиям сплавления сварного шва с деталями. В сварном соединении образуются две термопары: первая – «сварной шов-первая деталь», вторая – «сварной шов-вторая деталь». Имеется особенность: ТЭДС наводится не классически между изолированными проволочными электродами, а скрыто внутри сплошного тела – деталей и сварного шва.

Под действием ТЭДС в сварном шве и деталях генерируются токи. По сплошной электропроводной стальной среде происходит шунтирование источника тока. Имеет место режим гашения мощности источника тока, близкий к режиму короткого замыкания.



Так как внутреннее сопротивление термопары и шунтирующей цепи чрезвычайно малы, токи – весьма значительные. В целом электрические поля в сварном соединении обуславливаются состоянием, близким к режиму контактной сварки. В режиме холостого хода (то есть, в режиме предварительной сборки – когда детали соединяются только в одной рабочей точке) формируемая ТЭДС максимальна. В сваренном состоянии режимное напряжение образованного соединения становится значительно ниже исходной ТЭДС.

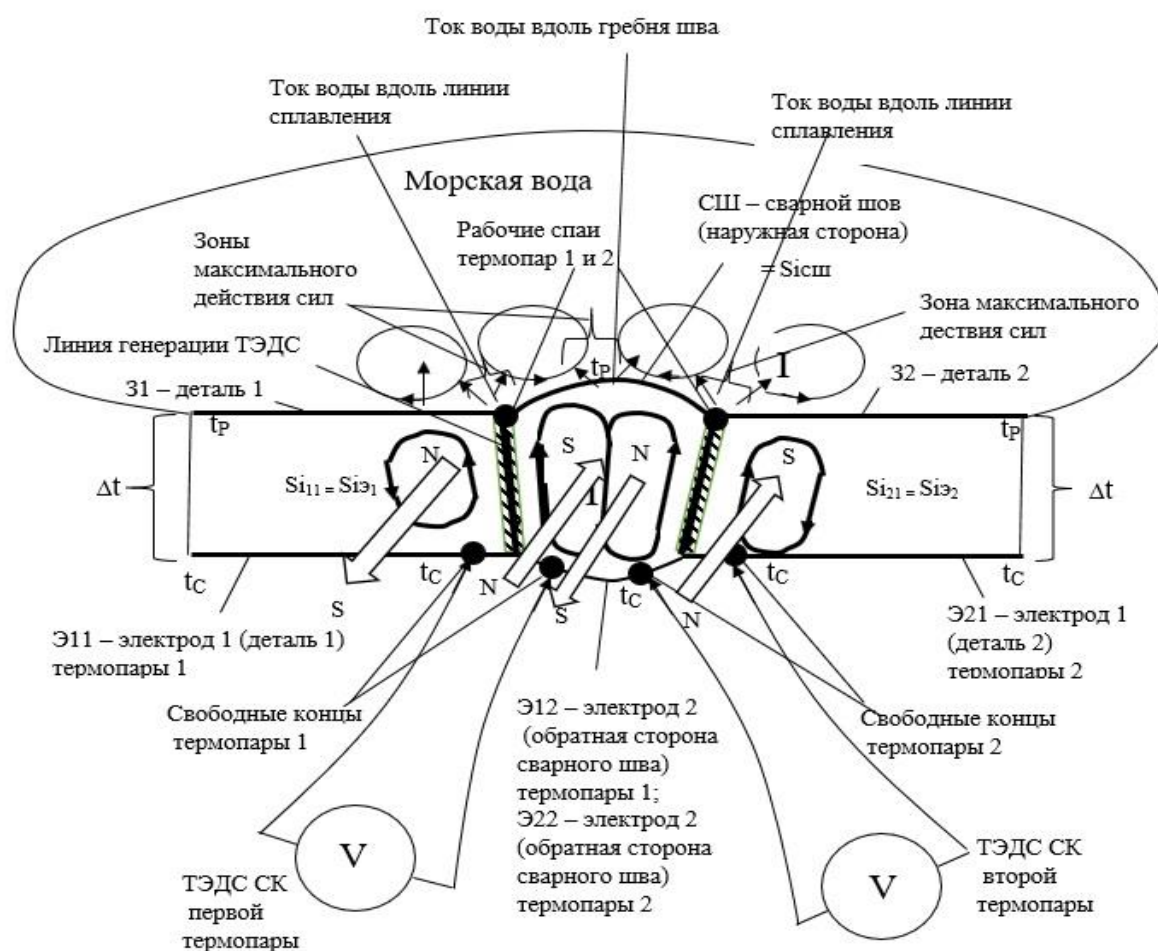


Рисунок 1 – Схема формирования скрытой ТЭДС с нагревом сварного соединения по толщине обшивки судна

По существу  $u_{лс}$  представляет собой ТЭДС источников тока за вычетом внутренних и внешних потерь. Потери, выраженные в напряжении, составляют от 50 до 70 процентов. То есть, напряжение по области сплавления  $u_{лс} = (0,3-0,5) u_{ТЭДС}$ . Оно порождает магнитные поля внутри сплошного сварного соединения и за его пределами. Проводники с током в магнитном поле, в свою очередь, создают усилия в воде, окружающей обшивку судна.

Под действием ТЭДС, расположенным по линиям сплавления, в сварном шве возникают два, а в каждой детали – по одному генеральному замкнутому контуру тока.

По стали на границе деталей и сварного шва с водой течет ток, создавая вторичное падение напряжения: на каждой детали  $u_{21}$  и на каждой половине сварного шва  $u_{22}$ . Эти напряжения создают токи в окружающей морской воде. Как проводники с током в магнитном поле объемы воды под током подвергаются действию силы. Именно она является основным источником потоков морской воды, дестабилизирующих ДЭС и провоцирующую

щих ЭХК. Постоянный же срыв ДЭС порождает непрерывный переходный режим и увеличивает ЭХК.

Ток в стальном сварном шве при ТЭДС до 7 мВ лежит в пределах от 3 до 10 А. Удельная электрическая проводимость морской воды достаточно низкая – около 4,28 См/м при 15 °С и 5,30 См/м при 25 °С [2]. При этом по расчетам ток в морской воде относительно большой, и укладывается в диапазон от 3 до 10 мА, т.е., примерно в 1000 раз меньше, чем в сварном шве. Максимальное значение напряжения в режимной точке А не превышает величины  $u_{срА} = 0,012 \cdot 10^{-3}$  В [3]. Как показывают измерения, реальные средние значения ТЭДС в разомкнутых (то есть, в собираемых, а не сваренных) стальных соединениях ограничиваются значениями  $u_{раз} = 4-7$  мВ. В сваренных –  $u_{зам} = 1,2-3,5$  мВ. От этих источников тока создаются токи, протекающие, в том числе, и по поверхности сварного шва и детали вблизи линии сплавления. На сопротивлении в объеме металла вблизи поверхности создаются падения напряжения, являющее собой вторичный источник тока для омываемой морской воды. Это вторичное напряжение составляет в среднем 0,1-0,2 ТЭДС термопары сварного соединения:  $u_{втор} = (0,1-0,2) u_{зам} = (0,12-0,7)$  мВ. При этом приложенная к воде реальная средняя мощность  $P_{ср} = u_{втор} \cdot I = 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 6 \cdot 10^{-3} = 3 \cdot 10^{-6}$  Вт = 3 мкВт. Из сравнения с ТЭДС, развиваемых стандартными термопарами, становится понятным, что ТЭДС в сварных соединениях стальной оболочки обшивки судна, как минимум, сопоставима с ними.

Из-за скрытого характера приложения ТЭДС сварного соединения к двойному электрическому слою и низкой мощности механического перемешивания воды у поверхности сварного соединения, само течение носит ламинарный характер. Отличительной особенностью его является равенство нулю скорости движения потока жидкости по самой стенке стальной оболочки корпуса судна. Однако и такая малая мощность перемещения морской воды и опосредованный характер воздействия ламинарного потока воды на ДВС всё равно эволюционно в течение длительного периода эксплуатации способна осуществлять его непрерывную дестабилизацию, и, как результат, в среднем до 10 раз и выше увеличивает скорость электрохимической коррозии сварного соединения в стальной обшивке судна [4].

Другим источником электрохимических воздействий на ДЭС являются сами электромагнитные поля, создаваемые в стальных деталях и шве. Учитывая большие токи, создаваемые в них, поля достаточно большие. Они индуцируют в морской воде вблизи обшивки вихревые токи, дополняющие токи от вторичного напряжения. Естественно, вихревые токи создают свои электромагнитные силы, усиливающие движение воды у ДЭС.

Наряду с описанным механизмом воздействия скрытой ТЭДС на ЭХК сварных стальных соединений большой интерес вызывает и другая схема формирования ТЭДС – открытая, только с наружной стороны сварного шва – и его воздействия на ЭХК (рисунок 2).

Согласно схемы  $\Delta t$  – это разность температур между линией сплавления с наружной стороны шва (это область рабочего спая) и температурой слоев обшивки на небольшом удалении от линии сплавления (это область свободного конца термопары). Второй свободный конец термопары – это середина наружной поверхности (вершина) сварного шва. Температуры двух свободных концов не совпадают! А значит, имеет место два перепада температур:  $\Delta t_1$  и  $\Delta t_2$ . В результате каждый собственный потенциал электрода будет определяться по своему  $\Delta t$ . В остальном ТЭДС также определяется как разность собственных потенциалов электродов.

На рисунке 2 имеем дело с открытой ТЭДС. При этом режимная точка имеет много большее рабочее напряжение, чем для случая скрытых ТЭДС. Кроме того, исходно формируемая ТЭДС сразу (минуя стадию трансформации ТЭДС во вторичное напряжение) прикладывается к морской воде. Налицо рост напряжения источника. По анализируемой схеме ТЭДС зависит не от перепада температур между внешней и внутренней стен-

ками оболочки судна, как в схеме рисунка 1, а от перепада температур вдоль внешней поверхности обшивки перпендикулярно сварному шву.

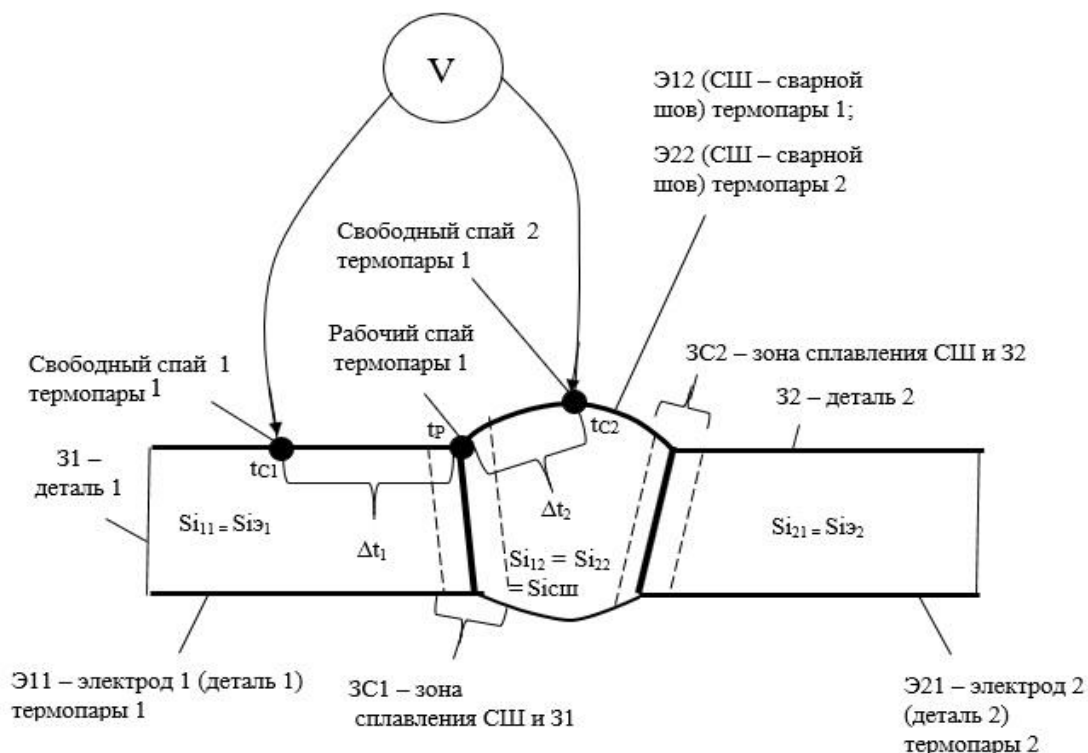


Рисунок 2. Схема открытого формирования ТЭДС с нагревом наружной стороны сварного соединения стальных обшивок судов поперёк шва

Определенное беспокойство корабелов вызывает низкая стойкость сварных соединений обшивок судов в области ватерлинии. Стальная обшивка летом на солнце может прогреваться до  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , зимой – охлаждаться ниже  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Морская же вода имеет много меньший диапазон температур: от  $4$  до  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . За счет периодического омывания водой температура полосы омывания ватерлинии несколько усредняется.

За счет реакции растворения анодов в морской воде создают разность потенциалов, перекрывающую эффект ТЭДС. Так цинковые аноды создают защитное напряжение вблизи них порядка  $300\text{--}400\text{ мВ}$ .

Из анализа основных источников дестабилизации ДЭС можно сделать вывод, что, во-первых, открытые источники вблизи ватерлинии порождают большие усилия на ДЭС, чем закрытые. Во-вторых, в определенных условиях  $\Delta t$  при открытом источнике может существенно превышать  $\Delta t$  для закрытого. Дополнительные источники – от растекания тока катодной защиты, электромагнитные наводки, вихревые токи в морской воде от ТЭДС сварных швов и др. дополнительно могут являться причинами корроирования до  $30\%$  от общего объема разрушенного металла.

В качестве альтернативы использования общесберегающих средств защиты (изолирующего покрытия, протекторной и катодной защиты) предложен способ долговременного малозатратного понижения склонности к ЭЖК путем ограничения ТЭДС сварных соединений стальных металлоконструкций за счет подбора заготовок из взаимозаменяемых элементов [5]. Предложенный способ предварительного подбора заготовок позволяет отказаться от общесберегающих средств защиты, например, от применения расходных анодов. Либо, при сохранении защиты, – сократить расход анодов за счет пони-

жения компенсируемых ТЭДС. И, наконец, снижение ТЭДС позволяет реже расставлять расходимые аноды, что снижает их общий расход.

Если  $t_{c1} > t_p > t_{c2}$  (монотонное возрастание), либо  $t_{c1} < t_p < t_{c2}$  (монотонное падение) температуры воды на сварном соединении, то однополярные электроды термопары становятся разнополярными, и их собственные потенциалы в термопаре при подсчете ТЭДС складываются. Это и есть самый опасный вариант, особенно для вертикальных швов. И, в то же время, это самый распространенный вариант: ширина сварного шва небольшая, а возрастание – убывание температуры вблизи ватерлинии, как правило, носят протяженный характер. И только в случае, когда ось симметрии сварного шва совпадает с максимумом (либо минимумом) температурной кривой омываемой обшивки воды (а слева и справа сваренные детали нагреты до меньшей либо, соответственно, большей температуры, чем сам шов), то собственные потенциалы электродов совпадают по знаку и формируемая ТЭДС оказывается минимальной. Причем, если температуры свободных концов близки, ТЭДС вообще приближается к нулю.

Определенное беспокойство корабелов вызывает низкая стойкость сварных соединений обшивок судов в области ватерлинии. Стальная обшивка летом на солнце может прогреваться до 100 °С, зимой – охлаждаться ниже -50 °С. Морская же вода имеет много меньший диапазон температур: от 4 до 40 °С. За счет периодического омывания водой температура полосы омывания ватерлинии несколько усредняется.

За счет реакции растворения анодов в морской воде создают разность потенциалов, перекрывающую эффект ТЭДС. Так цинковые аноды создают защитное напряжение вблизи них порядка 300-400 мВ.

Из анализа основных источников дестабилизации ДЭС можно сделать вывод, что, во-первых, открытые источники вблизи ватерлинии порождают большие усилия на ДЭС, чем закрытые. Во-вторых, в определенных условиях  $\Delta t$  при открытом источнике может существенно превышать  $\Delta t$  для закрытого. Дополнительные источники – от растекания тока катодной защиты, электромагнитные наводки, вихревые токи в морской воде от ТЭДС сварных швов и др. дополнительно могут являться причинами корроирования до 30% от общего объема разрушенного металла.

В качестве альтернативы использования общесберегающих средств защиты (изолирующего покрытия, протекторной и катодной защиты) предложен способ долговременного малозатратного понижения склонности к ЭХК путем ограничения ТЭДС сварных соединений стальных металлоконструкций за счет подбора заготовок из взаимозаменяемых элементов [5]. Предложенный способ предварительного подбора заготовок позволяет отказаться от общесберегающих средств защиты, например, от применения расходимых анодов. Либо, при сохранении защиты, – сократить расход анодов за счет понижения компенсируемых ТЭДС. И, наконец, снижение ТЭДС позволяет реже расставлять расходимые аноды, что снижает их общий расход.

Если  $t_{c1} > t_p > t_{c2}$  (монотонное возрастание), либо  $t_{c1} < t_p < t_{c2}$  (монотонное падение) температуры воды на сварном соединении, то однополярные электроды термопары становятся разнополярными, и их собственные потенциалы в термопаре при подсчете ТЭДС складываются. Это и есть самый опасный вариант, особенно для вертикальных швов. И, в то же время, это самый распространенный вариант: ширина сварного шва небольшая, а возрастание – убывание температуры вблизи ватерлинии, как правило, носят протяженный характер. И только в случае, когда ось симметрии сварного шва совпадает с максимумом (либо минимумом) температурной кривой омываемой обшивки воды (а слева и справа сваренные детали нагреты до меньшей либо, соответственно, большей температуры, чем сам шов), то собственные потенциалы электродов совпадают по знаку и формируемая ТЭДС оказывается минимальной. Причем, если температуры свободных концов близки, ТЭДС вообще приближается к нулю.

Следует отметить, что поведение сварной металлоконструкции и клепаной практически совпадают. Так ежегодное обследование Морским регистром парусника «Кру-

зенштерн» показывает очень хорошее состояние клепаного днища – элементов обшивки и клепаных соединений. И это – после 90-летия эксплуатации судна! В качестве возможных причин этого феномена можно назвать стабильную температуру всех элементов днища (всегда около 4 °С). Практически – это естественный холодильник! Кроме того, повышенный эксплуатационный ресурс днища свидетельствует о высокой степени стабильности химического состава всех заготовок обшивки. Данное обстоятельство понятно, поскольку сталь в то время производилась в мартеновских печах и было гарантировано очень высокое качество. Немецкая педантичность также способствовала повышенной стабильности химического состава как заготовок, так и заклепок. И, наконец, использование стали в качестве основного и заклепочного материалов с достаточно большим кремнием.

Причинами возникновения гальванических элементов также могут быть: непостоянство химического состава металла, анизотропность его кристаллов, воздействие внешних токов (место входа блуждающего тока в электропроводную деталь будет являться катодом, а место выхода – анодом), температура (по отношению к холодным участкам, нагретые являются анодами). Источник тока может возникать и непосредственно в морской воде в результате огибания скульных и зигзагообразных элементов конструкции судна, резкой смены направления областей катодной и анодной защиты, мест проявления локальных электромагнитных наводок, генераторов электрических сигналов, вследствие высокоскоростного набегания и обтекания обшивки морской волной. Кроме того, существуют и другие причины возникновения ЭХК, в том числе, по длине сварного соединения, ликвация, питтинги, и др. [7]. ТЭДС в термopарах сварных соединений металлоконструкций находится как разность собственных потенциалов стальных электродов.

Проведены опыты по замеру собственных потенциалов различных сталей в функции  $\Delta t$ , °С – перепада температур между рабочим спаем и свободными концами термопары, а также в функции содержания в них кремния.

Анализ первых зависимостей показывает, что у всех кривых имеется начальный участок. На нем при  $\Delta t \approx 0$  собственный потенциал различных сталей близок к нулю. Далее потенциал ряда сталей отклоняется в отрицательную область, у остальных сталей наблюдается потенциальный рост. Следующий этап характеризуется общим ростом зависимостей, после чего в диапазоне 30-40 °С, соответствующем эксплуатационным условиям обшивки судна, происходит перегиб кривых у большинства сталей. Наблюдается понижение потенциала, в том числе для части сталей – в отрицательную область.

Уже при небольшом росте  $\Delta t$  наступает насыщение феррита кремнием (процесс напоминает насыщение углеродом сплава железа с углеродом до феррита с выпадением избыточной фазы).

Кусочно-линейная аппроксимация усредненной кривой представляет собой треугольник с горизонтальным основанием. До 0,35 % Si идет восходящая ветвь, а после – нисходящая. Для обшивок судов наибольший интерес представляет именно восходящая ветвь.

По склонности сварных соединений стальной металлоконструкции к электрохимической коррозии основную опасность представляет собой область левой зигзагообразной ветви зависимости собственного потенциала любого из электродов образованной термопары от кремния. Особенно при очень малых содержаниях кремния в этом электроде. В таком случае значения собственного потенциала стали возрастают до максимальных. И, согласно таблице 1, не представляет опасности лишь технологическая ситуация с большими, но приблизительно равными потенциалами обоих электродов. При этом ТЭДС, равная разности положительных потенциалов электродов, приближенно равняется нулю.

Таблица 1 – Локальная защита сварных стальных соединений от ЭХК

Технол. ситуация в сварном соединении	Признаки технол. ситуации			Вторичная ТЭДС (мВ), скорость ЭХК, (мм/год)	Рекомендации по управлению состоянием сварного соединения
	Перепад содержания кремния в электродах	Кремний в низко-кремнистом электроде	Перепад температуры в сварном соединении		
(Базовая) Рядовая	$\leq 0,5 \%$ «-»	$\geq 0,25 \%$ «+»	$\leq 20 \text{ }^\circ\text{C}$ «-»	0-0,2 мВ, 0,18-0,23	Доп. локальных мер по защите от ЭХК не требуется
Тревожная	$> 0,5 \%$ «+»	$\geq 0,25 \%$ «+»	$\leq 20 \text{ }^\circ\text{C}$ «-»	0-0,3 мВ, 0,3-0,45	Равномерное распределение кремния
Опасная	$> 0,5 \%$ «+»	$< 0,25 \%$ «-»	$\leq 20 \text{ }^\circ\text{C}$ «-»	0,12-0,5, 0,8-2	Равномерное распределение кремния
Опасная	$\leq 0,5 \%$ «-»	$< 0,25 \%$ «-»	$\leq 20 \text{ }^\circ\text{C}$ «-»	0,2-0,6, 0,5-1,9	Равномерное распределение кремния
Опасная	$\leq 0,5 \%$ «-»	$\geq 0,25 \%$ «+»	$30 \text{ }^\circ\text{C}$ «+»	0,12-0,5, 0,6-1,7	Шунтирование
Опасная	$> 0,5 \%$ «+»	$\geq 0,25 \%$ «+»	$30 \text{ }^\circ\text{C}$ «+»	0,2-0,5, 0,7-2	Шунтирование
Очень опасная	$> 0,5 \%$ «+»	$< 0,25 \%$ «-»	$30 \text{ }^\circ\text{C}$ «+»	0,3-0,7, 2,2-3,2	Равномерное распределение кремния и эффект. шунтирование
Очень опасная	$\leq 0,5 \%$ «-»	$< 0,25 \%$ «-»	$30 \text{ }^\circ\text{C}$ «+»	0,2-0,7, 2,1-2,9	Равномерное распределение кремния и эффект. шунтирование

На рисунке 3 представлены примеры зависимостей ТЭДС стальных термопар при различных сочетаниях электродов.

Большинство пар электродов термопар ТСС в рабочем диапазоне температур начинаются с повышения ТЭДС до значительных величин. Затем (после максимума примерно при  $\Delta t = 30-35 \text{ }^\circ\text{C}$  следует падение.

В сварных швах толщина обшивки относительно небольшая. Обратная сторона шва из-за высокой теплопроводности стали будет через понижающий коэффициент следовать за температурой наружной поверхности шва. Это в опытах с классическими термопарами температуру свободных концов задавали независимо от температуры рабочего спа.

В данном же случае происходит понижения  $\Delta t$  на  $5-10 \text{ }^\circ\text{C}$  в зависимости от толщины обшивки, температуры наружной поверхности шва, температуры воздуха с внутренней стороны обшивки, и т.д.

При  $\text{Si} > 0,30 \%$ , из пересыщенного раствора кремния в решетке феррита излишки кремния перемещаются к границам ядра, при этом в феррите образуются зерноподобные структуры с радиальной пограничной зоной повышенной концентрации положительно заряженного кремния. При этом содержании кремния в сплаве наблюдается качественное изменения в характере поведения потенциальных кривых. В этом месте за зигзагом кривые испытывают резкий перегиб: падение потенциала сменяется его стабилизацией.

В области  $0,15-0,2 \%$  Si имеет место максимум некомпенсированной ковалентной связи, ионизирующей атомы кремния и его производные, придающая им при повышенной температуре положительный потенциал. При  $\text{Si} > 0,3 \%$  в стали наблюдается стабилизация, либо плавное возрастание электроположительности стали предположительно из-за стабилизации мета-фазы. Затем в районе  $0,9 \%$  для нагретых образцов вновь начинается изменение тенденции поведения исследуемой зависимости. Широко распространенные доэвтектоидные стали имеют, в основном, перлитно-ферритную структуру. Возможно,

что обвальное падение потенциала кремнийсодержащих сталей в области до 0,2-0,25 % Si обусловлено лавинообразным пресыщением феррита кремнием, сопровождающимся заполнением атомами кремния немногих оставшихся и незаполненных вакантных дефектов сплава железа с углеродом и кремнием.

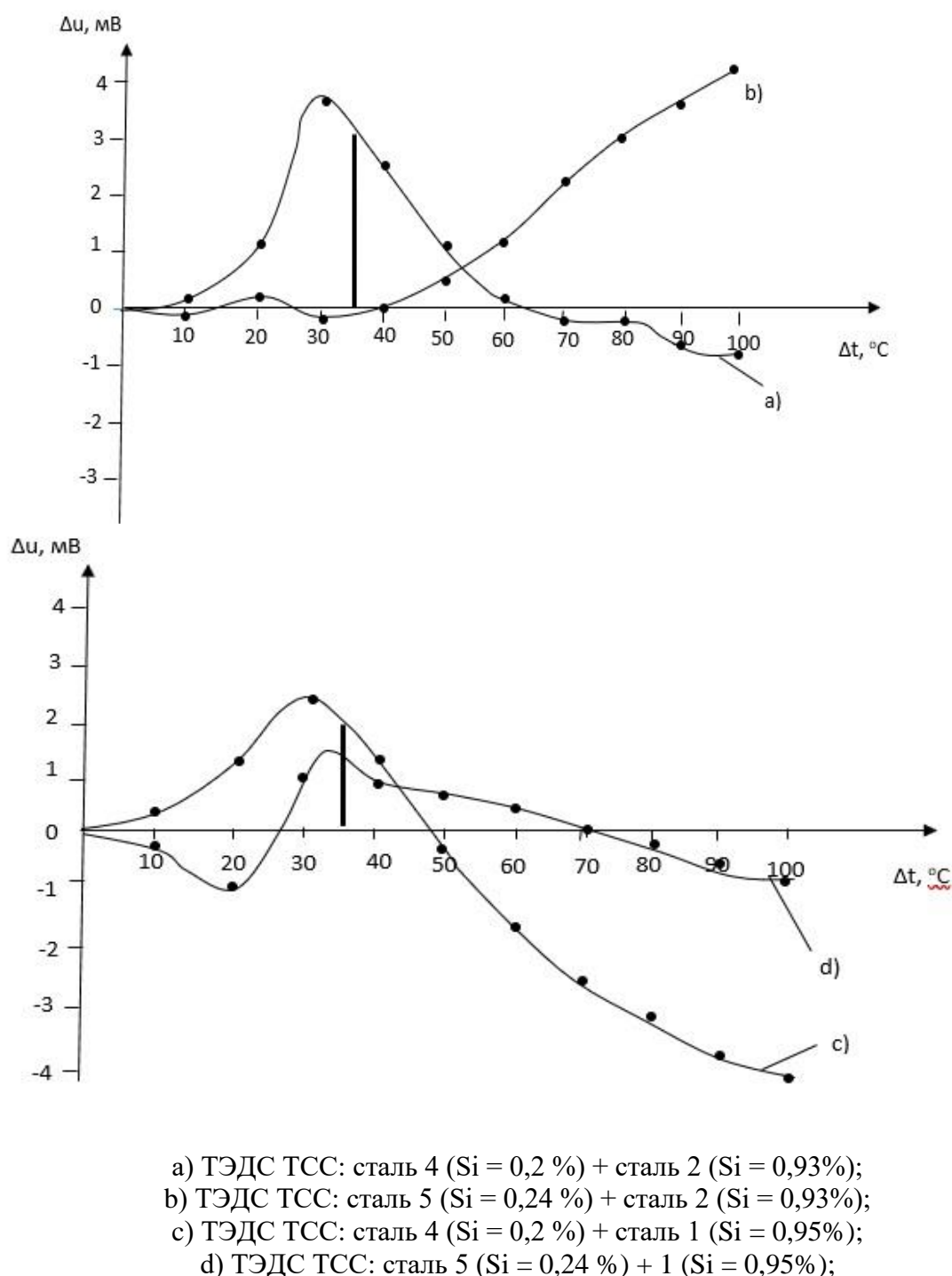


Рисунок 3 – Примеры зависимостей ТЭДС стальных термопар от перепада температур при различных сочетаниях электродов

Кристаллы кремния имеют <https://www.chem21.info/info/1688903>каркасную структуру, и не проводят электрический ток. В таких кристаллах предпочтительны низкие координационные числа, и между каждым атомом и его ближайшими соседями могут образовываться простые двухэлектронные связи. Низкие координационные числа являются

причиной того, что потенциальная энергия электрона внутри таких кристаллов не постоянна. Она значительно понижается в межъядерных областях, и поэтому электроны не могут свободно перемещаться по кристаллу, подобно тому как это происходит в металлах [11]. В феррите атом кремния с валентностью 3 располагается, прежде всего, между атомами железа с валентностью 2. По мере заполнения вакансий кристаллическая решетка сплава становится более плотноупакованной, энергетически сбалансированной, закрытой. Способность сплава выделять, испускать электроны, при подведении к концам электрода той же сторонней энергии, будет падать.

Рекомендации по управлению локальной защитой сварных соединений металлоконструкций от ЭХК приведены в таблице 1. В основу таблицы положены результаты лабораторных испытаний и результаты ежегодных обследований технического состояния судов, в том числе, закрепленных за Калининградским государственным техническим университетом парусных барков «Крузенштерн» и «Седов».

Как следует из таблицы 1, образующиеся в обшивке судна сварные швы развивают в контакте свариваемых заготовок ТЭДС, в несколько раз выше значений ТЭДС самых чувствительных стандартных термопар (в том числе – хромель-копелевая ТХК). Поэтому имеет место очень большая электрохимическая коррозия в местах сварки стальных металлоконструкций.

Минимальную ТЭДС ТСС развивает при одинаковом значении содержания кремния в обоих электродах термопары и отсутствии перепада температур между рабочим и свободными концами. Максимальную ТЭДС термопары сталь-сталь ТСС развивает при большом градиенте кремния, малых значениях содержания кремния в стальных электродах и большом перепаде температур  $\Delta t$ . При следах углерода, кремния и других легирующих в стали одного из электродов термопары её состав приближается к техническому железу. При этом ТСС превращается в железо-стальную ТЖС. Для стали – это далеко не предел. Из этого значения вычитается собственный потенциал стали другого электрода. Чем ближе содержание кремния во втором электроде к экстремальному (0,2 %), тем выше получаемая ТЭДС термопары.

Предложено:

– повышать стойкость к коррозии судовых металлоконструкций, прежде всего, путем регламентирования химического состава свариваемых деталей и узлов (прежде всего раскислителей), а также состава сварочных материалов таким образом, чтобы разность химического состава по границам каждого сварного шва была минимальной [5];

– при наличии высокого перепада содержания кремния между электродами – избегать понижения содержания кремния в одном из электродов ниже 0,25 % [5]. Основные и сварочные материалы подбирают так, чтобы не допустить большой разности по кремнию [ $\Delta Si \geq 0,30\%$ ], особенно при пониженном его содержании [ $0,15\% \leq Si \leq 0,23\%$ ] в одном из материалов.

Для обеспечения гарантированной стойкости к электрохимической коррозии для ответственных металлоконструкций проводят пробные сварки образцов с контролем химического состава сварного шва. Это позволяет экспериментально убедиться в том, что применяемые меры обеспечили реальную разность по кремнию между материалом любой детали и сварным швом в пределах 0,30%. То есть, гарантировать предельно допустимые по модулю значения ТЭДС в местах контакта деталей при сборке металлоконструкции в пределах 0,2 мВ. Если разность по кремнию между материалом любой детали и сварным швом превысит 0,30%, то основные и сварочные материалы корректируют в сторону сближения их химических составов. Вместе с тем для снижения величины опасной ТЭДС (около 200 мкВ) делают вставки между несопрягаемыми стальными деталями в виде прокладок из материалов промежуточного состава по кремнию.

Предложено рост ТЭДС в образованных в сварных швах термопарах, вызываемых увеличением перепада температуры между электродами термопар, дополнительно сни-



жать за счет шунтирования токов, протекающих через границы сварных швов, высокоэлектропроводными покрытиями (например, плёнками меди) [8].

В качестве мер снижения дестабилизации ДЭС также рекомендованы: широкая разделка сварного соединения, отказ от сварки в узкую разделку, электронно-лучевой сварки, применение прямой полярности тока, двухсторонней сварки с двухсторонней широкой разделкой кромок, двух- и трёхэлектродная сварка на остающейся подкладке с последовательной сдвижкой электродов по направлению сварки, сварка расщеплённым электродом, шунтирование с наружной стороны шва [10].

Какая часть сварного соединения преимущественно разъедается – шов или околошовная зона (ОШЗ)? Это зависит от того, в каком материале кремния больше: в шве или в детали. Там, где кремния больше образуется минус, где меньше – плюс. Разрушается материал под отрицательным потенциалом, т.е., с большим содержанием кремния. Однако, поскольку от второго электрода образованной сварным соединением термодомы также зависит создаваемое напряжение, то чем меньше кремния во втором электроде, тем напряжение выше, тем склонность к ЭХК первого электрода будет выше.

Так при механизированной сварке в качестве материала сварочного электрода часто используют проволоку Св-08Г2С по ГОСТ 2246-70, содержащую: С – 0,05-0,11 %, Si – 0,70-0,95 %, Mn – 1,80-2,10 %, Cr < 0,20 %, Ni < 0,025 %. При сварке в CO<sub>2</sub> на обратной полярности широко распространенной низкоуглеродистой конструкционной стали Вст3сп, по ГОСТ 380-71, содержащей: С – 0,14-0,22 %, Si – 0,12-0,3 %, Mn – 0,4-0,65 %, Ni < 0,3 %, Cr < 0,3 %, содержание кремния в самом сварном шве будет лежать в пределах от 0,57 до 0,80 %. При этом потенциал сварного шва оказывается менее положительным, чем потенциал основного металла. Иначе говоря, на границе «сварной шов-околошовная зона (ОШЗ)» будет приложено напряжение: минус – ко шву, плюс – к ОШЗ. В этом случае в электропроводной морской воде разрушается сам сварной шов. Величина ТЭДС, формируемой между швом и ОШЗ, при  $\Delta t = 20^\circ \text{C}$  составляет 0,12-0,5 мВ, а при  $\Delta t = 30^\circ \text{C}$  0,3-0,7 мВ. Ожидаемая скорость разрушения материала сварного шва вследствие ЭХК очень большая: при  $\Delta t = 20^\circ \text{C}$  составляет 0,8-2 мм/год, а при  $\Delta t = 30^\circ \text{C}$  2,2-3,2 мм/год.

Второй пример. Сталь 09Г2 содержит кремния 0,17-0,37 %. Если сталь варится проволокой Св-08ГА с 0,06% кремния, то плюс прикладывается ко шву, минус – к ОШЗ. В электропроводной морской воде разрушается ОШЗ. Величина ТЭДС при  $\Delta t = 20^\circ \text{C}$  составляет 0,2-0,6 мВ, а при  $\Delta t = 30^\circ \text{C}$  0,2-0,6 мВ. Ожидаемая скорость разрушения сварного соединения вследствие ЭХК при  $\Delta t = 20^\circ \text{C}$  составляет 0,5-1,9 мм/год, а при  $\Delta t = 30^\circ \text{C}$  2,1-2,9 мм/год.

### Библиографический список

1. Васильев, В.П. Аналитическая химия [Текст.]: в 2 кн. Кн. 2. /Физико-химические методы анализа [Текст.]: учеб. для студ. вузов, обучающихся по химико-технол. спец. - 2-е изд., перераб. и доп./ В.П. Васильев. - М.: Изд-во Дрофа, 2002. - 384 с., ил. - 179 - 181с.
2. Гаврилкин, В.Г. Результаты измерений удельной электролитической проводимости и практической солености морской воды в международном проекте scqm-p111 [Текст] / В.Г. Гаврилкин, С.Н. Нагибин, А.А. Манская. - Киев: ГП «Укрметртестстандарт»: solution@ukrcsm.kiev.ua
3. Веревкин, В.И. Разработка технологии шунтирующей защиты корпусов судов от коррозии/ В.И. Веревкин, С.А. Терюшева, И.В. Безсмолова. - Отчет по научно-исследовательской работе в рамках выполнения государственного задания. - Калининград, Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота, 2013. - 144 с.
4. Андреев, Н.Т. Ремонт судов [Текст]: монография / Н.Т. Андреев, О.А. Борчевский, В.Г. Луговых [и др.]. - Л.: Судостроение, 1972. - 568 с.

5. Способ получения сварного соединения стальных деталей, стойкого к электрохимической коррозии [Текст]: пат. 2688023 Рос. Федерация: МПК В23К 9/23 / Веревкин В.И; заявитель и патентообладатель Калининградский государственный технический университет. - №2017138046/02; заявл. 31.10.2017; опубл. 17.05.2019, Бюл. №14. - 8 с
6. Веревкин, В.И. Влияние содержания кремния и деформации сварных узлов из судостроительных сталей на их склонность к электрохимической коррозии (статья) / В.И. Веревкин, В.Ф. Игушев, С.А. Терюшева. // Морские интеллектуальные технологии. - 3 (37) Т. 1 2017. С. 56-61.
7. Веревкин, В.И. Повышение стойкости к коррозии судовых металлоконструкций [Текст] / В.И. Веревкин, В.Ф. Игушев, С.А. Терюшева - Морские и интеллектуальные технологии. - № 4 (38). Т.2. - 2017. С. 69-75.
8. Способ защиты от коррозии сварной металлоконструкции [Текст]: пат. 2476621 Рос. Федерация: МПК С23F 13/00; С23С 4/08. / Веревкин В.И., Лисевич В.И., Астраух О.В., Терюшева С.А., Зеброва Е.М.; заявитель и патентообладатель Калининградский государственный технический университет. - №2011100923/02; заявл. 12.01.2011; опубл. 27.02.2013. Бюл. № 6. - 8 с.: ил.
9. Способ и устройство защиты от электрохимической коррозии сварной металлоконструкций [Текст]: пат. 2571293 Рос. Федерация: МПК С23F 13/00/ Веревкин В.И; заявитель и патентообладатель Калининградский государственный технический университет. - № 2014105150/02; заявл. 12.02.2014; опубл. 20.12.2015, Бюл. № 35. - 8 с.: ил.
10. Способ дуговой сварки под флюсом соединений, стойких к электрохимической коррозии [Текст]: пат. 2571294 Рос. Федерация: МПК С23F 13/00/ Веревкин В.И; заявитель и патентообладатель Калининградский государственный технический университет. - № 2014105576/02; заявл. 14.02.2014; 20.12.2015, Бюл. № 35. - 8 с.: ил.
11. Справочник химика 21. Химия и химическая технология. Глава 7. С.147-150.

УДК 54.06/54.08

## СИСТЕМА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА МАСЛА В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АГРЕГАТОВ В ПОЛЕВЫХ И ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Худоногов Д.Ю.<sup>1</sup>, Ефременкова М.В.<sup>1,2</sup>, Никитенко М.С.<sup>1,2</sup>, Кизилев С.А.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения  
Российской академии наук» (ФИЦ УУХ СО РАН)

<sup>2</sup>Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева  
г. Кемерово, Россия, margaritasistuk@mail.ru

**Аннотация.** В статье проанализированы основные методы контроля качества моторного масла. Предложен к применению для агрегатного контроля и лабораторного экспресс анализа альтернативный метод контроля, основанный на измерении сенсором отклика от воздействия переменным напряжением высокой частоты на масло. Приведены результаты лабораторных испытаний.

**Ключевые слова:** качество масла, система контроля, система мониторинга, агрегатный контроль, экспресс анализ.

**Abstract.** The article considers the analysis of generic methods of engine oil quality control. An alternative method of control based on measuring the response of alternative voltage exposure to oil with a sensor is proposed for making aggregate control and laboratory express analyzing. Laboratory test results are given.

**Keywords:** oil quality, control system, monitoring system, aggregate control, express analysis.

Мониторинг состава масла в режиме реального времени обеспечивает более качественный сервисный контроль использования масла и увеличивает межсервисный интервал при одновременном контроле износа оборудования и сокращении связанных с ним простоев.

Показания датчиков качества масла, в составе системы контроля, установленных в трансмиссии, двигатели и гидравлические системы тяжелых машин (самосвалы, экскаваторы и пр.) визуализируются на пульте оператора сервисного отдела.

Анализ данных, поступающих от датчика, позволяет увеличить сервисный интервал, снизить расходы на масло и его замену, заранее подготовиться к сервисному обслуживанию, а также регистрировать события, требующие внеочередного вмешательства для предотвращения выхода агрегатов из эксплуатации.

В настоящее время, в России для контроля качества масла широко применяется оптический метод и анализ капельной пробы.

Оптический метод исследования включает в себя большую группу методов, базирующихся на законах оптики, описывающих возникновение оптического света и взаимодействие оптического излучения с веществами [1]. В том числе к оптическим методам относят фотометрию и спектроскопию.

Фотометрия – оптический метод анализа, основанный на измерении фотометрических величин светового потока. Фотометрические свойства для одного и того же вещества связаны соотношением  $T + R + A = 1$ , где  $T$  ( $\tau$ ) – коэффициент пропускания;  $R$  ( $\rho$ ) – коэффициентом отражения и  $A$  ( $\alpha$ ) коэффициент поглощения. Определение безразмерных величин  $T$ ,  $R$  и  $A$  выполняется с помощью фотометров (приборов для измерения какой-либо фотометрической величины) путем регистрации реакций приемника оптического излучения на соответствующие потоки излучения [1]. Наиболее часто в аналитической практике используется ультрафиолетовая (УФ) с интервалом длин волн от 200 до 380 нм, видимая - от 380 до 760 нм и инфракрасная (ИК) с интервалом длин волн 2,5-15 мкм области спектра. Исходя из этого, различают фотометрию в УФ-, видимой и ИК-областях [2].

В основе спектрального анализа лежит метод распознавания спектров испускания, излучения и определение состава масла. Физический смысл метод заключается в испускании атомами любого элемента (или молекулами химического соединения) излучения строго определенных длин волн, характерных только для этого элемента или соединения. То есть спектр излучения сложного вещества представляет собой набор пиков, соответствующих определенному химическому элементу (соединению). Задачей спектрального анализа является получение таких спектров, по положению и интенсивности пиков которых можно судить о химическом составе вещества и массовой доли каждого составляющего элемента или соединения [3].

Анализ капельной пробы масла – капля, нанесенная на фильтровальную бумагу, представляет сложную систему: масло, примеси, компоненты присадки. В процессе тестирования капля распределяется на три границы. Внешний светлый круг – область чистого масла. Центральное темное ядро – механические примеси и адсорбируемые на них продукты деструкции масла. Между ними кольцеобразная зона более светлого цвета – это диффузии компонентов присадки. При анализе высокощелочного масла характерные зоны по цветам отсутствуют, что не позволяет использовать данный экспресс-метод для диагностики. В этом случае, для определения загрязненности масел различными примесями создают физическую модель растекания масла и аналитически рассчитывают пригодность масла с помощью математического уравнения свободной энергии системы [4].

Из представленных на рынке, к системам, реализованным на базе фотометрического метода стоит отнести индикатор ИЗЖ-М, работа которого заключается в измерении величины поглощения светового потока и индикации в процентах загрязнения [5]; анализатор АЗЖ-975, контроль загрязнения жидкостей основан на измерении интенсивности рассеяния света частицами загрязнений [6]; ПКЖ-904, принцип действия предполагает

преобразование фотодиодом величины изменения светового потока, вызванного прохождением через него частиц загрязнений в электрические импульсы [7].

В основе Минилаборатории BALTECH OA-5100, лежит спектральный метод, с помощью запатентованной технологии прямой ИК-спектроскопии, проводятся исследования контроля качества масла с применением [8].

Ярким представителем в оценке контроля масла на базе капельной пробы является компания BALTECH OA-ZER [9].

Кроме того, существует метод контроля качества, основанный на измерении сенсором отклика от воздействия переменным напряжением высокой частоты на масло, предложенный и запатентованный компанией Mel Systems. По мере загрязнения масла (водой, топливом, металлическими частицами) изменяются свойства масла, такие как: проводимость (способность масла проводить ток) и ёмкость (сохранять энергию).

Изменение в качестве масла определяется уменьшением емкости и увеличением проводимости. Точное измерение и интерпретация таких характеристик, в сравнении с показаниями от нового масла, позволяют определить эксплуатационное состояние масла.

Новое, качественное, сертифицированное масло обладает перечнем определенных характеристик, формирующих профиль масла. Перечень таких данных формирует точный цифровой профиль от производителя, по степени соответствия которому, можно контролировать качество масла.

Профиль исходного (эталонного) масла называется чистой точкой. Измеряя и исследуя показатели характеристик цифрового профиля, в условных единицах формируется «шкала качества масла» (ШКМ) на основе которой, делается заключение о состоянии и качестве масла. Для большинства масел показатели чистой точки по ШКМ обычно составляют от 950 до 850 единиц. Однако, добавление примесей или способов улучшенной фильтрации масла, во время эксплуатации, позволяют увеличивать показатели чистой точки до 1020 единиц по ШКМ. По мере загрязнения масла (водой, топливом, частицами износа) изменяются свойства масла, такие как проводимость и ёмкостное сопротивление. Точное измерение сенсорами и интерпретация таких характеристик интеллектуальной системой, в сравнении с показаниями от нового масла, позволяют определить его эксплуатационное состояние.

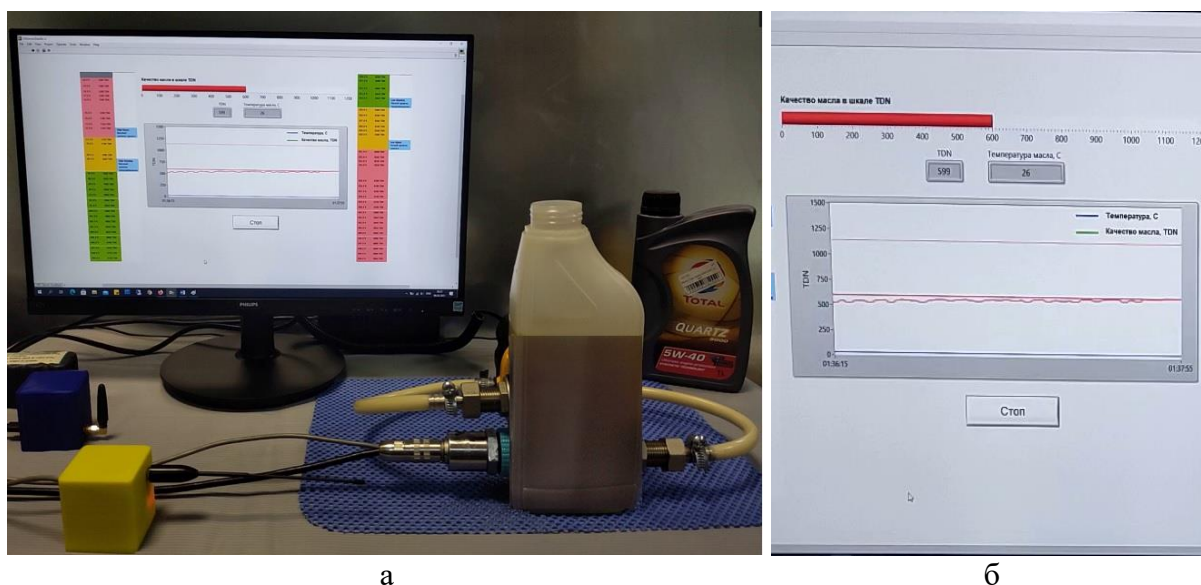
Пример интерпретации количественных показателей выглядит следующих образом:

- от 1040 до 769 – все показатели в норме;
- от 740 до 600 – средний уровень показателей, необходима сервисная проверка;
- от 580 до 440 – низкий уровень показателей, первый уровень тревоги;
- от 400 до 300 – предупреждение, необходимо отслеживать качество и подготовиться к фильтрации или замене масла;
- 300 и меньше – тревога, масло необходимо заменить, так как оно больше не обеспечивает достаточную эффективность.

Применение системы контроля состояния моторного масла, на основе технологии воздействия переменным напряжением высокой частоты на проточное масло позволяет на основе отклика сенсора в режиме реального времени:

- установить соответствие нового масла эталонному цифровому профилю производителя, обеспечив входной контроль бочкового масла и поставляемого цистернами;
- установить «чистую точку» для анализируемого образца, что позволяет узнать «отправную точку» для оценки качества для интеллектуальной системы;
- контролировать отклонение в состоянии масла от чистой точки;
- выявлять наличие металлических частиц в масле;
- измерять температуру масла в месте установки датчика.

На основе описанной технологии, сотрудниками ФИЦ УУХ СО РАН разработана собственная интеллектуальная система обработки данных и лабораторный стенд контроля состояния масла (рисунок 1).



а – лабораторный стенд, б – влияние примесей на показатель качества масла по ШКМ

Рисунок 1 – Исследование качества масла в режиме реального времени

Стенд включает в свой состав датчик масла, блок обработки показаний датчика, комплект емкостей для проб масла и проведения анализа, беспроводной модуль индикации результата анализа, масляный насос и элементы питания. Проведенные исследования на лабораторном стенде показали эффективность разработанной системы. В качестве исследуемых использовались масла TOTAL 5W40 и Mobil 0W40. Задача исследования определить чистую точку для каждого из масел по ШКМ, затем введя в масло примеси изменить его состав и проверить время реакции датчика и величину изменения показания по ШКМ. Масло TOTAL 5W40 – новое от поставщика, Mobil 0W40 – после длительного хранения на холодном складе.

Исследования проводились согласно следующего сценария: в ёмкость было залито чистое предварительно нагретое до  $60\text{C}^0$  масло, которое циркулировало при помощи помпы. Постепенно в масло добавлялись примеси снижающие его свойства: вода, мазут, керосин, отработанное масло.

Дополнительно проведен экспресс анализа качества нового и долго хранившегося масла показали следующие результаты (рисунки 2, 3).

Как видно из рисунков 2 и 3 на лабораторном стенде определено значительное снижение свойств масла после длительного хранения, тогда, как чистая точка свежего масла оказалась в заявленном диапазоне 1020–850 единиц по ШКМ. При добавлении примесей, изменяющих характеристики масла, наблюдалось падение показаний датчика по ШКМ, вплоть до красной зоны <500 единиц, скорость реакции на изменение качества масла меньше одной минуты рисунок 1.

Полученные результаты лабораторных исследований позволяют реализовать на основе разработанных аппаратно-программных средств систему агрегатного контроля качества масла и мобильный пост контроля за состоянием масла.

При агрегатном исполнении системы датчик может быть установлен перед масляным фильтром, масляным радиатором, в горизонтальном положении с обязательным обеспечением постоянного протока масла. По мере старения и загрязнения масла – изме-

нения свойств масла, влияющих на проводимость и ёмкостное сопротивление, показатели качества по ШКМ снижаются относительно чистой точки и оперативно отображается на панели приборов (при проводной реализации), либо на панели оператора (при беспроводной реализации) в реальном времени.

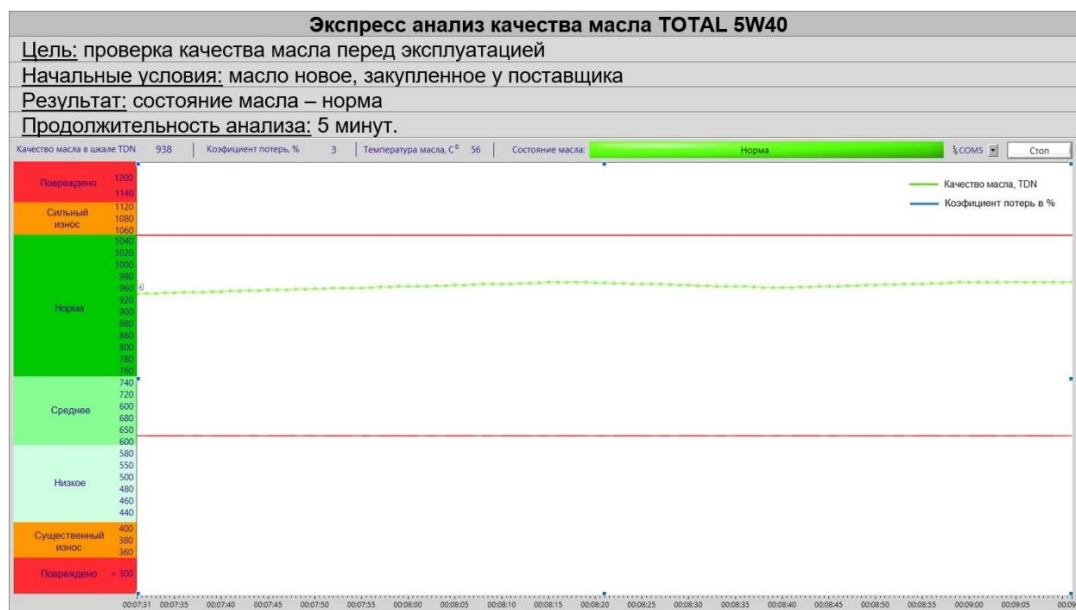


Рисунок 2 – Экспресс анализ качества нового масла TOTAL 5W40



Рисунок 3 – Экспресс анализ качества масла Mobil 0W40 после долгого хранения

Мобильное исполнение системы является прямым развитием лабораторной установки и позволяет проводить анализ качества масла в полевых условиях.

Применение систем агрегатного контроля качества масла и экспресс анализа проб, в горнодобывающей отрасли, позволит сократить расходы на сервисное обслуживание подвижной техники. Дополнительно, при наличии технологии восстановления масла, возможно проводить верификацию качественных показателей восстановленного масла системой экспресс анализа и лабораторных проб масла.

Также возможно применение мобильной системы контроля качества масла, которая позволяет в течение нескольких минут, на месте, проанализировать состояние масла из любой единицы подвижного парка, продлевая межсервисные интервалы и снижая издержки на эксплуатацию. Дополнительно, при регулярном проведении анализов можно выявлять неисправности техники до наступления критических поломок.

### Библиографический список

1. Долгов В.В. Фотометрия в лабораторной практике: м-во здравоохранения и соц. развития РФ, Рос. мед. акад. последипломного образования / В.В. Долгов, Е.Н. Ованесов, К.А. Щетникович – Москва, 2004, 192 стр.
2. Рязанова А.С. Фотометрические методы анализа: методические указания к лабораторным работам / А.С. Рязанова; Казань, 2020 23с.
3. Спектральный анализ масла // MVR измерение контроль надежность URL: <http://mvr-company.ru/spektralnyj-analiz-masla/#.html> (дата обращения: 25.10.2022).
4. Мяло О.В., Мяло В.В., Демчук Е.В. Использование метода капельной пробы для теоретического исследования изменения параметров моторного масла // Вестник Омского ГАУ 2021 № 3 (43) С.137-145.
5. Индикатор загрязнения жидкости «ИЗЖ-М»: руководство по эксплуатации м 086.000.00-01 рэ / научно-производственная фирма «МЕТА». Жигулевск, 25 с.
6. Анализатор загрязнения жидкостей АЗЖ - 975: руководство по эксплуатации эл-ди.01.175.000-0 рэ / , 2005. 23 с.
7. Приборы контроля чистоты жидкости ПКЖ-904: прил. к св-ву № 31354 об утверждении типа средств измерений / Заяв. ОАО «НИТИ-ТЕСАР». Саратов, 2013. 3 с.
8. BALTECH анализ масел [Электронный ресурс]. URL: <https://baltech.ru/baltech-oa/> (Дата обращения: 19.10.2022).
9. Инструкция по проведению теста // BALTECH OA-Zero-instruction.pdf URL: <https://BALTECH OA-Zero-instruction.pdf> - Яндекс.Документы ([yandex.ru](http://yandex.ru)) (дата обращения: 23.10.2022).

УДК 543.27.-8

### МЕТОДЫ ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА СОСТАВА ГАЗОВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПОДЗЕМНОЙ ДОБЫЧИ УГЛЯ

Каменная А.В.<sup>1,2</sup>, Кизилев С.А.<sup>1,2</sup>, Никитенко М.С.<sup>1,2</sup>, Худоногов Д.Ю.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения  
Российской академии наук» (ФИЦ УУХ СО РАН)

<sup>2</sup>Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева  
г. Кемерово, Россия, [alna.kamennaya@mail.ru](mailto:alna.kamennaya@mail.ru)

**Аннотация.** В статье рассмотрены различные методы экспресс-анализа шахтного воздуха. Представлено краткое описание устройства и принципа работы оптического, парамагнитного, электрохимического, полупроводникового и хроматографического газоанализаторов. Выявлены преимущества и недостатки их применения для автоматизированного экспресс-анализа в различных условиях подземной добыче полезных ископаемых.

**Ключевые слова:** шахтная атмосфера, методы экспресс-анализа газа, газоанализатор.

**Abstract.** The article considers various methods of express analysis of mine air. A brief description of the device and the principle of operation of optical, paramagnetic, electrochemical, semiconductor and chromatographic gas analyzers is presented. The advantages and disadvantages of their use for automated express analysis in various conditions of underground mining are revealed.

**Keywords:** mine atmosphere, methods of rapid gas analysis, gas analyzer.

Во время осуществления технологических операций в шахтах формируется присущая этим процессам воздушная среда, которую называют шахтной атмосферой. В ней находится атмосферный воздух, природные газы (метан, углекислый газ, сероводород и прочие), технологические газы, угольная пыль и пары воды [1].

Для обеспечения безопасности на промышленных предприятиях, одной из основных задач является изучение атмосферы в шахтах с целью снижения количества несчастных случаев, происшествий и производственных заболеваний рабочих [2]. С этой задачей помогают справляться газоанализаторы – приборы для измерения концентрации одного или нескольких определенных газов в газовой смеси. Принцип работы газоанализаторов основан на применении различных методов определения газов, многие из которых подходят для автоматизированного экспресс-анализа.

В литературе слабо освещены сводные обзоры методик экспресс анализа состава газовой среды. По данной причине проведен обзор различных видов шахтовых газовых анализаторов воздуха, методов, лежащих в основе их работы, оценена применимость методов для автоматизированной экспресс-оценки.

#### *Оптический метод*

Метод заключается в определении величины поглощения излучения, проходящего через исследуемый газ. Датчик состоит из возбуждителя оптического излучения с прибором для амплитудной модуляции, прибора для амплитудной модуляции, специально подобранного плоского зеркала, которые вводят излучение в моноволокна и оптоэлектронного конвертора, подключенному к регистрирующему устройству с помощью кабеля.

Оптический анализатор газа дает возможность весьма точно устанавливать скопление взрывоопасных газов в рабочей зоне [4, 5]. Чтобы повысить стабильность нулевой точки и избежать возможного влияния пыли, влаги и других факторов, поглощающих свет, в приборе применяется двухлучевая оптическая схема, которая определяет интенсивность обоих лучей, проходящих по одному и тому же оптическому пути. Тогда диапазон поглощения будет равен длине волны измерительного луча, а диапазон прозрачности определяемого газа равен длине волны эталонного луча. Оптический газоанализатор оснащен фотодатчиками и излучателями, которые меняют параметры при изменении температуры и старении.

Таким образом, оптический газоанализатор имеет следующие преимущества: возможность долгой работы без калибровки, высокая чувствительность и долговечность, проведение бесконтактных измерений, скорость выполнения измерений, возможность работать в бескислородной среде, позволяет анализировать большое количество газов. [6].

#### *Парамагнитный метод*

Парамагнитные свойства выражаются в способности веществ притягиваться к магниту. Магнитные свойства тем больше, чем больше магнитная восприимчивость. Кислород во всех агрегатных состояниях парамагнитен, его молекула обладает постоянным магнитным моментом [7]. Парамагнитный анализ – это методика, которая была создана специально для установления содержания кислорода в воздухе. Устройство состоит из двух стеклянных шаров, в которые закачивается азот. Далее они подвешиваются в магнитное поле. Магнитное поле, в свою очередь, притягивает молекулы кислорода, что создает крутящий момент, оказывающий воздействие на стеклянные шарики. Свет от излучателя отображается от центрального зеркала и падает на фотоэлемент, определяющий крутящий момент и создает сигнал. Благодаря этому и исследуется концентрация кислорода [8].

Преимущество данного метода является точное определение концентрации кислорода, что позволяет контролировать его количество в шахте. Недостаток в том, что в производственных условиях необходим более обширный контроль ее составляющих.

#### *Электрохимический метод*

Электрохимический анализ удобен для установления концентрации токсичных газов и кислорода, так как обладает высокой селективностью и может работать в бескисло-



родных средах. В электрохимическом анализаторе датчик при контакте с активным газом начинает создавать электрический ток, величину которого можно измерить [9]. В устройство встроены минимум два электрода – измерительный и контрэлектрод, между которыми присутствует электрический контакт. С одной стороны с помощью электролита, с другой стороны с помощью внешней цепи. Химическая реакция между электролитом и измеряемым веществом меняет проводимость последнего.

Данный датчик позволяет улавливать малое содержание токсичных газов. Недостаток электрохимического метода состоит в том, что ошибки и их признаки нельзя отследить. От материала электрода и электролита зависит чувствительность к веществам.

#### *Полупроводниковый метод*

Принцип работы полупроводникового метода основывается на способности нагретого оксида поглощать газ. Датчики данной конструкции изготавливаются из тонкой пленки оксида тяжелых металлов на кремниевой пластине. Концентрация газа определяется следующим образом. Сенсор, который нагревают, вступает в реакцию с образцом, а элемент эталон помещен в герметичный отсек. В том случае если теплопроводность образца газа выше, чем у эталонного элемента, то температура датчика снижается. Когда теплопроводность меньше, температура повышается. Эти изменения пропорциональны концентрации газа, находящегося на элементе образца. Поверхность датчика нагревают до температуры выше 200–250 °С, что является катализатором реакции и уменьшает эффекты от изменений температуры атмосферы [10].

Такое устройство подходит для измерения высоких концентраций газовых смесей метана и водорода. Однако такие датчики быстро теряют чувствительность и их необходимо чаще проверять и обслуживать. Кроме того, после воздействия газа датчик медленно восстанавливается.

#### *Хроматографический метод*

При применении хроматографического метода в хроматограф через шприц закачивается образец газа. Из него выпариваются все влажные компоненты, чтобы далее проба в хроматографической колонке смешалась с инертным газом, находящимся в приборе. Дальше компоненты среды разделяются на основе их свойств адсорбироваться на неподвижной фазе или смешиваться с ней. Чем больше сила абсорбции, тем дольше компонент проведет времени в колонке. Следовательно они в разное время будут достигать детектора, который выводит результаты на диаграмму. Именно по этой диаграмме можно определить содержание газов в воздухе. Преимуществами данного метода являются оперативность выполнения измерений и разнообразие определяемых газов [11].

Приведенный анализ позволяет сделать вывод, что каждое устройство и метод имеют преимущества и недостатки для газового анализа шахтной атмосферы, в зависимости от применяемых условий. Оптические анализаторы весьма мобильны, подходят для измерения в бескислородной среде, позволяют определить большое количество газов, продолжительное время работают без обслуживания и калибровки. Парамагнитный анализатор подходит для измерения только кислорода, не является переносным. Электрохимический анализатор является переносным устройством, но точность измерения и количество определяемых газов зависит от материала электрода и качества электролита, ошибки измерений и их признаки невозможно отследить. Полупроводниковые анализаторы быстро теряют чувствительность, вынуждая проводить их обслуживание чаще. Хроматографический анализ возможно выполнять только на стационарном устройстве из-за сложности конструкции. Газоанализаторы, работающие с помощью указанных методов, являются автоматизированными, при превышении концентрации исследуемых газов издадут звуковые и вибрационные сигналы.

### **Библиографический список**

1. Васючков Ю. Ф. Горное дело / Ю.Ф. Васючков. – Москва: Недра, 1990. – 512 с.

2. Гринюк О.Н. Особенности газоаналитических измерений / О.Н. Гринюк, О.В. Алексашина // Вестник международной академии системных исследований. Информатика, экология, экономика – 2015 – Т.17 –№1 – С. 74-80.
3. Деренок А.Н. Контроль метана в шахтах опасных по пыли и газу / А.Н. Деренок, М. Синтун, Ф. Цинин, Н. А. Чулков // Инновационные, информационные и коммуникационные технологии. –2016 –№1 – С. 353-355.
4. prIEC 60079-29-2 Explosive atmospheres - Part 29-2: Gas detectors - Selection, installation, use and maintenance of detectors for flammable gases and oxygen (Взрывоопасные среды. Часть 29-2. Газоанализаторы. Требования к выбору, монтажу, применению и техническому обслуживанию газоанализаторов горючих газов и кислорода).
5. prIEC Degrees of protection provided by enclosures (IP Code) (Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (код IP)).
6. prIEC 61000-4-1 Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-1: Testing and measurement techniques - Overview of IEC 61000-4 series.( 4-1. Методики испытаний и измерений. Общий обзор IEC 61000-4).
7. Большая энциклопедия нефти и газа // – URL: <https://www.ngpedia.ru/pg3297288enceH560001241469/> (Дата обращения 31.10.2022).
8. FindLight // – URL: <https://www.findlight.net/blog/2017/04/04/gas-analysis-methods/> (Дата обращения 27.08.2022).
9. :getСИЗ // – URL: <https://getsiz.ru/draeger-portativnyye-gazoanalizatory-sensory.html> (Дата обращения 28.08.2022).
10. Ежемесячный производственный-технический журнал «КИП и автоматика: обслуживание и ремонт» №10 - 11с. [Электронный ресурс]. - <https://nsau.edu.ru/downloads/library/ugebnik/perevozki/content/img/file/2009/3/img/1238152500.pdf> (Дата обращения: 28.08.2022).
11. microbenotes // – URL: <https://microbenotes.com/gas-chromatography/> (Дата обращения 05.09.2022).

УДК 519.714.2

## CONSTRUCTION OF A MODIFIED ALGORITHM FOR IDENTIFYING A DYNAMIC CONTROL OBJECT BASED ON EXPERIMENTAL DATA FROM VVER-440 AND VVER-1000 REACTOR MODELS

Gusev S.S.

*PJSC Rostelecom*

*Moscow, Russian Federation, gs-serg@mail.ru*

**Abstract.** *The process of modification of the dynamic object identification algorithm is described, taking into account a priori information about its parameters. The object of management is a nuclear power plant. Automated process control systems (APCS) play a key role in the management of nuclear power plants (NPP). The task is to build a mathematical model of a dynamic object of the APSC of the NPP, as well as to compare the modified identification algorithm used for the work with those already existing for this class of objects. The quality of identification of the control object largely determines the quality of management of a complex object. A significant role is played by taking into account a priori information about the structure and parameters of the object. The parameters of the model in the identification process are specified in accordance with the criterion of maximum proximity (similarity) of the model and the object, which determines the quality of identification.*

**Keywords:** *algorithm, identification, dynamic object, parameter space, mathematical modeling, nuclear power plant.*

### 1. Introduction

The quality of identification of the control object (CO) largely determines the quality of management of a complex object. A significant role is played by taking into account a priori in-

formation about the structure and parameters of the object. The parameters of the model in the identification process are specified in accordance with the criterion of maximum proximity (similarity) of the model and the object, which determines the quality of identification. The main task that arises when developing an algorithm for identifying a dynamic automated control system object is to determine the functional dependence of the output variable, which is a mathematical model of the APCS. To construct the functional dependence of the output variable of the automated control system, a priori information about the APCS is used. The functional dependence of the output variable of the automated control system is an analytical expression linking the input and output variables of the control object – the transition from the input-output space to the parameter space by known quantities representing experimental data of a dynamic control object. A system is considered complex if there is not enough a priori information to build an adequate model of it.

The definition of the functional dependence of the output variable of the automated control system also requires clarification for the case of a complex op. Therefore, it is impractical to make a decision about the control effect of the automated control system on complex control objects, knowing only its output parameters. Management of complex control objects should be carried out not by its parameters, but by states. But for this it is necessary to be able to identify these states. Thus, in the automated control system of a complex APCS, the task arises of identifying the state of a complex APCS by its known parameters. This problem should be solved on the basis of input-output variables of the mathematical model of the automated control system of a complex op. For its construction, it is advisable to use more general classes of models than analytical ones, for example, matrix and informational ones. Such models cannot be directly applied for management and therefore require preliminary binding by filling them with specific information about the actual behavior of a complex automated control system.

The main goal of any automated control system, including the automated control system of a complex APCS, is to effectively transfer the APCS to the target state. But the automated control systems of a complex CO should also provide the formation of a specific information model of a complex CO based on a mathematical model and factual information about the behavior of a complex CO.

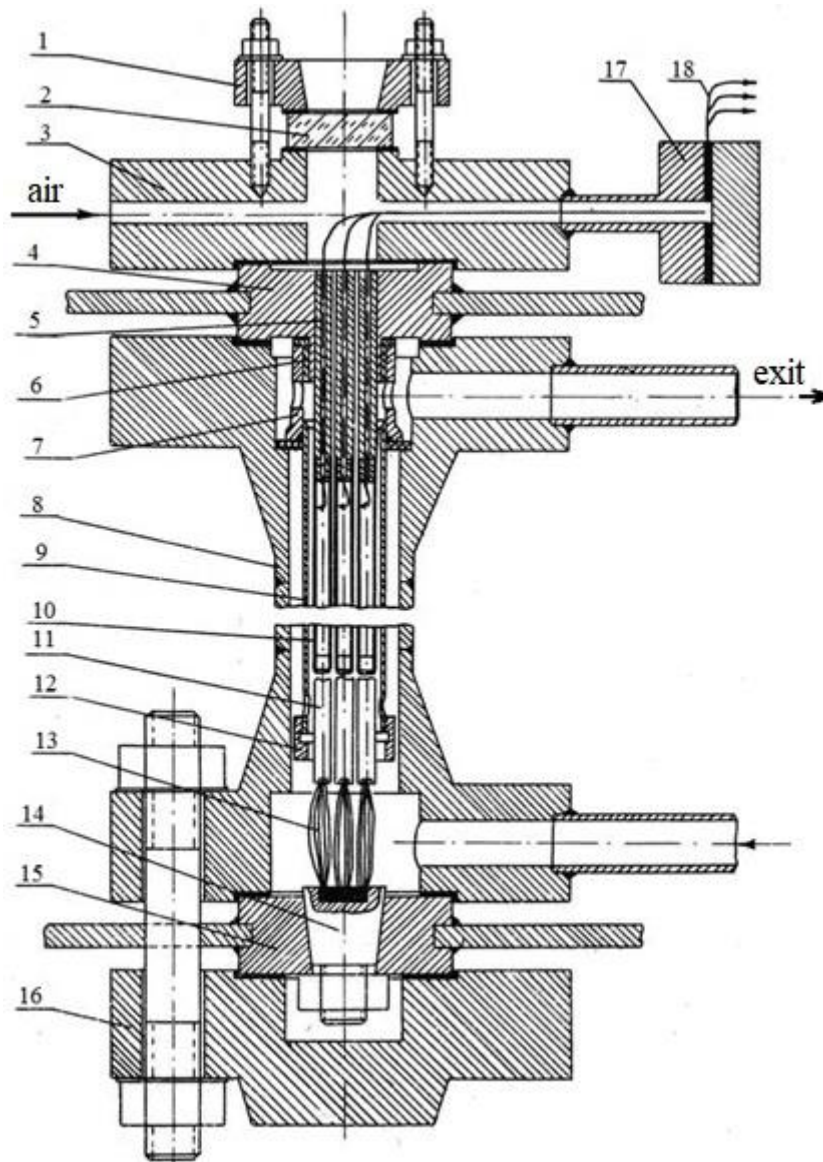
The article examines the work of a modified identification algorithm that takes into account certain information about the parameters of the object. In this case, the object of research is a dynamic automated control system object with one input and one output variables.

When constructing mathematical models of dynamic automated control systems based on experimental data [1], the problem arises of taking into account a priori information about the structure and parameters of a real object, which is poorly formalized. And a priori information refers to the object's parameters, which are related to these variables only indirectly (usually through the least squares method).

The article proposes an original procedure for identifying experiments that have the worst effect on the accuracy of estimates of object parameters.

The object of the study is a model of a cassette (fuel assembly – fuel assembly) APCS of the nuclear power plant: water-water power reactor VVER-440 or VVER-1000. The fuel assembly model was located in the channel housing, imitating the housing of the full-scale installation shown in Figure 1 [1].

The research was carried out on an experimental high-pressure bench (up to 20 MPa). At the same time, the circulation pumps and the equipment of the stand provided the required flow rate of the coolant with the specified temperatures. The experimental stand includes heaters (providing the required temperature of the coolant at the entrance to the model), pressure compensators (maintaining the pressure at the required level), refrigerators for heat removal from the circulation circuit. The measuring equipment of the automated control system of the nuclear power plant provides registration of the required parameters of the model (input power, temperature of the coolant and the walls of the simulators, pressure, flow, etc.).



1 - flange for sealing the sight glass, 2 - sight glass, 3 - upper housing cover, 4 - upper current-carrying flange, 5 - upper hollow current leads, 6 - mounting ring, 7 - centering cup, 8 - high-pressure housing, 9 - hexagonal channel, 10 - bundle tubes, 11 - lower solid current leads, 12 - fixing ring, 13 - flexible plates, 14 - pin cone, 15 - lower current-carrying flange, 16 - lower housing cover, 17 - flange without thermocouple output, 18 - thermocouples for fixing the crisis.

Figure 1 – Housing of the fuel assembly channel simulating the housing of a full-scale installation

Using the data obtained on the input power, coolant flow, coolant temperature at the inlet, the heated surface and the cross-sectional area of the fuel assembly model, the main parameters were determined in the studied modes: heat flows –  $Q$  (at the onset of a heat exchange crisis) and mass vapor content at the site of the crisis –  $X$ .

## 2. The purpose of the work

### 2.1. Object of research

The model considered in this paper is based on experimental data from [1]. The results of this work are presented in Fig. 2 in the form of dependencies of two parameters, designated  $X$  and  $Q$ , on the third parameter, which in this case is interpreted as a certain time scale  $t$ .

The parameter  $Q$  in this case correlates with the critical heat flow – KTP, and the parameter  $X$  – with the characteristic of the coolant – the so-called balanced vapor content.

It is necessary to say a few words about the dependencies presented in Figure 2. As follows from Figure 2, heat flows in the form of  $Q(t) / 100$  vary from  $\sim 10$  to  $\sim 30$ , and the balance of vapor content of  $100X(t)$  from  $\sim -15$  to  $\sim +30$ . It should be noted that both dependencies are «jagged» in nature. Moreover, within the limits of individual such formations, the opposite behavior is observed: an increase in enthalpy leads to a decrease in the critical heat flow. This reflects the natural behavior of the data: the «hotter» the coolant, the lower the critical heat flow and vice versa.

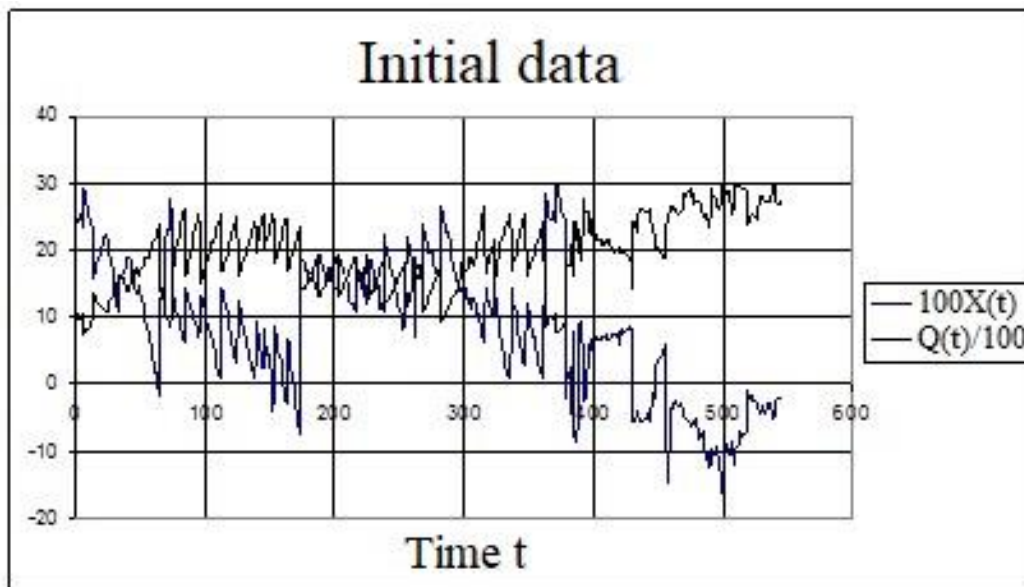


Figure 2 – Initial data ( $Q(t)$  – heat flow;  $X(t)$  – vapor content balance)

It should be noted that during experimental studies of the NPP control system with a physical object, a greater number of physical parameters (including, for example, pressure, mass velocities, flow rates, etc.) affecting the heat transfer process were recorded. In this paper, only a part of them was used to build a model of the automated control system of the nuclear power plant. Nevertheless, the critical heat flow forecast model for a clock forward showed a multiple correlation coefficient value of 0.92.

Using the a priori information of the automated control system of the nuclear power plant, it was possible to increase the value of the multiple correlation coefficient of the model to 0.93, respectively reducing the forecast error. Multiple correlation coefficient is used to study the closeness of the relationship between one indicator and a certain set of other indicators [2, 3]. In our case, we study the closeness of the relationship between one indicator  $Q(t)$  and some set of indicators such as  $Q(t-\tau)$  and  $X(t-\tau)$ . Let's introduce another concept that we will use in the future. This is the least squares method (LSM). LSM is a mathematical method used to solve problems based on minimizing the sum of squares of some functions of the desired variables [4].

## 2.2. Purpose of the study

The purpose of the practical study of the work: among all the experiments carried out, to find those that are most responsible for the estimation errors, and to increase the accuracy of the model (and, accordingly, the forecast). The conducted experiments include, as mentioned above, the values of two quantities - the critical heat flux (output value) and the balanced vapor content (input value).

A modified identification algorithm based on the use of this information is described below. Some theoretical aspects of this modified identification algorithm in relation to the considered mathematical model of a physical object are presented in [5, 6].

### 3. Statement of the problem

#### 3.1. Structure of the object and model

Let's consider a modified algorithm for identifying a dynamic object that takes into account a priori information about its parameters. We will consider a dynamic stationary object of the form

$$Q(t) = \sum_{i=1}^a h_i Q(t-i) + \sum_{i=1}^b h_{a+i} X(t-i) \quad (1)$$

where  $Q(t)$  is the scalar output of the object (heat flow) at time  $t$ ;  $X(t)$  is the input of the object (balanced vapor content) at time  $t$ ;  $h_i$  is the constant (time-independent) parameters of the dynamic object;  $a$  is the memory depth at the output;  $b$  is the memory depth at the entrance.

Additionally, it is known about the object (1) that the parameters  $h$  belong to the a priori known domain  $H$ , i.e.

$$h \in H. \quad (2)$$

We will assume that the model corresponding to object (1) has the same structure:

$$Q^*(t) = \sum_{i=1}^a k_i Q(t-i) + \sum_{i=1}^b k_{a+i} X(t-i) \quad (3)$$

where  $k_i$  is the estimates of the parameters of the object  $h_i$ , and the model parameters must satisfy the same constraints (2) as the unknown parameters of the object. For a specific physical model, the parameters of the structure (3) were equal to  $a = b = 3$ . That is, the model for predicting the heat flow one clock cycle ahead had the form

$$Q^*(t) = \sum_{i=1}^3 k_i Q(t-i) + \sum_{i=4}^6 k_i X(t-i) \quad (4)$$

The accuracy of this particular model is analyzed below.

#### 3.2. Estimates of the least squares method (LSM)

According to experimental data containing 563 experiments, a dynamic model of the form (4) with the parameters presented in Table 1 was constructed by the LSM. The correlation coefficient between the forecast of the heat flow for one clock cycle ahead and its actual value for the model with the parameters from Table 1 is 0.92, which corresponds to the standard error (standard deviation, COE) 211. COEX is an indicator of the dispersion of the values of a random variable relative to its mathematical expectation.

Table 1 – Parameters of the LSM model

Coefficient	Evaluation	COE
$K_1$	0,7767	0,070
$K_2$	0,1048	0,095
$K_3$	0,1100	0,0706
$K_4$	-600	417
$K_5$	458	580
$K_6$	371	420

A fairly representative sample (563 experiments) and a high multiple correlation coefficient ( $R=0.92$ ) with a high degree of probability determine that the true parameters of the object lie in the region of  $\pm 3$  COE near the average MNC estimates of the parameters from Table 1.

### 3.3. Research objectives

The purpose of the work: among all the experiments carried out, to find those that are most responsible for the estimation errors, and to increase the accuracy of the model (and, accordingly, the forecast), using condition (2) about the a priori known domain of the existence of the object parameters. As the area  $H$ , we will take the area near the LSM estimates from Table 1. We will choose the boundary of this area for each coefficient within  $\pm 3$  COE. A modified identification algorithm based on the use of this information is described below.

## 4. Identification algorithm

### 4.1. Transformation of the source data

The initial data obtained from the experimental setup are presented in Table 2.

Table 2 – Source data block

$t$	$X(t)$	$Q(t)$
Discrete time	Vapor content balance	Heat flow
1	0,279	856
2	0,268	876
3	0,256	913
...	...	...
567	-0,299	3050
568	-0,317	3020
569	-0,336	2830

Table 2 shows that, according to model (4),  $Q(5)$  depends on 6 variables located in three rows above  $Q(5)$ .

For further processing, the data from Table 2, in accordance with the structure of the dynamic object (1), must be transformed into the form shown in Table 3. The fundamental meaning of such a transformation [7] is that the output of the object  $Q(t)$  in an arbitrary row of the data block depends only on the variables in the same row. The data block in Table 2 does not have this property.

The structure of the block of transformed source data allows you to use an arbitrary set of rows from Table 3 to obtain estimates of model parameters (3). This property will be used to move into the parameter estimation space.

Table 3 – Block of transformed source data

$t$	$X(t-3)$	$X(t-2)$	$X(t-1)$	$Q(t-3)$	$Q(t-2)$	$Q(t-1)$	$Q(t)$
4	0,279	0,268	<b>0,256</b>	856	876	<b>913</b>	947
5	0,268	<b>0,256</b>	0,248	876	<b>913</b>	947	996
6	<b>0,256</b>	0,248	0,243	<b>913</b>	947	996	1030
...	...	...	...	...	...	...	...
561	-0,051	-0,053	-0,052	3120	3030	3030	3050
562	-0,053	-0,052	-0,299	3030	3030	3050	3020
563	-0,052	-0,299	-0,317	3030	3050	3020	2830

#### 4.2. Transition to the parameter space

Choosing randomly from Table 3 a certain block in  $m$  ( $m > 6$ ) rows, we can calculate the corresponding set of estimates of the model parameters (4). The number of such sets is the number of combinations from the number of experiments 563 on  $m$  ( $m > 6$ ), i.e. an astronomical number that creates problems for modern computing cars. It is important to note that the accuracy of model parameter estimates in each block depends on a specific set of experiments, and not on all experiments together, as in the LSM. This allows us to estimate the contribution of each individual experiment to the estimation error.

#### 4.3. Current parameter estimates

The following procedure is used to move to the parameter estimation space. The current block containing  $m$  rows is selected from the common block of source data (Table 3). The current block is processed using the least squares method, and the processing results are entered in Table 4. In addition to parameter estimates that are placed in columns 7-10, the row numbers of the source data block (Table 3) that were used to calculate them are also entered in columns 2-6 of Table 4. The error of parameter  $k_l$  estimation is entered in column 11, which is calculated as follows:

$$\Delta(i) = |kl(i) - kl_{mnk}|, \quad (5)$$

where  $k_{l(i)}$  is the  $k_l$  estimate of the model parameter (4) using the  $i$ -th current block;  $k_{lmnk}$  is the  $k_l$  estimate of the model parameter (4) from Table 1 (the average for all data). If the error (5) exceeds a predetermined limit (as a rule, 3 COEX for this parameter), then 1 is put in the 12th column of Table 4, which indicates that the rows from the  $i$ -th current block participated in the formation of a large estimation error [7]. Otherwise, 0 is set in the 12 indicator column.

Table 4 – Complete block of interim estimates

Current block numbers	Line numbers of the source data block					Current parameter estimates				Evaluation error $k_l$	Big Error Indicator
	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
N	$n1$	$n2$	$n3$	...	$n20$	$k1$	$k2$	...	$k6$	$\Delta$	Ind
1	4	5	6	...	23						
2	5	6	7	...	24						
3	6	7	8	...	25						
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
$i$	$n1(i)$	$n2(i)$	$n3(i)$	...	$n20(i)$	$k1(i)$	$k2(i)$	...	$k6(i)$		
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
539	542	543	544	...	561						
540	543	544	545	...	562						

This calculation procedure is performed for all  $(563 - m)$  current blocks. As a result, Table 4 is formed.

For example, Figure 3 shows the empirical distribution function of the coefficient  $k_l$  (column 7 of Table 4). The LSM estimate of this coefficient from Table 1 is 0.7767.



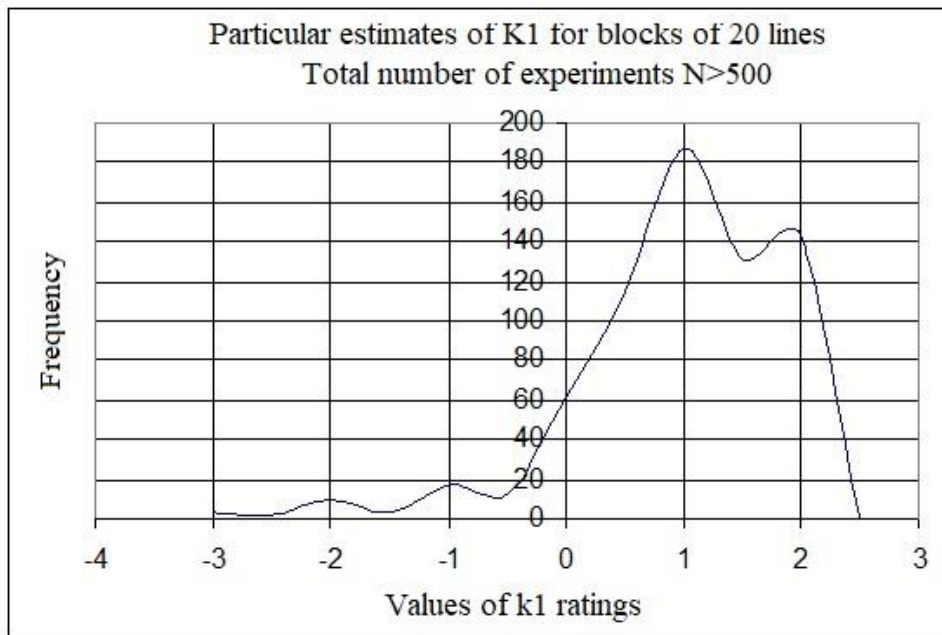


Figure 3 – Experimental distribution function of current estimates  $k_I$

As can be seen from Figure 3, there are very strong deviations from the average for different current blocks.

The next task will be to develop an algorithm that allows you to find exactly which experiments in the data block (Table 3) correspond to the large estimation errors shown in Figure 3. In particular, for  $k_I$  less than zero and more than two. This problem does not have an unambiguous solution, since data from not one, but several experiments are involved in calculating each estimate. Let's look at this problem in more detail.

#### 4.4. Detection of «bad» experiments

A bad experiment will be called an experiment, when used in the current block, the estimates are very different from the nominal ones (from Table 1). The problem is that each current block contains many rows of source data (experiments). And what kind of experiment leads to big mistakes is not known in advance. Let's consider a modified algorithm that allows us to solve this problem [7].

In Table 4, the last, twelfth Ind column is an indicator. There are only zeros or ones in it. If there is 1 in any row in this column, it means that the estimate of parameter  $k_I$  (from column 7 of Table 4) differs from the nominal value of  $k_{Imnk}$  (from Table 1) by more than 3 COEX, i.e. calculated with a large error. At the same time, all rows included in this block listed in columns 2-6 of Table 4 fall under suspicion.

We will select from Table 4 only the rows corresponding to large errors, and by the numbers of rows in columns 2-6, we will construct a function of the frequency  $w$  of the row numbers involved in the calculation of bad errors. The graph of this function is shown in Figure 4.

As can be seen from Figure 4, there are several areas in which sharp deviations of estimates appear especially often. One area is 115-125, the second is 330-360. It was experiments with these numbers that led to rough estimates of the model parameters. The exclusion of these lines from processing should lead to an increase in the accuracy of the model. The exclusion of «bad» rows from the data block, leading to a local violation of condition (5), allows you to build a model that gives a smaller prediction error.

The general ideas of the proposed approach, namely the modified identification algorithm described above – the procedure for the transition from a dynamic control object to a static object, are necessary to select arbitrary rows from a block of transformed source data of a static

control object, which is impossible for a block of source data of a dynamic control object. This is explained by the properties of static and dynamic control systems (objects). Therefore, all the above iterations (procedures) of converting a block of source data into a block of converted source data are necessary for arbitrary selection of rows from a block of converted source data.

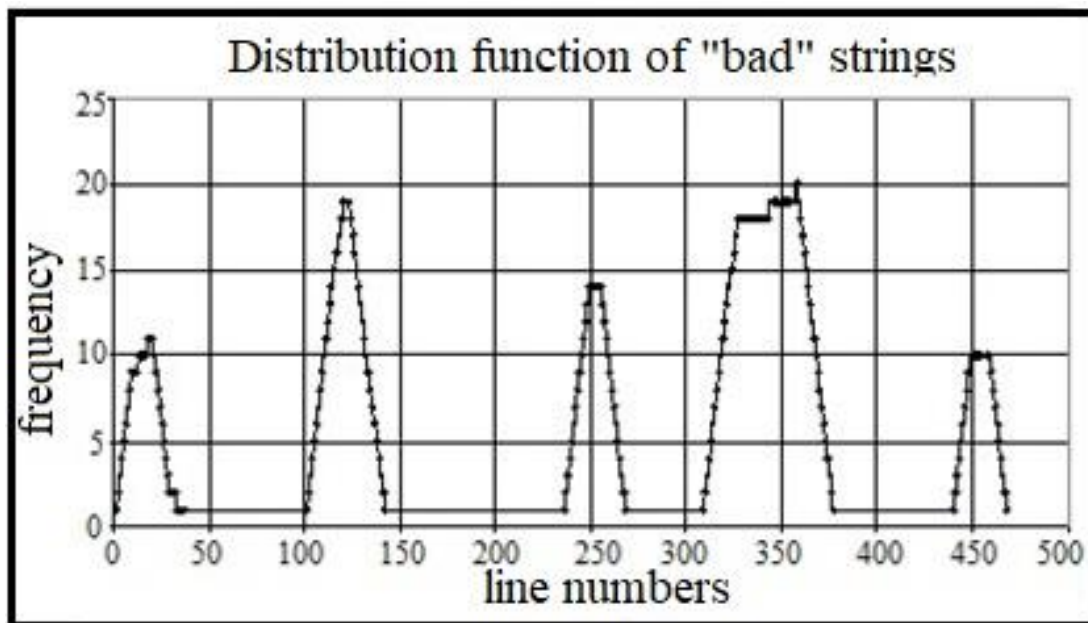


Figure 4 – Distribution function of «bad» rows

## 5. Algorithms for identifying the class of the objects of the automated control system of the nuclear power plant

### 5.1. An example of the identification algorithm for a class of objects of the automated control system of the nuclear power plant

An example of the studied identification algorithm for the class of objects of the automated control system of the nuclear power plant will be the algorithm for identifying the dynamic object of the work of Chadeev–Ilyushin, given in [6].

In [6], an identification algorithm is considered that takes into account a priori information about the parameters. The initial experimental data from the input-output space is transformed into the space of parameter estimates. In the parameter space, a set of estimates satisfying a priori constraints is allocated. Parameter estimates are based on this set according to a probabilistic criterion. An example illustrating the effectiveness of the proposed procedure is given.

### 5.2. Comparison of the modified identification algorithm with the given algorithm for this class of objects

A distinctive feature of the Chadeev–Ilyushin algorithm chosen for comparison with the modified algorithm for identifying dynamic objects is that the algorithms are similar in structure and mathematical description, except for the absence of a frequency vector  $w$  (frequency of mentioning strings) in the Chadeev–Ilyushin algorithm compared to the modified algorithm. The frequency column vector  $w$  in the modified identification algorithm allows you to structure the matrix with the initial data by the frequency of mentioning rows, which allows you to filter out the lower rows of the matrix that are uninformative, thereby reducing the number of rows in the matrix, the number of possible iterations from the remaining rows in the truncated matrix and, accordingly, reduces the time of iterating through «good» rows. This positive feature is not possessed by other algorithms for identifying dynamic objects. It can be said that the modified algorithm for identifying dynamic control objects is a kind of continuation of the development of the Chadeev–Ilyushin algorithm. Therefore, it makes no sense to present mathematical iterations of

the Chadeev–Ilyushin algorithm, similar to those given in the article for the modified algorithm, since the calculation results will differ slightly for both algorithms presented in [6] and [7]. The use of the modified algorithm in practice shows that the author of this article, who developed a modified algorithm for identifying a dynamic object, really made significant changes, including the frequency of  $w$  – the frequency of mentioning lines in the block of transformed source data, which allows to significantly increase the accuracy of calculating the estimation of the parameters of the control object. These small changes in the modified identification algorithm, firstly, distinguish it from other algorithms, and secondly, allow us to obtain more accurate estimates of the parameters of the control object. This makes it possible to obtain a more accurate value of the multiple correlation coefficient for the control object and significantly increase its performance.

The scientific novelty and practical value of this work, due to the comparative result of both algorithms, determines:

- introduction of the frequency vector  $w$ , which makes it possible to filter out uninformative rows, thereby reducing the time to iterate through the rows of the block of transformed source data;
- calculation of parameter estimates for such complex control objects of the nuclear power plant control system as reactor installations, linear accelerators, cyclotrons, etc.;
- practical application of the modified identification algorithm at the control facilities of the automated control system of the nuclear power plant - VVER-440 and VVER-1000;
- mathematical simplicity of using the mathematical apparatus in practice in relation to complex control objects.

### **5.3. Conclusion based on the results of the study**

The results of studies of already existing identification algorithms for the class of objects of the automated control system of the nuclear power plant with a modified algorithm for identifying the dynamic object of research show that the developed modified identification algorithm for the class of objects of the automated control system of the nuclear power plant shows the best results in conducting experiments. This is reflected in the accuracy of determining the estimates of the parameters of dynamic objects, determining the standard deviation, multiple correlation coefficient and other characteristic indicators for this class of objects. It can be argued that the improved modified algorithm for identifying dynamic research objects is suitable for solving problems related to the class of nuclear power plant objects. The result is obvious.

## **6. Conclusion**

A modified algorithm for identifying a dynamic object is considered, taking into account a priori information about its parameters. The modified algorithm transformed a block of source data into a set of blocks of smaller dimension. For each of these blocks, estimates of the object parameters were calculated and the line numbers used to calculate these estimates were stored. The operator implementing the described algorithm transformed the matrix of the source data into a special matrix that takes into account the frequency of estimates falling into the  $h_i$  region, thereby cutting off uninformative lines [7].

The multiple correlation coefficient for such a model will be equal to  $R=0.93$ . The forecast coefficient from the true values with the cut-out «bad» lines of the critical flow is 200, i.e. it decreases by 5% [8–10]. Comparing these results with the identification of 563 experiments, we see that the accuracy of the estimates has increased.

An increase in the value of the multiple correlation coefficient by one hundredth (from 0.92 to 0.93) [11–15] even with an extremely high accuracy value shows the effectiveness of the modified algorithm for identifying a dynamic object for the class of objects of the automated control system of nuclear power plants.

### Bibliographic list

1. Bezrukov Yu.A., Astakhov V.I., Brantov V.G., etc. Experimental studies and statistical analysis of data on the heat transfer crisis in rod bundles for VVER reactors // Thermal power engineering. – 1976. – No. 2. – pp. 80-82.
2. Kramer G. Mathematical methods of statistics. – M.: Publishing house 2, stereo., 1975. – 648 p.
3. Kendall M.J., Steward A. Statistical outputs and connections. - M.: Nauka Publishing House, 1973. – 896 p.
4. Linnik Yu.V. The method of least squares and the foundations of the mathematical and statistical theory of observation processing. - M.: Publishing House of Fizmatgiz, 1962. – 349 p.
5. Gusev S.S., Chadeev V.M. Identification algorithm with transition to parameter space // Control problems. - 2009. – No.1. – pp. 18-21.
6. Chadeev V.M., Ilyushin V.B. Algorithm of identification of dynamic objects taking into account a priori information about parameters // Automation and telemechanics. - 2006. – No.7. – pp. 133-143.
7. Chadeev V.M., Gusev S.S. Constructing a dynamic model for predicting critical heat flow from experimental data // Automation in industry. - 2010. – No.8. – pp. 3-6.
8. Novikov D.A. Theory of management of organizational systems. – M.: Moscow Psychological and Social Institute, 2005. – 584 p.
9. Raibman N.S., Chadeev V.M. Building models of production processes. – M., «Energy», 1975. – 376 p.
10. Samarskiy A.A., Mikhailov A.P. Mathematical modeling: Ideas. Methods. Examples. – 2nd ed., ispr. – M.: FIZMATLIT, 2005. – 320 p.
11. Chadeev V.M., Ilyushin V.B. Identification method, taking into account a priori information about the parameters of the object // Proceedings in the International Conference «Identification of systems and management tasks» SICPRO'06. Moscow, January 30 – February 2, 2006 Moscow: V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of the Russian Academy of Sciences, 2006. pp. 1091 – 1105.
12. Shannon R. Simulation modeling of systems – art and science – Moscow: Mir, 1978. – 418 p.
13. Shibanov G.P. Quantitative assessment of human activity in man–technique systems. Moscow: Mashinostroenie, 1983, 263 p.
14. Methods of classical and modern theory of automatic control: Textbook in 5th edition; 2nd ed., reprint. and additional vol. 4: Theory of optimization of automatic control systems / Edited by K.A. Pupkov and N.D. Egupov. – M.: Publishing House of Bauman Moscow State Technical University, 2004. – 744 p.;
15. Schwartz G. Estimation of the dimension of the model // Annals of Statistics, 1978. 16. pp. 461 – 464.

## АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ЭКСПРЕСС-МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД НА ПРЕДМЕТ ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В РОБОТИЗИРОВАННЫХ ГОРНЫХ МАШИНАХ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ АНКЕРНОГО КРЕПЛЕНИЯ ВЫРАБОТОК

Кулебакин И.И., Корнеева Д.И., Корнеев В.А.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»  
г. Новокузнецк, Россия, korneev\_va@list.ru; uchebasibgiu@gmail.com

***Аннотация.** В статье проведен анализ существующих экспресс-методов определения прочности горных пород с целью оценки возможности их реализации роботизированными горными машинами, осуществляющими анкерное крепление выработок. Установлено, что наиболее целесообразными методами, доступными для реализации роботизированными горными машинами, являются методы, основанные на контактном разрушении горной породы в скважинах различными инденторами.*

***Ключевые слова:** экспресс-методы определения прочности, анкерное крепление выработок, горная порода, крепость горной породы, проведение горных выработок.*

***Abstract.** The article analyzes the existing express methods for determining the strength of rocks in order to assess the possibility of their implementation by robotic mining machines that anchor workings. It has been established that the most appropriate methods available for implementation by robotic mining machines are methods based on contact destruction of rock in wells by various indentors.*

***Keywords:** express methods for determining strength, anchorage of workings, rock, rock fortress, mining operations.*

Основу функционирования роботизированных систем составляют интеллектуальные алгоритмы мониторинга технологического процесса, осуществляемого автоматическими производственными агрегатами. Такие алгоритмы базируются на различных экспресс-методах определения свойств и состояния рабочей среды, с которой взаимодействует технологический автомат. Применительно к ведению проходческих горных работ, основным параметром, определяющим принятие технологических решений при анкерном креплении, являются сведения о прочностных свойствах горных пород в окрестности выработки. В этой связи выбор и обоснование экспресс-метода, на базе которого может быть построен алгоритм принятия горным роботом производственных решений при анкерном креплении, является актуальной научно-инженерной задачей.

В зарубежной практике наибольшее распространение в горном деле получили экспресс-методы определения прочностных свойств молотком Шмидта (Method for Determination of the Schmidt Hammer) [1, 2] и методом точечной нагрузки (Method for Determination of the Point Load Strength Index of Rock) [3]. Эти методы являются общепризнанными и рекомендованы Международным обществом по механике горных пород (ISRM) [4].

Метод измерения молотком Шмидта (рисунок 1) основан на определении ударного импульса, возникающего после воздействия бойка на горную породу с заданным усилием. Прочностные свойства исследуемой породы определяется по высоте отскока бойка, с помощью установленных градуировочных зависимостей [5]. Метод первоначально предназначался для определения прочностных свойств бетона, однако в настоящее время достаточно широко применяется для исследования горных пород [6, 7]. Помимо стандартов ISRM он также регламентируется нормативами Американского общества по испытанию материалов (ASTM) [8].

Следует отметить, что использование молотка Шмидта для определения предела прочности на сжатие скальных пород возможно только после тщательной тарировки используемого молотка для каждого вида пород, слагающих конкретное месторождение. При этом значительная неоднородность горных пород в сравнении с бетоном вносит большую погрешность в результаты измерения и полученные данные носят ориентиро-

вочный характер [10, 11]. В этой связи использование такого метода в качестве основы для построения автоматической системы измерения технологических показателей в горном роботе не представляется целесообразным.



Рисунок 1 – Определение прочности бетона молотком Шмидта [9]

Метод точечной нагрузки реализуется раздавливанием образцов между конических пуансонов с фиксацией усилия, необходимого для их разрушения (рисунок 2). В соответствии с рекомендациями Международного общества по механике горных пород, метод может применяться при испытаниях кернов диаметральной или аксиальной приложением нагрузки, а также при испытаниях образцов блочной или кусковой формы. Результатом испытаний является индекс прочности горных пород, на основании которого по корреляционной зависимости становится возможным вычисление предела прочности на одноосное сжатие [12]. Метод точечной нагрузки также регламентируется стандартом Американского общества по испытанию материалов под номером D 5731 – 95.



Рисунок 2 – Определение прочности горной породы методом точечной нагрузки [13]

Следует отметить, что использование метода Point-Load-Test для определения прочностных свойств горных пород в окрестности выработки возможно лишь на кернах. При этом требуется произвести их выбуривание из массива, а также учитывать слоистую структуру осадочных пород в угольных шахтах. Все эти сложности не позволяют использовать метод для решения задач по анкерному креплению горных выработок в угольных шахтах роботизированными техническими средствами.

В отечественной горной практике наибольшее распространение в настоящее время получили следующие экспресс-методы определения прочностных свойств горных пород: метод определения коэффициента крепости по ГОСТ 21153.1-75 и метод определения контактной прочности по ГОСТ Р 50834-95.

Метод определения коэффициента крепости горных пород по ГОСТ 21153.1-75 реализуется посредством специального прибора ПОК-1 (рисунок 3). Проведение испытаний заключается в разрушении образца горной породы сбрасыванием гири с дальнейшим просеиванием образовавшейся фракции. Крепость породы определяется на основании объема фракции диаметром 0,5 мм. Реализация данного метода горным роботом требует проведения множества технологических операций. В связи с этим использование такого метода для задачи, рассматриваемой в настоящей статье, не является целесообразным.



Рисунок 3 – Прибор ПОК-1 для определения крепости горной породы методом толчения по ГОСТ 21153.1-75

Определение контактной прочности по ГОСТ Р 50834-95 осуществляется вдавливанием в горную породу двух инденторов из твердого сплава с плоскими круглыми основаниями. Диаметр контактной поверхности инденторов составляет 1 и 3 мм. Контактную прочность определяют на основании значений разрушающей силы, полученной при вдавливании инденторов.

Метод предусматривает возможность проведения исследований вдавливанием индентора в стенку скважины и таким образом обеспечивает оперативные измерения в окрестностях выработки посредством бурения исследовательских скважин. Совершенствование этого метода было осуществлено сотрудниками Института угля СО РАН [14] посредством применения индентора со сферической контактной поверхностью. Использование индентора такой формы устраняет появляющийся концентратор напряжений, возникающий при контакте плоской поверхности индентора в соответствии с ГОСТ Р 50834-95 и стенки скважины. Для реализации метода было разработано специальное устройство, названное «Пинометр» (рисунок 4) [15].

Применение устройства «Пинометр» и аналогичных по принципу действия приборов горным роботом не представляет значительных трудностей, так как погружение прибора в исследовательскую скважину может осуществляться посредством механического манипулятора. Однако, следует отметить, что разработчики устройства «Пинометр» так и не предложили корреляционной зависимости, связывающей параметры разрушения горной породы с ее прочностью. Кроме того, индентор, используемый в приборе «Пинометр», обладает значительным диаметром (10 мм) [16]. Это затрудняет использовать прибор для определения прочности особо крепких горных пород.



Рисунок 4 – Устройство «Пинометр» [15]

Сложившаяся ситуация актуализирует разработку нового экспресс-метода определения прочности горных пород, базирующегося на вдавливании индентора в стенку скважины, обеспечивающего проведение измерений в особо крепких горных породах и доступного для реализации горными роботизированными машинами. Работы по этому направлению осуществляются коллективом сотрудников Сибирского государственного индустриального университета.

#### Библиографический список

1. Aydin, A. ISRM Suggested Method for Determination of the Schmidt Hammer Rebound Hardness: Revised Version [Text] / A. Aydin // International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences. – 2009. Volume 46. – pp. 627 – 634.
2. ISRM Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests. Suggested Methods for Determining Hardness and Abrasiveness of Rocks [Text] // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts. – 1978. Volume 15. – pp. 89 – 97.
3. ISRM Commission on Testing Methods. Working Group on Revision of the Point Load Test Method. Suggested Methods for Determining Point Load Strength [Text] // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts. – 1985. Volume 22. – pp. 51 – 60.
4. International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.isrm.net/>. – Загл . с экрана.
5. Wang, M. A new empirical formula for evaluating uniaxial compressive strength using the Schmidt hammer test [Text] / M. Wang, W. Wan // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. – 2019. Volume 123. – p. 1 – 11.
6. Aydin, A. The Schmidt hammer in rock material characterization [Text] / V A. Aydin, A. Basu // Engineering Geology. – 2005. Volume 81 – Issue 1. – p. 1 – 14.
7. Прокопов, А. Ю. Апробация и оценка точности неразрушающего экспресс-метода определения прочностных свойств породного массива в условиях реконструкции Рокского тоннеля [Текст] / А. Ю. Прокопов, Ю. А. Гергарт // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2015. – № 4. – С. 101- 107.
8. Харисов, Т. Ф. Оценка предела прочности серпентинитов на сжатие с использованием регрессионного анализа [Текст] / Т. Ф. Харисов // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2021. – № 1. – С. 45 – 53.



9. Проинструмент : Молоток Шмидта : [сайт]. – URL : <https://proinstrumentinfo.ru/molotok-shmidta-doveruyaj-no-proveryaj/> (дата обращения: 02.10.2022). – Текст : электронный.
10. Харисов, Т. Ф. Оценка предела прочности пород в образце с использованием молотка Шмидта [Текст] / Т. Ф. Харисов // Известия ТулГУ. Науки о Земле. – 2020. – Вып. 4. – С. 304 – 314.
11. Харисов, Т. Ф. О проблемах экспресс-метода определения прочности горных пород [Текст] / Т. Ф. Харисов, А. А. Панжин, О. Д. Харисова // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2019. – № 7. – С. 86 – 91.
12. Singh, V. K. Correlation between point load index and compressive strength for quartzite rocks [Text] / V. K. Singh, D. P. Singh // Geotechnical and Geological Engineering. – 1993. Volume 11. – pp. 269 – 272.

УДК 681.58

## РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ВИБРОДИАГНОСТИКИ ЭКСКАУСТЕРОВ АГЛОМЕРАЦИОННОЙ ФАБРИКИ

Куликов Е.С.

*ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»  
г. Новокузнецк, Россия, kulikov020400@mail.ru*

***Аннотация.** В статье приведено описание автоматизированной системы вибродиагностики эксгаустеров агломерационной фабрики. Система позволит повысить оперативность и эффективность контроля технических параметров, обеспечивающих нормальное функционирование агрегатов, отключения их в случае превышения предельно допустимых значений. Техническая структура системы реализована на базе контроллера SIMATIC S7-300.*

***Ключевые слова:** АСУТП, вибродиагностика, автоматический контроль, агломашины.*

***Abstract.** The article describes the automated system of vibration diagnostics of agglomeration factory exhausters. The system will increase the efficiency and effectiveness of monitoring the technical parameters that ensure the normal operation of the units, turning them off in case of exceeding the maximum permissible values. The technical structure of the system is implemented based on the SIMATIC S7-300 controller.*

***Keywords:** automated control system, vibration diagnostics, automatic control, sintering machines.*

Проектирование АСУ ТП (автоматизированной системы управления техническими процессами) необходимо для улучшения качественных и количественных показателей работы промышленных компаний. Внедрение процесса позволяет обеспечить полный контроль производственных циклов, как отдельного подразделения, так и всего завода. Высокая актуальность АСУ ТП отмечается в отраслях со сложными техпроцессами и где сбой работы комплекса приводят к значительным финансовым потерям.

Объектами автоматизации являются точки и узлы измерения текущих параметров агрегатов каждого эксгаустера (контроль вибрации и температуры опорных подшипников, контроль температуры и давления системы водяного охлаждения, контроль температуры и давления системы смазки, контроль температуры силовых установок).

Эксгауستر – главный агрегат агломерационного производства, представляет собой вентилятор (насос), основной задачей которого является удаление дымовых газов, паров и других вредных примесей из воздуха.

Ротор эксгаустера устанавливают в центробежный нагнетатель, предназначенный для установки в тракте газоочистки на агломерационных и обжиговых фабриках, в мартеновских и конверторных цехах.

Эксгауستر создает разрежение и удаляет газообразные продукты сгорания из вакуум-камер машины через дымовую трубу. Затем в газоочистительном устройстве газового коллектора происходит очистка продуктов сгорания от агломерата и пыли.

Для обеспечения дутьевого режима на трёх агломашинах в корпусе эксгаустеров установлено шесть агрегатов (два эксгаустера на одну агломашину).

Целями создания системы являются:

- замена морально и физически изношенной системы виброконтроля и оборудования КИП;

- построение новой системы на базе управляющего контроллера с применением современных унифицированных датчиков виброскорости и измерительных приборов;

- повышение безопасности при эксплуатации эксгаустеров;

- повышение оперативности и эффективности контроля технических параметров, обеспечивающих нормальное функционирование агрегатов, отключения их в случае превышения предельно допустимых значений;

- улучшение информационного обеспечения технологического персонала корпуса эксгаустеров;

- повышение технологической дисциплины и культуры производства;

- унификация оборудования АСУ ТП.

Функциями, выполняемыми системой, является:

- измерение основных технологических параметров с контролем и сигнализацией предельных значений;

- формирование технологических, предупредительных и аварийных сообщений, звуковой и световой сигнализации;

- выработка блокирующих сигналов, предотвращающих разрушения подшипниковых узлов и, как следствие, механического и электрического оборудования эксгаустеров из-за превышения допустимых значений вибрации, давления и температуры;

- диагностика работы контроллерного оборудования системы.

АС «Вибродиагностика эксгаустеров АФ» представляет собой двухуровневую систему.

Первый уровень – уровень управляющих контроллеров. Данный уровень обеспечивает обработку входной информации с датчиков КИПиА, от информационных контактов реле и контакторов вспомогательных систем охлаждения и смазки.

Управляющие команды от контроллера представляют собой блокирующие работу эксгаустеров сигналы, поступающие непосредственно в силовые схемы управления механизмами.

Реализация первого уровня осуществлена в виде трёх независимых сегментов. Каждый сегмент должен обеспечивать работу двух эксгаустеров одной агломашины и управляться своим центральным процессором.

Уровень обеспечивает выполнение следующих функций:

- получение данных КИП;

- измерение и контроль сигналов, характеризующих технологический процесс (вибрация, температура, давление);

- первичная обработка данных и передача их на уровень визуализации для представления технологическому персоналу;

- получение сигналов от вышестоящего уровня и выработка управляющих воздействий (блокирующих работу электрооборудования);

- диагностика работы аппаратных средств.

Перечисленные функции управления реализованы в управляющем контроллере.

Второй уровень – уровень визуализации технологического процесса и интерфейса с технологическим персоналом. Второй уровень общий для трех сегментов первого уровня.

Функции уровня визуализации:

- отображение параметров технологического процесса;

- организация общения между технологом и механизмами первого уровня;

- установка режимов функционирования системы;
- ввод заданий, настроечных значений для поддержания эффективной и безопасной работы электрического и механического оборудования;
- ввод и сохранение уставок для предупредительной и аварийной сигнализации;
- отображение технологических, предупредительных и аварийных сообщений и их архивов;
- хранение архивов измеренных значений технологических процессов и протоколов на станции визуализации 7 суток;
- предоставление данных серверу верхнего уровня ИТС.

Режим функционирования Системы – круглосуточный, в режиме реального времени.

Система выполнена на базе контроллеров SIMATIC S7-300 с центральными процессорами CPU315-2PN/DP. Микропроцессорный комплекс и элементы системы должны размещаться в защитных шкафах.

Функции визуализации технологического процесса реализованы посредством рабочих станций с уставленным на них программным обеспечением, разработанным для функционирования в среде SCADA-системы WinCC.

Техническая структура АС вибродиагностики приведена на рисунке 1.

Функции связи контроллеров SIMATIC S7-300 со станциями децентрализованной периферии ET200M возложены на соответствующие центральные процессоры CPU315-2PN/DP, поддерживающие промышленный сетевой стандарт Profibus DP.

Сеть между контроллерами SIMATIC S7-300 и серверами WinCC (рабочие станции) реализована на основе неэкранированной витой пары кат. 5 при помощи промышленного коммутатора EDS408A MM-SC (2 FO, 8 T/X портов) со скоростью передачи до 100 Мбит/с.

На всех иерархических уровнях Системы предусмотрена диагностика:

- отказа и сбоев технических средств;
- сбоев системного и прикладного программного обеспечения;
- качества информации, вводимой в Систему и хранимой в базах и банках данных;
- несанкционированного доступа к банкам и базам данных и их изменения;
- ошибочных действий персонала при эксплуатации Системы.

Для диагностики стандартных (не разрабатываемых) технических средств и программного обеспечения используются поставляемые с ними средства. Диагностика системы в целом, в том числе и аттестация специалистов, осуществляется в соответствии с инструкциями по эксплуатации и должностными требованиями, которые разрабатываются на этапе проектирования.

Система формирует только одно управляющее воздействие для каждого из шести эксгаустеров, представляющее собой дискретный сигнал блокировки работы электрического и механического оборудования.

Сигнал поступает в электрические схемы, запрещая работу технологического оборудования в аварийных режимах.

В процессе работы механизмов для формирования блокирующих сигналов система отслеживает следующие ситуации:

- превышение допустимого уровня вибрации по одной из координат каждого опорного узла агрегатов;
- превышение допустимой температуры каждого из опорных подшипников электродвигателей и агрегатов.

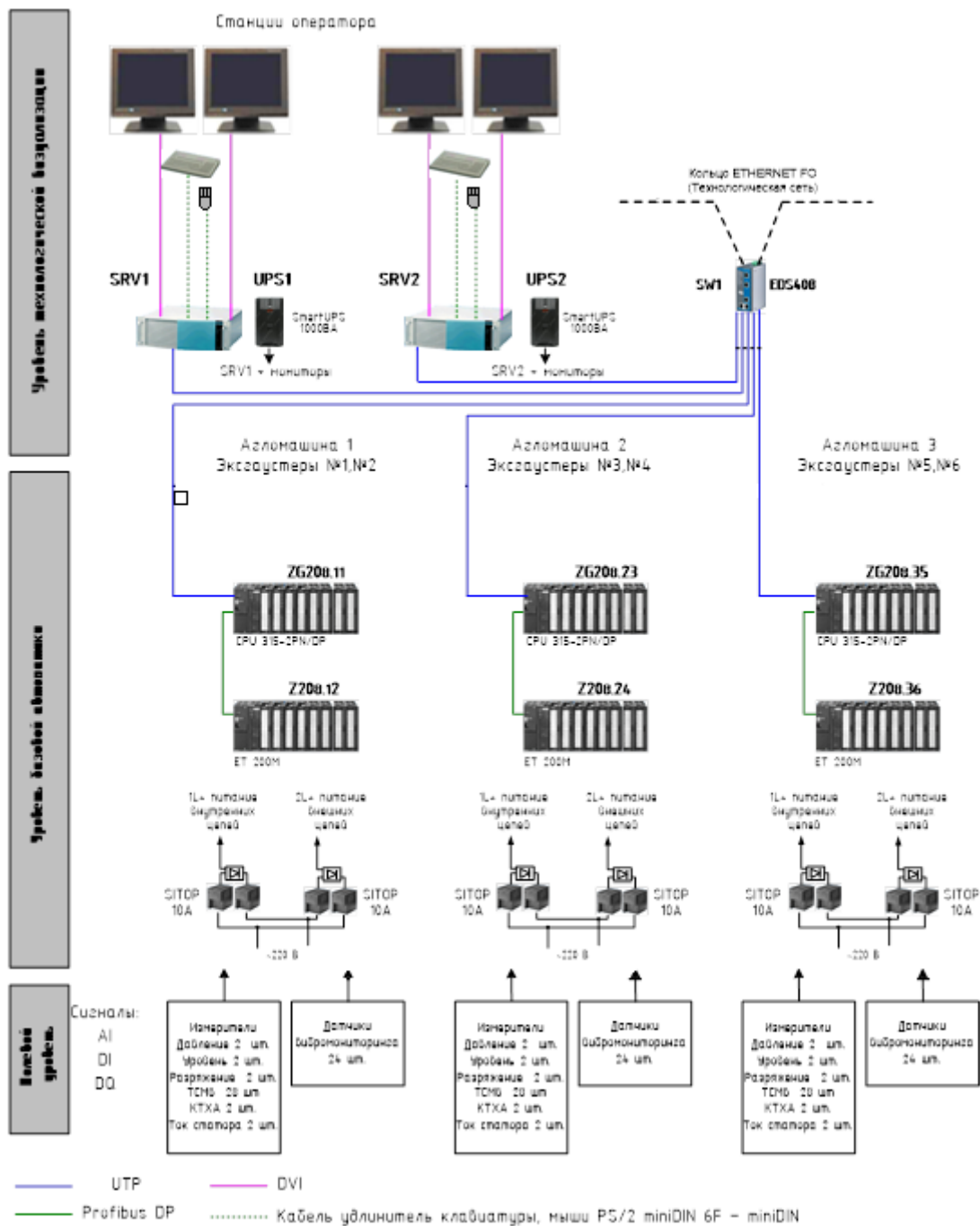


Рисунок 1 – Техническая структура системы АС «Вибродиагностика эксгаустеров АФ»

Выбор аппаратных и программных средств производится, исходя из следующих требований:

- оптимальная надёжность Системы;
- достаточная степень защиты оболочки для функционирования в условиях корпуса эксгаустеров;
- гальваническая развязка цепей управления и силовых цепей;
- быстрое восстановление работоспособности Системы;
- простота обслуживания;
- возможность самодиагностики аппаратных и программных средств;
- возможность обслуживания и перенастройки Системы обслуживающим персоналом.

Реализация функций разрабатываемой системы обеспечиваться при наличии следующих системных программных средств:

– уровень визуализации:

1. операционная система Windows 7 Professional;
2. пакет визуализации WinCC фирмы SIEMENS версии 7.0;

– уровень управляющих контроллеров – язык программирования контроллеров SIMATIC S7 (Step 7) версии не ниже 5.3.

Функциональные возможности системы, структура комплекса технических средств позволяют дальнейшее развитие системы.

Автоматизированная система вибродиагностики эксгаустеров позволит улучшить следующие технико-экономических показатели работы:

– повысить стабильность работы эксгаустеров и, как следствие, работы цеха агломерации;

– снизить риски потерь производства агломерата по причине ложных срабатываний системы вибродиагностики и приборов КИП;

– предотвратить аварийное разрушение технологических агрегатов и, связанную с этим, угрозу жизни и здоровью персонала.

### **Библиографический список**

1. ГОСТ 34.601-90. Автоматизированные системы. Стадии создания.
2. Мантула В.Д., Лавошник А.С., Шапаренко А.В., Лыжник Г.В., Дамрин В.Я., Турбаба Е.А., Ишов А.М. Повышение наработки роторов эксгаустеров в агломерационном производстве // СТАЛЬ. - 2013. - №11. - С. 71-78.
3. РД 50-34.698-90 Автоматизированные системы. Требования к содержанию документов.
4. ГОСТ 34.201-89 Информационная технология. Виды, комплектность и обозначения документов при создании автоматизированных систем.
5. ГОСТ 34.603-92 Информационная технология. Виды испытаний автоматизированных систем.
6. СТО ИСМ 3-07-2017 Информационное обеспечение. Порядок заказа, разработки и внедрения автоматизированных систем.

УДК 681.5:669.1:628.511

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПРИНУДИТЕЛЬНОГО УДАЛЕНИЯ ГАЗОПЫЛЕВОЙ СМЕСИ ИЗ ПОМЕЩЕНИЯ ПЛАВИЛЬНОГО ЦЕХА**

**Гольцев В.А., Киселев Е.В., Дудко В.А., Ершов А.К.**

*Уральский Федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина  
г. Екатеринбург, Россия, v.a.goltsev@urfu.ru*

***Аннотация.** Создана 3D модель блока печей плавильного цеха. Моделирование газодинамики воздушных потоков в разработанной 3D модели производили в программном пакете системного инженерного анализа ANSYS. Анализ результатов газодинамических расчетов и моделирования существующего положения в цехе показал, что над печами на отметках +15,6 м и выше образуется застойная малоподвижная зона неупорядоченного движения газов. Наилучшие результаты моделирования по снижению концентрации дисперсных частиц промышленного аэрозоля на рабочих площадках были получены для варианта с установкой трех вытяжных вентиляторов.*

***Ключевые слова:** моделирование газодинамики, промышленный аэрозоль, 3D модель, руднотермическая печь.*

**Abstract.** A 3D model of the block of furnaces in the smelting shop has been created. The simulation of the gas dynamics of air flows in the developed 3D model was carried out using the ANSYS software package for system engineering analysis. An analysis of the results of gas-dynamic calculations and modeling of the current situation in the workshop showed that a stagnant, slow-moving zone of disordered gas movement is formed above the furnaces at elevations of +15.6 m and above. The best simulation results for reducing the concentration of dispersed particles of industrial aerosol at work sites were obtained for the option with the installation of three exhaust fans.

**Keywords:** simulation of gas dynamics, industrial aerosol, 3D model, ore thermal furnace.

В плавильном цехе расположены 8 руднотермических печей открытого и закрытого типов по выплавке ферросплавов (прежде всего силикомарганца) и четыре разливочные машины. Мокрая газоочистка закрытой печи включает в себя короб для забора газов от свода печи, наклонный газоход, скруббер, трубу Вентури, циклон-водоотделитель и газодувку. Полученный из системы мокрой газоочистки конвертерный газ используется на территории предприятия. Сухая газоочистка открытых печей, где дымовые газы отсасываются из-под зонта и от летки, далее поступают в групповой циклон для грубой очистки и затем в тканевый фильтр.

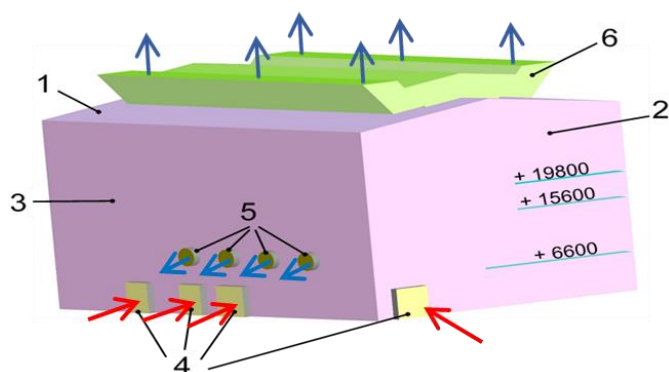
Однако значительная часть технологических газов минует организованную систему их эвакуации и поступает в помещение цеха. В работе [1] подробно рассмотрено поведение конденсационного аэрозоля (в основном частиц оксида кремния и оксида марганца субмикронных размеров) в неподвижной вязкой среде (в цеховой атмосфере). Рассчитаны параметры движения частиц различного химического состава, имитирующие составы конденсационного и диспергационного аэрозолей, характерных для аэродисперсной системы атмосферы цеха. Сделан однозначный вывод о том, что конденсационный аэрозоль, состоящий из частиц оксидов марганца и кремния с размерами от субмикронных до 5 микрометров включительно, будет иметь теоретически бесконечно большое время жизни. Таким образом, средние скорости седиментации частиц чрезвычайно малы, а путь, проходимый ими под действием силы тяжести, составляет для наиболее крупных частиц доли миллиметра.

На производственных площадках исследуемого цеха можно отметить наличие больших объемов, где скорость движения воздуха весьма невелика. В этих застойных зонах витающая пыль с существенной долей мелких, вредных для здоровья фракций не удаляется через аэрационный фонарь, и это значительно снижает санитарно-гигиенические условия производства. Необходимо разработать и рассчитать научно обоснованную систему удаления аэродисперсной системы из помещения цеха, так как существующая с аэрационным фонарем не устраняет застойных зон. Воздух, удаляемый из помещения цеха аэрационным фонарем, системами аспирации и организованными источниками пылеудаления, должен компенсироваться специально организованным притоком. Организованного притока свежего воздуха в настоящее время в помещение цеха не имеется, а на зимний период герметизируются и открытые в летнее время двери и окна.

Технические средства обеспыливающей вентиляции и очистки вентиляционных выбросов от пыли при всех их функциональных и конструктивных различиях можно рассматривать с единой точки зрения как устройства, в которых под действием аэродинамических и сторонних сил осуществляется управляемое перераспределение концентрации частиц аэрозоля и их осаждение (улавливание). Это позволяет сформулировать общие принципы моделирования процессов обеспыливания. Основой математического моделирования процессов обеспыливания являются уравнения механики гетерогенных сред, главными допущениями которой являются [2 – 7]:

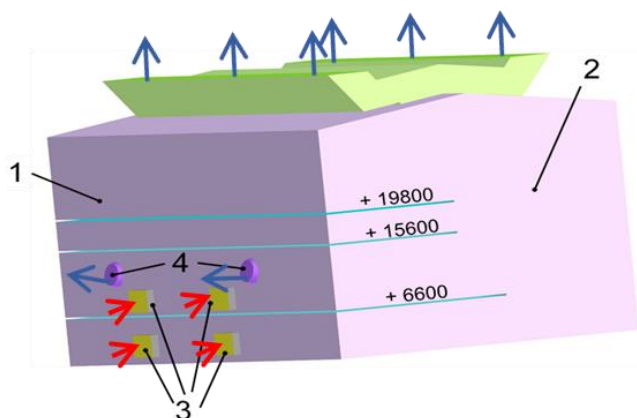
1. размеры частиц дисперсной фазы промышленного аэрозоля много больше размеров молекул несущей фазы (воздуха);
2. размеры частиц во много раз меньше расстояний, на которых осредненные или макроскопические параметры несущей среды меняются существенным образом.

При создании 3D модели цеха было решено воспроизвести южную его часть, где расположены плавильные печи № 7 и 8. Здание представляет собой параллелепипед, условно разделенный на печной и разливочный пролеты. Печной пролет очень плотно занят восемью ферросплавными печами и технологическим оборудованием, тогда как в разливочном пролете расположены только разливочные машины и предусмотрено движение крана, он свободен практически на всю его высоту. Моделирование этой части цеха является более представительным, так как позволяет воспроизвести наибольшее количество имеющихся приточных и выходных точек. Создание 3D модели проводили в специализированной системе трехмерного проектирования КОМПАС-3D. Для возможности прямого использования значений параметров результатов моделирования выбрали масштаб модели 1:1. Результаты 3D моделирования блока печей № 7 и 8 представлены на рисунках 1 и 2.



1 – корпус цеха; 2 – южная сторона цеха; 3 – западная сторона цеха; 4 – ворота цеха;  
 5 – вытяжные осевые вентиляторы; 6 – аэрационный фонарь цеха  
 → – возможные точки входа воздуха в цех; → – возможные точки выхода воздуха из цеха;

Рисунок 1 – Отделение (блок) печей № 7, 8 (юг-запад)



1 – восточная сторона цеха; 2 – северная сторона модели; 3 – окна цеха;  
 4 – газоходы от печных аспирационных зонтов;  
 → – возможные точки входа воздуха в цех; → – возможные точки выхода воздуха из цеха;

Рисунок 2 – Отделение печей № 7, 8 (восток-север)

На рисунке 1 показан блок 1, где расположены печи № 7 и 8 с южной 2 и западной 3 стороны цеха. Габаритные размеры построенного блока: длина 60 м, высота 31 м, ширина 42 м. Существенный приток атмосферного воздуха, особенно в летнее время, происходит через открытые ворота цеха 4. Также в западной стене цеха установлены неиспользуемые осевые вентиляторы 5, с диаметром рабочих колес около 3 метров, центры которых находятся на высоте + 9,5 м. Аэрационный фонарь цеха 6 изображен в положении полного открытия вентиляционных окон. Для понимания структуры 3D модели цеха на рисунках 1 и 2 показаны основные технические уровни (отметки +6600; +15600; +19800).

На рисунке 2 показана сторона 3D модели, соответствующая восточной стороне цеха 1 и северному направлению 2 в сторону печей № 7 –1. С восточной стороны в цех поступает атмосферный воздух через окна 3, которые в летнее время практически всегда открыты. Также решено произвести моделирование движения газов через систему аспирации (до границы цеха), которая имеется над каждой печью. Поэтому на рисунке 2 показаны патрубки газоходов 4 от аспирационных систем печей № 7 и 8.

Моделирование газодинамики воздушных потоков в представленной 3D модели производилось в программном пакете системного инженерного анализа ANSYS. Это комплекс программных продуктов, предназначенный для решения различных инженерных задач: расчётов, анализа и симуляции физических процессов. Расчётная часть пакета основана на численных методах решения дифференциальных уравнений сложных процессов.

Так как именно в летний период складываются наиболее тяжелые условия труда как по температуре воздуха, так и по концентрациям пыли от работающих плавильных печей и технологического оборудования, то моделирование проводили при условии полностью открытых ворот, окон цеха и аспирационного фонаря. Значения входных и выходных параметров, необходимых для расчетной модели, определяли на основе измерений параметров газопылевых потоков и термографических измерений. В таблице представлены числовые значения входных и выходных параметров воздуха при настройке исходной (существующей) модели. Наименование точек входа и выхода показаны на рисунках 1 и 2.

Таблица – Значения входных и выходных параметров воздуха при настройке исходной (существующей) модели блока печей № 7 и 8

Входные параметры			Выходные параметры		
Наименование	Параметр	Значение	Наименование	Параметр	Значение
Ворота и окна цеха,	скорость	2 м/с	Аэрационный фонарь цеха	давление	0 Па
	температура	300 К		температура	300 К
Верхний уровень печи	скорость	1 м/с	Газоход от аспирационных зонтов	давление	- 10 Па
	температура	573 К		температура	523 К

Результаты расчетов получены в виде объемных и плоскостных (наиболее представительные плоскости сечения) полей распределения скоростей. На рисунке 3 изображены результаты моделирования (вид север- восток). Для наиболее полного понимания результатов на этом и последующих рисунках показаны градиентные шкалы распределения векторов скорости (слева) и масштабная линейка расстояний (снизу). Таким образом,



кроме распределения скорости по значениям, на рисунках можно увидеть векторное направление движения потока, а по частоте нанесения стрелок – интенсивность этих потоков.

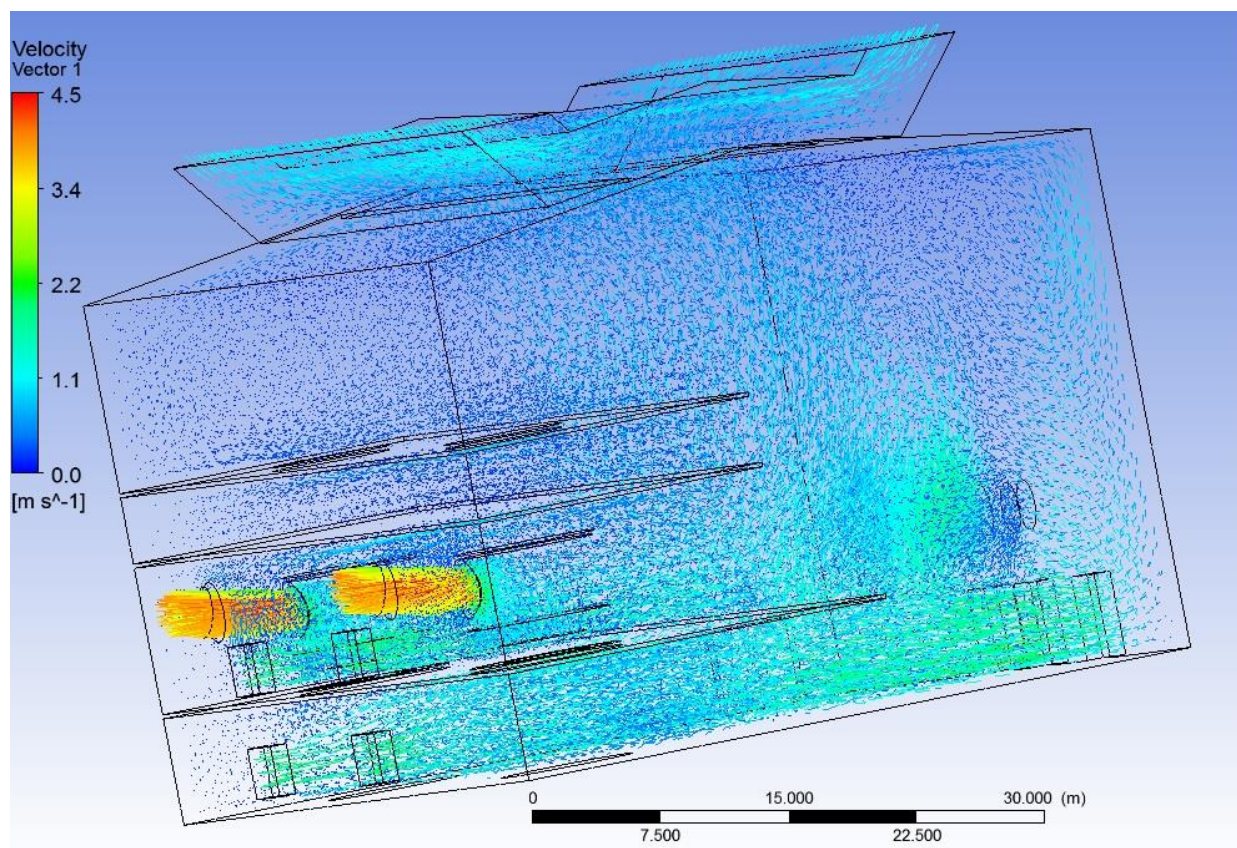


Рисунок 3 – Объемная картина распределения скорости в модели исходной конструкции блока печей № 7, 8 (вид север - восток)

Можно отметить, что на уровне отметок +0,0 м – + 15,6 м основную роль в движении воздуха играют естественные воздушные потоки, входящие через открытые ворота и окна цеха. Несмотря на достаточно большую площадь этих элементов, начальной (входной) скорости, а следовательно, и энергии движения воздуха недостаточно, чтобы повлиять на газодинамику выше отметки + 15,6 м. При этом основное количество пылевых выбросов образуется как раз на отметках выше +15,6 и +19,8 м. Частично входные воздушные потоки вовлекаются в движение вверх по направлению к аэрационному фонарю цеха, но это происходит в зоне разливочного пролета.

В целом анализ результатов газодинамических расчетов и моделирования существующего положения в цехе показал, что над печами на отметках +15,6 м и выше образуется застойная малоподвижная зона неупорядоченного движения газов.

Первоначально было промоделировано включение в работу имеющихся в цехе, но не работающих осевых вентиляторов на западной стене цеха. Поводя итоги результатам моделирования, можно отметить, что работающие осевые вентиляторы, установленные на западной стене, оказывают локальное влияние на воздушные потоки, входящие через ворота цеха. Поэтому до отметки +15,6 м циркуляция и движение воздушных масс в районе печей № 7 и 8 остается на прежнем уровне, задача удаления наиболее загрязненного промышленным аэрозолем объема внутрицехового воздуха не решается.

Наиболее удачным признан вариант с установкой на отметке + 17,575 м одного вентилятора по центру между печами (диаметр рабочего колеса 2,4 м), а на отметке + 23 м двух вентиляторов напротив печей 7 и 8 (диаметр рабочего колеса 2,0 м) на восточной

стене цеха. На рисунке 4 представлены результаты моделирования движения газов для этого варианта. Для более объективного анализа получившихся результатов эта модель просчитана с более высоким разрешением (т.е. с количеством элементов и узлов расчетной сетки). По сравнению с исходным вариантом, наиболее активно газы теперь движутся в области печного пролета. Также существенную роль играют потоки, входящие через ворота цеха. Проходя через разливочный пролет, эти потоки поднимаются в верхние части печного пролета и активно проникают на площадки отметок + 6,6 м и + 15,6 м, выводя запыленный воздух. Так как объем зоны от отметки +19,8 м и выше значителен, то здесь принято к установке 2 осевых вентилятора.

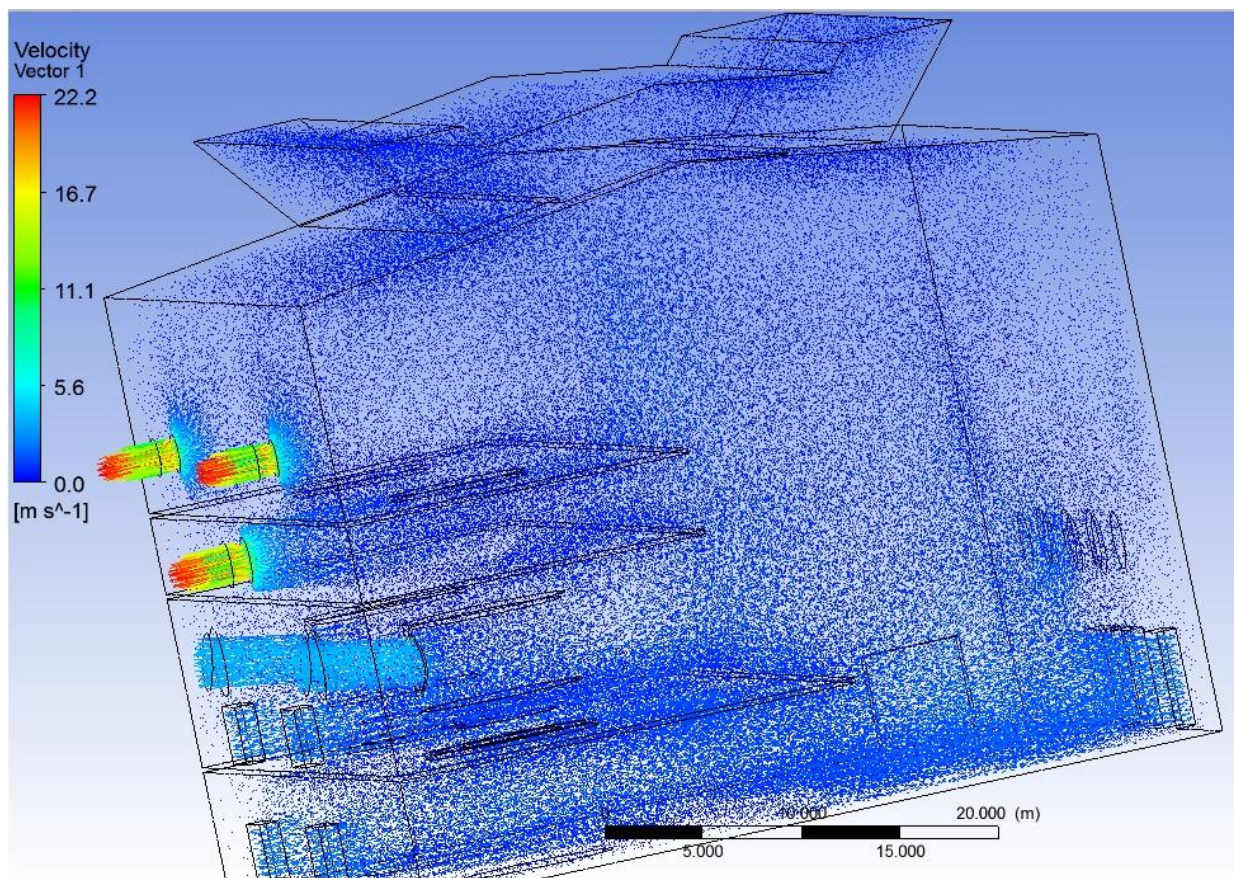


Рисунок 4 – Объемная картина распределения скорости в модели с тремя осевыми вентиляторами на восточной стене (отметки +17,575 м + 23,0 м)

В общем, этого достаточно, чтобы не просто активизировать движение на верхних горизонтах печного пролета, но и организовать направленное движение пылевоздушных масс к вентиляторам. Совместно с устройствами для пылеудаления местного действия это должно дать ощутимое снижение концентрации дисперсных частиц промышленного аэрозоля на рабочих площадках.

#### ВЫВОДЫ

1. Подводя итоги моделированию газодинамических процессов в ферросплавном цехе (блок печей 7, 8) можно отметить, что одной из главных причин наличия большого количества пыли на рабочих площадках является малоподвижность воздушных масс в тех местах, где происходит основное выделение пыли. Имеющееся штатное оборудование для пылеудаления местного действия не справляется со своей задачей или работает неудовлетворительно.
2. В обстановке очень плотного расположения технологического оборудования дополнительные устройства для борьбы с пылевыми выбросами решено установить в сте-

нах цеха (возможно в оконных проемах). Из промоделированных и рассчитанных пяти вариантов рекомендован к реализации наиболее удачный с установкой трех осевых вентиляторов на восточной стене цеха.

3. Ввиду значительной концентрации пыли в воздухе рабочих площадок необходимо предусмотреть ее организованный сбор и улавливание. Для этого следует рассчитать и спроектировать систему газоходов от предлагаемых к установке вентиляторов, которые необходимо подсоединить к существующей цеховой системе организованного удаления газов и сухой газоочистке.

### Библиографический список

1. Гольцев В. А. Исследование аэродисперсной системы рабочей зоны ферросплавного цеха [Текст] / В.А. Гольцев, В. А. Дудко, Е. В. Киселев, А. Б. Лебедь // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2022. Т.78, № 6. С. 553-561.
2. Математическое и компьютерное моделирование систем обеспыливания производства строительных материалов: монография/ В. Г. Шаптала, В. В. Шаптала. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2017. – 163 с.
3. Ландау Л. Д. Механика сплошных сред [Текст]/ Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – М.: Наука, 1986. – 795 с.
4. Бабуха Г.Л. Взаимодействие частиц полидисперсного материала в двухфазных потоках [Текст] / Г.Л. Бабуха, А.А. Шрайбер. – Киев, Наукова думка, 1972. – 356 с.
5. Нигматулин Р.И. Основы механики гетерогенных сред [Текст] / Р.И. Нигматулин – М.: Наука, 1978. – 336 с.
6. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред [Текст]/ Р.И. Нигматулин. Ч. 1; 2. – М.: Наука, 1987 – 364; 360 с.
7. Седов Л.И. Механика сплошной среды [Текст] / Л.И. Седов. Т. 1; 2 - М.: Наука, 1972. – 82; 433с.

УДК 65.011.56

## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЗАЦИИ В УПРАВЛЕНИИ БУРОВЗРЫВНЫМИ РАБОТАМИ

Гуторова Е.А.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»  
г. Новокузнецк, Россия, gutorova-elizaveta@mail.ru

**Аннотация.** В данной статье автор рассматривает особенности применения современных информационных технологий для управления буровзрывными работами. Приводятся примеры используемого автоматизированного оборудования и программного обеспечения для создания автоматизированных рабочих мест диспетчеров технологических процессов добычи полезных ископаемых. Описываются преимущества информационной системы «Диспетчер», позволяющие оптимизировать работу предприятия.

**Ключевые слова:** буровзрывные работы, автоматизированные информационно-управляющие системы, полезные ископаемые, контроль и управление.

**Abstract.** In this article, the author examines the features of the application of modern information technologies for the management of drilling and blasting operations. Examples of automated equipment and software that are used to create automated workstations for dispatchers of technological processes of mining are given. The advantages of the information system «Dispatcher», allowing to optimize the operation of the enterprise, are described.

**Keywords:** drilling and blasting operations, automated information and control systems, minerals, control and management.

Буровзрывные работы являются важным элементом технологического процесса добычи полезных ископаемых. Преимущество буровзрывных работ при проведении добычи полезных ископаемых и их разработках заключается в сокращенном временном интервале, поскольку подобные работы проводятся быстро и являются малозатратными.

Перед началом буровзрывных работ происходит предварительное их планирование, то есть измеряется глубина, расстояние между скважинами, сами их виды, диаметральные размеры.

Далее следуют подготовительные работы, в которые входят такие, как заряд веществ для взрывания, их выкладка в места взрыва, скважинная забойка, монтажные работы по изготовлению сети для взрыва. И только после проведения всех предварительных и плановых работ, происходит непосредственно само инициирование и взрыв породы. Данный вид буровзрывных работ наиболее часто используется на строительных работах и в горнодобывающей промышленности. Показателями качества таких работ являются хорошо проработанные куски породы, их равномерная раздробленность. Процент негабаритных кусков должен быть минимальным при правильно проведенных буровзрывных работах.

Буровзрывные работы открытого типа проводятся так называемым уступным способом, то есть поэтапно. Сам цикл работ аналогичен всем предыдущим, но поскольку работы ведутся на открытой местности, выполняют их частичным отбиванием породы от скалы, посредством взрывов. В это время все карьерные работы прекращаются, для избегания несчастных случаев. После этого отколотые куски породы вывозятся на транспортном средстве к месту их дальнейшей обработки. Такими местами являются обогатительные фабрики или отвалы, в случае если порода является пустой.

В строительстве буровзрывные работы проводятся, как правило, при строительстве различных сооружений, в местах, где большое количество горных пород, например при строительстве таких сооружений, как плотины. Здесь имеет значение большое количество горной породы, которая нужна на так называемый выброс. Для проведения данной операции требуется очень большое количество горной породы- грунта.

На предприятиях, осуществляющих добычу полезных ископаемых открытым способом, сосредоточено большое количество разнообразной техники, с помощью которой ведутся добыча и перемещение значительных объемов горной массы. Для одной из основных технологических операций буровзрывных работ – бурения взрывных скважин на открытых горных работах применяют буровые машины (рисунок 1).

По способу перемещения буровые машины бывают:

1. самоходные. Как правило, устанавливаются на автомобильные и гусеничные шасси повышенной проходимости. Группа разрабатывает и производит самоходные буровые установки ББУ, ПБУ-2, УГБ, ЛБУ-50-30, УШ-2Т4, МБУ, УРБ-25, УРБ-40, УРБ-210;
2. мобильные. Оснащаются индивидуальной мобильной базой – полуприцепы, прицепы, санное основание. Привод осуществляется от палубного дизельного двигателя;
3. стационарные. Устанавливаются в специальные буровые здания.

Кроме полезных ископаемых, с использованием буровых установок добывают также воду. Буровая установка помогает проникнуть в глубь земли и поднять драгоценную жидкость на поверхность. Или сделать скважину в скале для закладки заряда. Такая техника может иметь как промышленные масштабы, так и ограничиваться организацией водоснабжения на дачном участке.

Все буровые представляют собой систему взаимосвязанных узлов, которые позволяют сделать отверстие в любом, или почти любом, грунте. В процессе их применения образуется скважина цилиндрической формы, стенки которой называются стволом, верхняя часть – устьем, а дно – забоем.

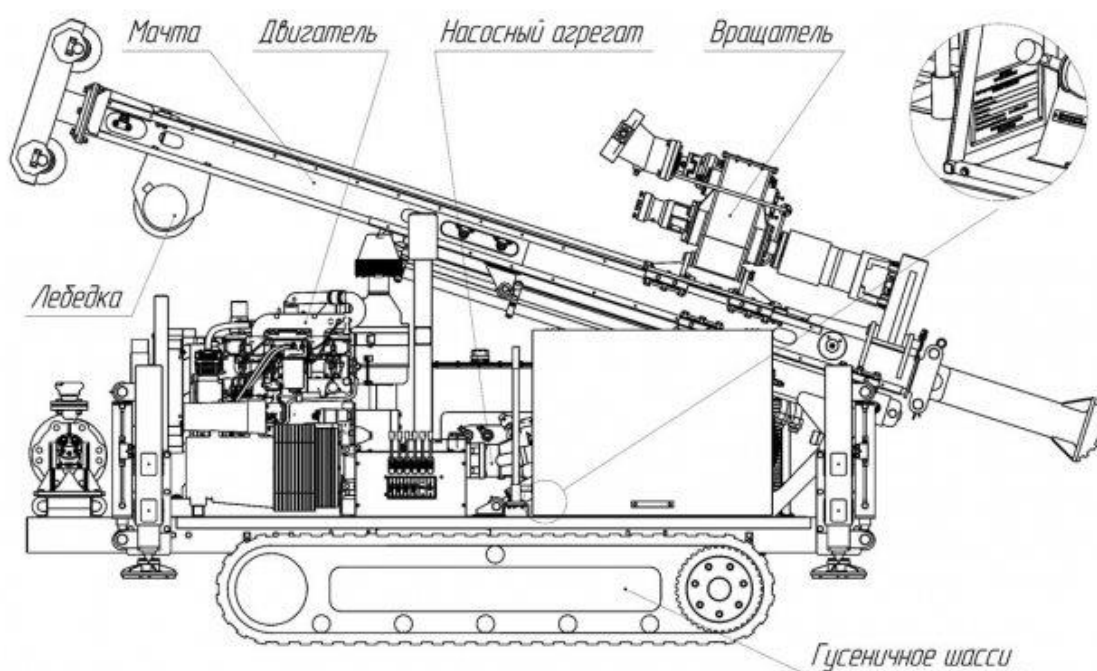


Рисунок 1– Конструкция буровой установки

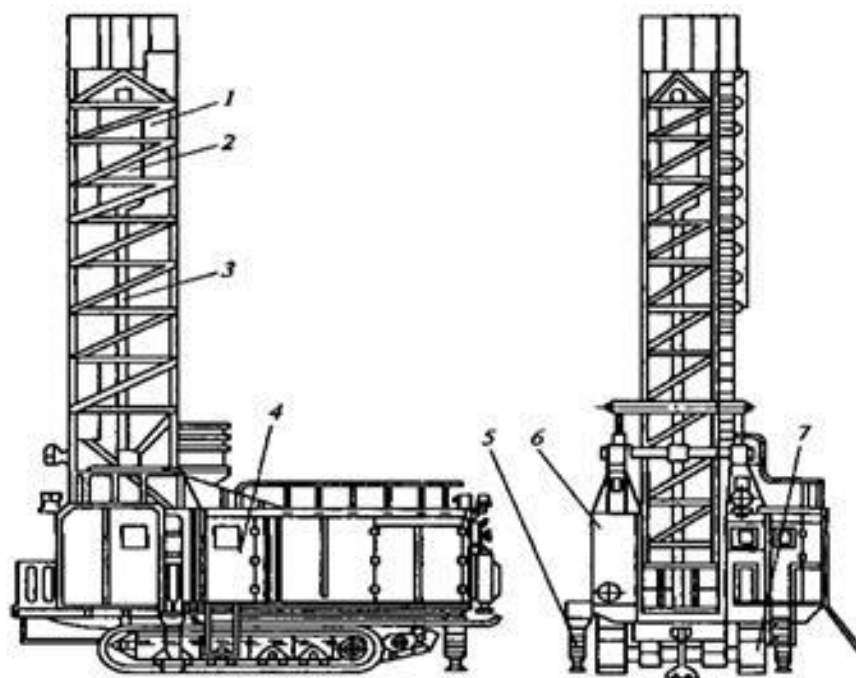
Стандартные буровые установки для бурения скважин на воду состоят из следующих основных элементов:

- конструкции для организации устойчивой работы установки: вышки, треноги, стеллажи, мосты;
- двигателя;
- ударного элемента: долото, труба с острым наконечником, шнек;
- механизма для спуска и поднятия ударного элемента: крюки, лебедки, канаты;
- оборудования для очистки жидкости: отстойники, очистные емкости, насосы, вертлюги;
- элементов для защиты от выброса жидкости;
- оборудования для приготовления бурового раствора (при использовании такой технологии).

Кроме буровых установок широко распространены станки вращательного и ударно-вращательного бурения (рисунок 2, 3).

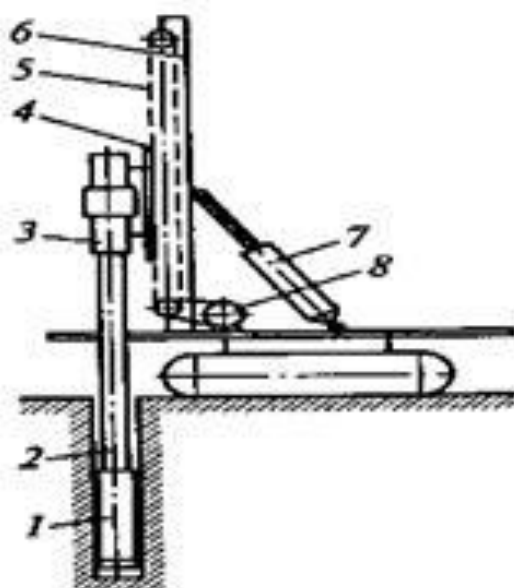
К таким станкам относятся станки шарошечного бурения типа СБШ, предназначенные для бурения взрывных вертикальных и наклонных скважин на открытых горных разработках в сухих и обводненных, монолитных и трещиноватых породах средней крепости и крепких. Бурение осуществляется в результате приложения к шарошечному долоту значительного крутящего момента и больших осевых усилий. Разрушение породы осуществляется шарошечным долотом, во время вращения которого при постоянном усилии подачи зубья (штыри) шарошек скалывают и раздавливают горную породу. Разрушенная горная порода удаляется сжатым воздухом, поступающим в скважину по пустотелым буровым штангам.

Бурение станками ударно-вращательного бурения основано на комбинированном способе разрушения породы, объединяющем основные достоинства ударного и вращательного воздействия на породу.



1 – мачта; 2– вращатель; 3 – буровой став; 4– машинное отделение; 5– передний цилиндр выравнивания станка; 6 – пылеподавляющая установка; 7 -гусеничные тележки

Рисунок 2 – Станок шарошечного бурения СБШ



1- пневмоударник; 2 – штанга; 3 – вращатель; 4 – плита; 5 – подающий механизм; 6– мачта; 7– гидроцилиндр подъема; 8 – двигатель

Рисунок 3 – Схема станка ударно-вращательного бурения

Отличительной особенностью этих станков является наличие погружного пневмоударника. Пневмоударнику 7 (рисунок3) через штангу 2 передается вращение от вращателя 3, установленного на плите 4. Подачу бурового става на забой и создание осевого усилия осуществляют с помощью подающего механизма 5. Вращатель перемещается по мачте 6, изменение угла наклона которой осуществляется гидроцилиндром 7. Станками

можно бурить вертикальные и наклонные скважины в породах с  $f < 18$  диаметром до 200 мм. Американская фирма «Интер-солл Рэнд» выпускает станки для бурения погружными пневмо-ударниками скважин диаметром до 850 мм.

Для управления описанным выше оборудованием и диагностики хода технологического процесса необходимо применение и современных информационных управляющих систем.

Одной из таких систем является «Диспетчер» – система класса MDC (Machine Data Collection), которая собирает данные о работе всех производственных объектов (оборудования, рабочих мест основных сотрудников, сервисных служб и т. д.) для эффективного управления производством.

«Диспетчер» собирает данные о действиях персонала и работе оборудования:

- сигналах электроавтоматики;
- показаниях датчиков положения скорости и прочих величин;
- значения рабочих переменных программ;
- замерах электроэнергетических параметров.

Совокупность этих данных создает картинку производственных процессов в динамике. Информация о производстве предоставляется пользователям в виде отчетов и графиков, удобных для анализа, их содержание и формат настраиваются под потребности и задачи каждого пользователя.

Функции системы «Диспетчер»:

- контроль загрузки станков;
- предотвращение внезапных сбоев и отказов в работе оборудования;
- контроль и классификация простоев оборудования;
- контроль энергоэффективности;
- оповещение ответственных работников о требующих внимания ситуациях на производстве;
- управление программами;
- вибродиагностика;
- контроль трудовой дисциплины персонала;
- создание единого информационного пространства и переход к цифровому производству.

Основные преимущества системы:

– многофункциональность: контроль оборудования; контроль персонала; автоматизированный сбор данных по основным показателям эффективности; контроль расхода инструмента, оснастки и т.д.;

– гибкость и универсальность: подходит для всех типов производства; подключается к любому оборудованию и рабочим местам; контролирует как автоматизированные, так и ручные операции;

– легкая интеграция: решения на базе 1С (С: УПП, 1С: ERP, 1С: MES, 1С: ТОИР и др.); SAP; «МАКС-ПЛЮС»; готовые интеграционные коннекторы и т.д.

Также очень важным в современных условиях является то, что в соответствии с Указом Президента РФ от 30.03.2022 «О мерах по обеспечению технологической независимости и безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации», данная система является продуктом отечественной разработки и может заменить многие зарубежные аналоги.

На рисунке 4 приведен интерфейс оператора буровой установки одного из предприятий ООО «Распадская Угольная Компания», на котором отображается состояние технологического оборудования в реальном времени.



Рисунок 4 – Интерфейс системы на примере предприятия ООО «Распадская Угольная Компания»

За счет применения современных информационных систем при проведении буровзрывных работ достигается повышение эффективности производства на 20%, на 20% снижение доли внеплановых простоев, на 10-30% увеличение фактической загрузки оборудования. Результатами эксплуатации АИС «Диспетчер» являются: контроль эффективности производства продукции; контроль качества производства продукции; контроль расхода производственных ресурсов; техническая диагностика оборудования; выявление скрытых производственных резервов; перераспределение инвестиций в результате оптимизации производственного процесса.

#### Библиографический список

1. <https://local.zyfra.com/>
2. [https://studopedia.net/3\\_49565\\_burovzrivnie-raboti-oborudovanie-tehnologiya-ispolzovanie.html](https://studopedia.net/3_49565_burovzrivnie-raboti-oborudovanie-tehnologiya-ispolzovanie.html)
3. <https://os1.ru/article/6612-burovoe-oborudovanie-dlya-otkrytyh-gornyh-rabot>

УДК 681.536.6

### СТАБИЛИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ГАЗОВОЙ СМЕСИ НА ОТОПЛЕНИЕ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ

Сазонова Г.А.

*ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»  
г. Новокузнецк, Россия, gsazonova53@icloud.com*

**Аннотация.** Цель работы – произвести расчеты, необходимые для перевода методической нагревательной печи с режима работы на трехкомпонентной газовой смеси на двухкомпонентную. Для этого потребовалось разработать методики расчета расходов газов и воздуха на печь, произвести расчет калометрической температуры полученной газовой смеси и обосновать необходимость использования калориметра на производстве.

**Ключевые слова:** нагревательные печи, нагрев металла, топливо, природный газ, калориметр.



**Abstract.** The purpose of the work is to make the calculations necessary to transfer the methodical heating furnace from the operating mode on a three-component gas mixture to a two-component one. To do this, it was necessary to develop methods for calculating the gas and air consumption for the furnace, calculate the calorimetric temperature of the resulting gas mixture and justify the need to use a calorimeter in production.

**Keywords:** heating furnaces, metal heating, fuel, natural gas, calorimeter.

Цель любой модернизации – экономия. Экономия ресурсов, времени и многого другого.

Модернизация металлургического производства – это улучшение качества продукта на выходе и получение прибыли. Нагревательная печь, рассматриваемая в данной статье, не смогла обеспечить должный уровень металла на выходе. При анализе работы и внешних факторов, влияющий на печь, был выявлен один существенный недостаток – нестабильность калорийности газовой смеси на отопление.

Перепады калорийности вызваны изменением соотношения газов в смеси, что в свою очередь обусловлено отклонениями в объемах поступающего в систему коксового газа из-за особенностей технологического процесса коксового цеха: высокой потребностью в коксовом газе цехов комбината и, соответственно, компенсацией при необходимости, недостающих объемов добавлением в смесь природного газа. При подобных компенсирующих регулировках нивелируются резкие перепады калорийности, но происходит изменение плотности газовой смеси.

Было принято решение смоделировать процесс нагрева зон печи и попробовать уйти с трехкомпонентной газовой смеси на двухкомпонентную (природно-доменную). Для этого необходимо было построить модель зависимости температуры от теплотворной способности газов.

Модель строилась посредством математического создания моделей, преимущество которого заключается в простоте и скорости создания, а также отсутствии необходимости проводить эксперименты на самом оборудовании.

Сперва стоит взглянуть на параметры, которые понадобятся для построения модели данной печи. Разумеется, одну из центральных ролей играет газовая смесь, которая используется при нагреве. В зависимости от типа газовой смеси, обозначим ее параметры как:

$$\left\{ \begin{array}{l} V_x - \text{объем потребляемой газовой смеси (ГС),} \\ S_x - \text{стабильность потребления ГС,} \\ A_x - \text{расходный коэффициент ГС,} \\ E_x - \text{экономическая эффективность ГС,} \\ P_x - \text{стоимость использования ГС} \end{array} \right. . \quad (1)$$

В данных параметрах индекс  $x$  обозначает один из типов газовой смеси – трехкомпонентную (ПГ + ДГ + КГ) или одну из двухкомпонентных (ПГ + ДГ, КГ + ДГ).

После этого рассмотрим потребление газовой смеси и воздуха в контексте заданной печи. Для этого введем следующие переменные:

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{x,\text{сварочная}} - \text{расход ГС в сварочной зоне,} \\ V_{x,\text{томильная}} - \text{расход ГС в томильной зоне,} \\ V_{\text{в,сварочная}} - \text{расход воздуха в сварочной зоне,} \\ V_{\text{в,томильная}} - \text{расход воздуха в томильной зоне,} \\ V_{\text{в,печь}} - \text{расход воздуха в печи,} \\ Q_x - \text{теплота сгорания газа} \end{array} \right. \quad (2)$$

где  $V$  –  $\text{нм}^3/\text{ч}$ ;  
 $Q$  –  $\text{ккал}/\text{м}^3$ .

Разумеется, стоит также упомянуть, что  $V_x = V_{x, \text{сварочная}} + V_{x, \text{томильная}} + V_{x, \text{печь}}$ . Кроме того, выше упомянутый  $Q$  (теплота сгорания) составляет от 7600 ккал/м<sup>3</sup> до 40.000 ккал/м<sup>3</sup> (действительно для природного газа, для смеси газов теплота сгорания рассчитывается по химическим формулам в зависимости от содержимого доменного или коксового газов).

После описания параметров расходных материалов, стоит рассмотреть и часть модели, отвечающую за само потребление газовой смеси и воздуха. Для этого сперва найдем  $V_x$ , томильная:

$$V_{x, \text{томильная}} = Q_x * K * \alpha_{тз}, \quad (3)$$

где  $K$  – расчетный коэффициент, данный в условии и равняющийся 0,0011145, а последняя переменная – коэффициент расхода воздуха в томильной зоне, равен 0,9. Вышеупомянутый расход смеси считается следующим образом:

$$V_x = V_{(x, \text{сварочная})} + V_{(x, \text{томильная})}. \quad (4)$$

Таким образом, получаем формулу расхода воздуха в сварочной зоне:

$$V_{\text{в,сварочная}} = V_x * Q_x * K * \alpha_{\text{вп}}, \quad (5)$$

где  $\alpha_{\text{вп}}$  – коэффициент расхода воздуха с учетом полного сжигания топлива в печи и избытка воздуха, равный 1,15. Имея все необходимые формулы, выведем текущее значение расхода топлива  $V_x$ :

$$V_x = V_{x, \text{тек}} * \sqrt{\frac{(P_{\text{изм}}+1)}{(P_{\text{расч}}+1)}}. \quad (6)$$

После этого проведем расчет полного объема потребляемого газа  $V_{x, \text{тек}}$

$$V_{x, \text{тек}} = (1,15 * 0,0011145 * V_{x, \text{св}} + 0,9 * 0,0011145 * V_{x, \text{tm}}) * Q_x, \quad (7)$$

где  $Q_x$  будет равен  $1,005 * V$  помещения (в м<sup>3</sup>) \* 353 / (273315 + разница температур) \* (разница температур).

Таким образом, общая формула будет выглядеть следующим образом:

$$V_x = (0,00128 * V_{x, \text{св}} * Q_{x, \text{св}} + 0,00100305 * V_{x, \text{tm}} * Q_{x, \text{tm}}), \quad (8)$$

где  $Q_{x, \text{св}}$  и  $Q_{x, \text{tm}}$  зависят от объема соответствующих помещений.

Далее был произведен расчет горения топлива и его калорийности по следующему составу исходных газов:

- доменный газ – 10,5 CO<sub>2</sub>, 28 CO, 0,3 CH<sub>4</sub>, 2,7 H<sub>2</sub>, 58,5 N<sub>2</sub>;
- природный газ – 98 CH<sub>4</sub>, 2 N<sub>2</sub>.

Для определения калориметрической температуры горения необходимо найти энтальпию продуктов сгорания

$$i_0 = t_{\text{ксп.с}} = \frac{Q_{\text{н.см}}^{\text{п}} + i_{\text{в}} V_{\text{в}}}{V_{\text{п.с}}} = 3785,2 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}. \quad (9)$$

Здесь  $i=602,05$  кДж/м<sup>3</sup> – энтальпия воздуха при  $i_{\text{в}}=450\text{C}$

При температуре  $t_{\text{к}}=2200\text{C}$  энтальпия продуктов сгорания равна

$$i_{2200} = 3707,2 \text{ кДж/м}^3.$$

При  $t''_k=2300\text{ C}$

$$i_{2300} = 3875,76 \text{ кДж/м}^3,$$

$$t_k = 200 + \frac{3785,16-3707,2}{3875-3707,2} 100 = 2246\text{C}.$$

Приняв пирометрический коэффициент равным  $\eta=0,75$ , находим действительную температуру горения топлива

$$t_{\text{дейс}} = 0,75 * 2246 = 1684,5.$$

Таким образом, мы можем сделать вывод о том, что для перехода от трехкомпонентной газовой смеси к двухкомпонентной нам необходимо использовать смесь из природного и доменного газа с калорийностью 3300, а не коксодоменную смесь из-за недостаточной калорийности и проблем с поставкой газа.

С помощью средства MS Excel построим графики зависимости стоимости газа от температуры в зоне печи. Однако, стоит учитывать суммарную калорийность газов, которую мы теоретически будем знать, используя калориметр.

Зная, что на методическую печь необходимо 136142,06 кВт тепла, определим расход топлива в зависимости от калорийности топлива:  $1\text{кВт}\cdot\text{ч} = 3600 \text{ кДж}$ .

По результатам расчетов получился следующий график

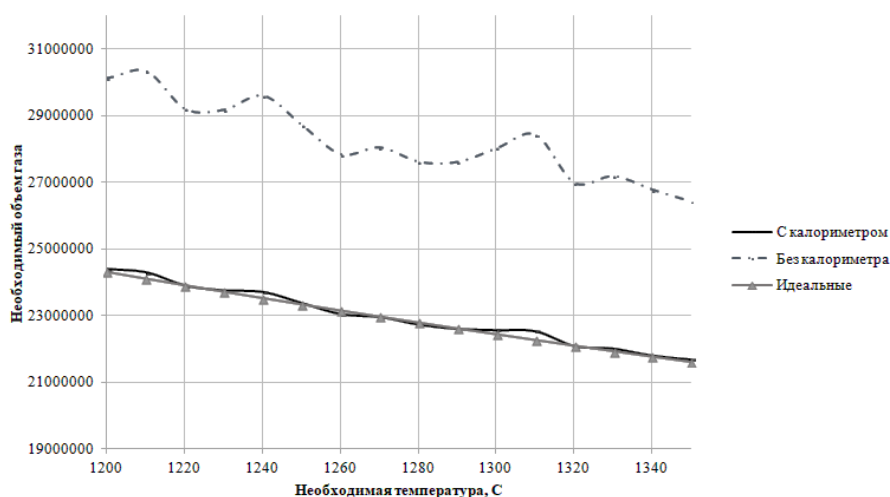


Рисунок 1 – Зависимость необходимого объема газа от температуры

Предложенные решения от технологического персонала предприятия по стабилизации параметров печи заключались либо в уходе от трехкомпонентной газовой смеси, либо устанавливать калориметр на общий газопровод цеха. Согласно представленному графику выше, можно удовлетворить оба этих предложения, да потребуются большие взносы на модернизацию оборудования и закуп нового. Однако, газовой смеси будет потребляться меньше, а не используемый коксовый газ будет покрывать другие потребности цехов без ущерба продукту.

Остается важный вопрос в доле используемого природного газа на отопление, согласно некоторым исследованиям увеличение доли газа ведет к уменьшению калометрической температуры. Найти какую-либо информацию об этом не удалось. Возможно это связано с присутствием относительно больших количеств углекислоты и азота, которые снижают его теплотворную способность. Необходимо будет более детально погрузиться в данный вопрос и изучить все аспекты.

## Библиографический список

1. Арсеев А. В. Сжигание природного газа [Текст]. - Москва: Metallurgizdat, 1963. - 407 с: ил.; 27 см.
2. Акмен Р.Г. Топливо, основы теории горения и топочные устройства. Текст лекций по курсу «Топливо и топочные устройства» для студентов заочного обучения специальностей 7.090510 «Теплоэнергетика» и 7.000008 «Энергетический менеджмент»: – Харьков: НТУ «ХПИ», 2005. – 68с. – На русск. яз.
3. Алпатов, Ю.Н. Математическое моделирование производственных процессов: Учебное пособие / Ю.Н. Алпатов. - СПб.: Лань, 2018. - 136 с.
4. Арутюнов В.А., Бухмиров В.В. Математическое моделирование тепловой работы промышленных печей М.: Metallurgiya. 1990. - 239 с.
5. Кривандин В.А, Белоусов В.В, Сборщиков Г.С. и др. Теплотехника металлургического производства. Т.2. Конструкция и работа печей: Учебное пособие для вузов. – М.: МИСИС, 2001. – 736 с.
6. Веников В.А. Теория подобия и моделирования Учебное пособие для вузов. 2-е изд., доп. и перераб., 1976. - 479 с.
7. Арвилл Леворсен Науки о Земле, т. 22. Изд-во Мир, 1970. 640 с. / Перевод с английского И.Т. Дубовского, М.Ш. Моделевского и Г.Ф. Ульмишека
8. Под редакцией и с предисловием д-ра геол.-мин. наук Н.Б. Вассоевича и д-ра геол.-мин. наук М.К. Калининко.

## ПРИКЛАДНЫЕ ЗАДАЧИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Спиридонов В.В., Прохоров И.М., Михайлова О.В.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»  
г. Новокузнецк, Россия

**Аннотация.** В современном мире существует множество задач, которые можно решать с помощью автоматизации, в том числе задачи в производстве. Эти задачи могут служить разным целям, например, для обучения стажеров и студентов, для последующей работе на конкретном производстве, для проверки профессиональной пригодности сотрудника, для периодического тестирования рабочих на предприятиях с опасными производствами, для имитации и тестов различных процессов на производствах. В данной обзорной статье будут более подробно раскрыты примеры использования моделей для различных производств и выбраны наиболее подходящие формы этих моделей.

**Ключевые слова:** автоматизация, автоматизированное производство, управление, моделирование, модель, жизненный цикл системы.

**Abstract.** In today's world, there are many tasks that can be solved by automation, including tasks in production. These tasks can serve different purposes, for example, for training trainees and students, for subsequent work in a particular production, for checking the professional aptitude of an employee, for periodic testing of workers at enterprises with hazardous production, for simulating and testing various processes at production facilities. This review article will disclose in more detail examples of the use of models for various industries and select the most appropriate forms of these models.

**Keywords:** automation, automated production, control, modeling, model, system life cycle.

Для того чтобы понимать где и как можно применять имитационные модели и имитационное моделирование сначала необходимо определить то такое имитационная модель. Имитационная модель – логико-математическое описание объекта, которое может быть использовано для экспериментирования на компьютере в целях проектирования, анализа и оценки функционирования объекта [1].

Имитационное моделирование (ситуационное моделирование) – метод, позволяющий строить модели, описывающие процессы так, как они проходили бы в действитель-

ности. Таковую модель можно «проиграть» во времени как для одного испытания, так и заданного их множества. При этом результаты будут определяться случайным характером процессов. По этим данным можно получить достаточно устойчивую статистику [1]/

К имитационному моделированию прибегают, когда:

- дорого или невозможно экспериментировать на реальном объекте;
- невозможно построить аналитическую модель: в системе есть время, причинные связи, последствие, нелинейности, стохастические (случайные) переменные;
- необходимо симитировать поведение системы во времени.

Цель имитационного моделирования состоит в воспроизведении поведения исследуемой системы на основе результатов анализа наиболее существенных взаимосвязей между её элементами или разработке симулятора исследуемой предметной области для проведения различных экспериментов.

Традиционно математические модели разделяют на аналитические и имитационные модели. Аналитические модели представляют собой уравнения или системы уравнений, записанные в виде алгебраических, интегральных, дифференциальных, конечно-разностных и иных соотношений и логических условий. Они записаны и решены в буквенном виде. Отсюда и происходит их название. Аналитическая модель, как правило, статическая. Аналитическое представление подходит лишь для очень простых и сильно идеализированных задач и объектов, которые, как правило, имеют мало общего с реальной (сложной) действительностью, но обладают высокой общностью [4].

В отличие от аналитических моделей имитационные можно использовать для более сложных объектов, описать поведение которых математическими уравнениями или невозможно, или слишком сложно.

Имитационные модели могут применяться на разных стадиях жизненного цикла системы.

Существуют различные модели жизненного цикла, как на изделия, так и на системы. В том числе информационные системы, программное обеспечение [5].

По ITIL модель жизненного цикла выглядит следующим образом [6]:

1. стратегия;
2. проектирование;
3. разработка;
4. внедрение;
5. эксплуатация;
6. процесс непрерывных улучшений.

Имитационные модели можно использовать на различных стадиях из представленных, например, на стадиях «стратегия», «проектирование» и «разработка» можно использовать имитационные модели для тестирования системы. Так при внедрении информационной системы на предприятии, можно использовать имитационную модель предприятия, для того, чтобы заранее выявить хотя бы часть рисков и возможных неполадок

На стадии внедрения имитационные модели так же могут применяться для постоянного мониторинга работы как самого предприятия, так и прототипа информационной системы. Так же сотрудников необходимо ознакомить с внедряемой информационной системой, для того чтобы они могли как можно скорее начать эффективно ее использовать. Этого можно достичь с помощью имитационной модели, представляющей из себя подобие тренажера.

На стадии эксплуатации можно реализовать имитационную модель в качестве тренажера, для таких целей как обучение новых сотрудников или для периодического тестирования уже нанятых.

На последнем этапе, во время непрерывных улучшений системы, имитационную модель, помимо функций тренажера, представленных на этапе эксплуатации, можно так

же использовать для постоянного мониторинга и диагностики информационных и автоматизированных систем.

Представленную выше информацию можно свести для наглядности в таблицу, в которой будут перечислены все этапы жизненного цикла системы, задачи, которые необходимо решать на данных этапах и какими имитационными моделями можно эти задачи решить.

Таблица 1 – Имитационные модели для различных этапов жизненного цикла системы

Номер	Стадия ЖЦ	Задачи	Имитационные модели
1	Стратегия	Необходимость сбора данных с объекта	Модель для тестирования и сбора данных
2	Проектирование	Создание плана работ по разработке и внедрению ИС	Модель для тестирования и сбора данных
3	Разработка	Создание ИС для предприятия	Модель для тестирования и сбора данных
4	Внедрение	Внедрение ИС на предприятие и обучение сотрудников использованию этой системы	1) Модель для тестирования и сбора данных 2) Модель-тренажер
5	Эксплуатация	Обучение новых сотрудников работе с системой и тестирование уже нанятых	1) Модель-тренажер 2) Аттестационная модель
6	Процесс непрерывных улучшений	Мониторинг и диагностика системы	1) Модель-тренажер 2) Аттестационная модель 3) Модель для тестирования и сбора данных

Таким образом, можем наблюдать, что имитационное моделирование может применяться как:

- модель для сбора данных и тестирования существующей системы;
- тренажер для аттестации старых сотрудников и обучения новых.

Применяться имитационные модели могут для объектов любого масштаба, как для маленьких предприятий, так и для крупных.

Например, в небольшом предприятии, при наборе человека на должность системного администратора можно проверить его компетентность, используя имитационную модель структурированной кабельной сети. Имитационная модель структурированной кабельной сети симулирует какую-либо неполадку, а соискатель на должность системного администратора должен выяснить какая неполадка произошла, исходя из данных, которые ему предоставляет модель.

В крупных же предприятиях подобного рода тренажеры можно использовать для новых сотрудников, в случае, когда после устройства на предприятии нет задач, которые могли бы позволить ему освоить специальность в полной мере в первые месяцы работы, в таком случае ему можно будет использовать тренажер, симулирующий производство, для изучения, сбора информации и освоения производства.

Исходя из вышеперечисленного, у имитационных моделей есть очень большой спектр возможных применений в производстве. Однако в качестве недостатка можно выделить то, что для введения подобных моделей на множестве производств необходимо

отработать технологию разработки данных моделей для различных типовых предприятий.

### Библиографический список

1. Муха В. С. Вычислительные методы и компьютерная алгебра: учеб.-метод. пособие. – 2-е изд., испр. и доп. – Минск: БГУИР, 2010.- 148 с.: ил, ISBN 978-985-488-522-3, УДК 519.6 (075.8), ББК 22.19я73, М92
2. Хемди А. Таха Глава 18. Имитационное моделирование // Введение в исследование операций = Operations Research: An Introduction. – 7-е изд. – М.: «Вильямс», 2007. – С. 697-737. – ISBN 0-13-032374-8
3. Строгалев В. П., Толкачева И. О. Имитационное моделирование. – МГТУ им. Баумана, 2008. – С. 697-737. – ISBN 978-5-7038-3021-5
4. Аналитические, статистические и имитационные модели: преимущества и недостатки [Электронный ресурс]: КиберЛенинка – режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiticheskie-statisticheskie-i-imitatsionnye-modeli-preimuschestva-i-nedostatki> (дата обращения: 06.11.2022).
5. Жизненный цикл системы [Электронный ресурс]: Википедия. Свободная энциклопедия. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Жизненный\\_цикл\\_системы](https://ru.wikipedia.org/wiki/Жизненный_цикл_системы) (дата обращения: 04.11.2022).
6. Основы управления жизненным циклом сервисов систем информатики и автоматизации (лучшие практики ITIL): учеб. пособие / В. В. Зимин, А. А. Ивушкин, С. М. Кулаков, К. А. Ивушкин. – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2013. – 500 с.
7. Новиков, А.М. Методология / А.М. Новиков, Д.А. Новиков. – М.: СИНТЕГ, 2007. – 668с.

УДК 004.415.25

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ГЕНЕРАЦИИ И ПРОВЕРКИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ STACK В MOODLE LMS

Шабля Ю.В., Кручинин Д.В.

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники  
г. Томск, Россия, [syv@fb.tusur.ru](mailto:syv@fb.tusur.ru)

**Аннотация.** В данной работе рассматривается проблема проверки закрепления полученных знаний и навыков по решению математических задач. Качественная реализация такой проверки требует вариативности и индивидуальности оценочных материалов, а также требует детальной и поэтапной проверки предоставленного обучающимся решения. Для автоматизации процессов по генерации и проверки решения математических задач предложено применение специализированной системы STACK, реализованной в системе управления обучением Moodle. Также представлен пример создания простого генератора задачи и фрагмент его программного кода.

**Ключевые слова:** математическая задача, генерация условия задачи, проверка ответа, электронное обучение, STACK, Moodle LMS.

**Abstract.** In this paper, the problem of checking knowledge and skills in solving mathematical tasks is considered. The qualitative implementation of such a check requires the variability and individuality of the assessment materials, and also requires a detailed step-by-step assessment of the solution provided by the students. To automate the processes of generating and checking the solutions of mathematical tasks, the use of the STACK system implemented in the Moodle learning management system is proposed. An example of creating a simple task generator and a fragment of its program code are also presented.

**Keywords:** math task, task generation, answer check, e-learning, STACK, Moodle LMS.

### Введение

Проверка закрепления полученных знаний и навыков является неотъемлемой частью образовательного процесса. В данной работе особое внимание отводится процессу

контроля успеваемости при обучении дисциплин, связанных с изучением и применением математических методов решения различных профессиональных задач. В таком случае появляется необходимость проверки закрепления полученных знаний и навыков с помощью решения математических задач.

Отметим, что сам процесс проверки навыков решения математических задач не должен сводиться к простому соотнесению полученного ответа от обучающегося с эталонным вариантом ответа, так как с практической точки зрения более важными являются способности найти адекватный метод решения профессиональной задачи и применить его соответствующим образом, чем способность точно выполнить все расчеты. Тогда возникает потребность детальной и поэтапной проверки предоставленного обучающимся решения, по результатам которой можно более точно оценить степень закрепления обучающимся полученных знаний и навыков, а также выразить итог в виде дифференцированной оценки.

Кроме того, на качество проверки навыков решения математических задач влияет степень вариативности и индивидуальности оценочных материалов. Так, например, если происходит контрольное мероприятие по проверке закрепления полученных знаний и навыков одновременно для целого потока обучающихся, и при этом количество уникальных задач меньше количества обучающихся, то возникает возможность совместного решения одной задачи несколькими обучающимися. Исключение такой возможности трудно реализуемо в рамках повседневного образовательного процесса, так как требует дополнительных ресурсов и мер организационного характера. Однако даже наличие уникального варианта задачи для каждого обучающегося не гарантирует отсутствия возникновения ситуации, когда у обучающегося имеется в наличии банк задач от предшествующего потока. Тогда возникает потребность разработки индивидуальных задач для каждого обучающегося, которые также должны регулярно обновляться.

Таким образом, для организации качественной проверки навыков решения математических задач преподавателю необходимо создавать большое количество индивидуальных задач для каждого обучающегося и проверять каждое из предоставленных обучающимся решений этих задач. Данная деятельность является трудоёмкой и увеличивается пропорционально количеству обучающихся. Следовательно, существует потребность в автоматизации указанных процессов по генерации и проверке решения математических задач.

#### **Автоматизация генерации и проверки через плагин STACK для Moodle LMS**

Система управления обучением Moodle [1] является свободным программным обеспечением, на котором базируется большая часть систем электронного обучения различных образовательных организаций. С точки зрения автоматизации процессов по генерации и проверки решения математических задач, предлагается воспользоваться возможностями плагина STACK для Moodle [2,3]. Плагин STACK (System for Teaching and Assessment using a Computer algebra Kernel) представляет собой систему для обучения и оценки с использованием ядра компьютерной алгебры. Используя систему STACK, появляется возможность создания вопросов, генерация формулировок и параметров которых сопровождается расчетами через вызов функций системы компьютерной алгебры Maxima [4,5]. При этом функционал данной системы компьютерной алгебры позволяет не только использовать базовые математические функции, но и реализовать более сложные задачи с помощью базовых конструкций программирования. Также имеется возможность обращения к функции рандомизации для определения значений случайных величин. Таким образом, можно создать полноценный автоматизированный генератор математических задач, который способен не только просто генерировать случайные значения параметров задач и подставлять их в заданный шаблон, но и вычислять такие параметры, проверять требуемые условия к сгенерированным параметрам, а также варьировать формулировку условия задачи в зависимости от сгенерированных параметров. С другой стороны, функционал системы компьютерной алгебры позволяет создавать решение и ответ



для сгенерированной задачи, в том числе это может быть и решение, полученное в ходе применения многошаговых алгоритмов с различного рода условными переходами.

В качестве простого примера рассмотрим один из созданных генераторов задач по дисциплине «Теория вероятностей». На рисунке 1 представлен блок системы STACK, посвященный вводу программных команд, которые впоследствии будут направлены в систему компьютерной алгебры Maxima для их вычисления.

#### Определения переменных вопроса ?

```
/*Генерируем параметры задачи*/  
n:rand_with_prohib(10000,20000,[]);  
t:rand_with_prohib(10,20,[]);  
k:rand([2,3,4]);  
kk:rand(5)+1;  
text:["не более","более","менее","не менее","хотя бы"];
```

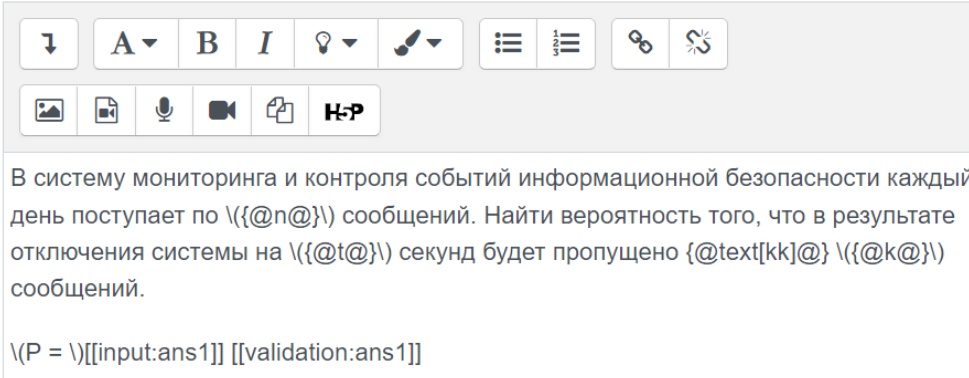
```
/*Считаем вероятность*/  
l:float(n/(3600*24));  
Puas(l,t,k):=((l*t)^k)/k!*%e^(-l*t);  
Answer:makelist(0,i,1,length(text));  
Answer[1]:sum(Puas(l,t,i),i,0,k);  
Answer[2]:1-Answer[1];  
Answer[3]:sum(Puas(l,t,i),i,0,k-1);  
Answer[4]:1-Answer[3];  
Answer[5]:Answer[4];  
Pans:Answer[kk];
```

Рисунок 1 – Пример определения параметров генерируемой задачи

Представленная на рисунке 1 программа по генерации задачи может быть поделена на два смысловых блока. В первом блоке генерируются случайные значения требуемых параметров на основе заданных преподавателем ограничений на данные параметры (параметры «n», «t» и «k»). В том числе здесь генерируются и параметры, отвечающие за вариативность формулировки генерируемой задачи (параметры «kk» и «text»). Во втором блоке производится вычисление требуемого в задаче ответа, при этом итоговая применяемая схема расчета будет зависеть от сгенерированной формулировки задачи. На рисунке 2 представлена запись формулировки генерируемой задачи, в формировании которой принимают участие генерируемые и вычисляемые параметры. Один из сгенерированных вариантов описанной выше задачи представлен на рисунке 3.

Система компьютерной алгебры Maxima является современным и актуальным математическим программным обеспечением, которое позволяет применять как символьные, так и численные методы вычисления, а также базовые конструкции программирования. Следовательно, применение такого мощного программного инструмента позволяет создавать автоматизированные генераторы математических задач различной степени сложности (от простых задач по аналогии с представленным примером и до сложных составных задач с применением различных математических методов и алгоритмов их решения).

Текст вопроса  



В систему мониторинга и контроля событий информационной безопасности каждый день поступает по  $\{n\}$  сообщений. Найти вероятность того, что в результате отключения системы на  $\{t\}$  секунд будет пропущено  $\{k\}$  сообщений.

$\{P = \}$

Рисунок 2 – Пример определения формулировки генерируемой задачи

В систему мониторинга и контроля событий информационной безопасности каждый день поступает по 18845 сообщений. Найти вероятность того, что в результате отключения системы на 13 секунд будет пропущено более 3 сообщений.

$P =$

Рисунок 3 – Пример варианта сгенерированной задачи

Кроме того, функционал системы STACK позволяет использовать возможности системы компьютерной алгебры Maxima для организации автоматизированной проверки введенного обучающимся ответа. При этом данная проверка может быть реализована не просто через сравнение ответа студента с эталонным ответом преподавателя, но и через дополнительную обработку введенного ответа с помощью проверки требуемых условий. Например, это может быть:

- проверка с учетом погрешности вычислений (актуально при проведении обучающимся целой серии расчетов с применением округления полученных промежуточных результатов);
- проверка эквивалентных вариантов ответа (актуально при наличии множества правильных вариантов ответа на один и тот же вопрос, в том числе, когда такое множество правильных вариантов ответа является бесконечным);
- проверка наличия типовых ошибок в реализуемой схеме вычислений (актуально при наличии у преподавателя информации о таких типовых ошибках, приводящих к неправильным ответам на задачи);
- и др.

Таким образом, можно реализовать сложную схему проверки введенного обучающимся ответа, которая на выходе вместо простой бинарной оценки «Верно/Неверно» будет выдавать дифференцированную оценку. В системе STACK такая схема проверки реализуется через древовидную структуру, где ответ студента проходит по узлам такого дерева, в каждом из которых осуществляется проверка определенного заданного условия и в зависимости от результатов этой проверки происходит начисление или списывание определенной доли баллов от общей итоговой оценки. Также в каждом таком узле дерева проверки имеется возможность вывода некоторого комментария (в том числе, программируемого комментария), который удобно применять в качестве выдаваемой обучающемуся обратной связи по результатам проверки его ответа. Если же необходимо получить дифференцированную оценку при проверке задач, которые являются сложными и объем-

ными с точки зрения процесса их решения, тогда можно разбить задачу на этапы и проверить ответ обучающегося на каждом из таких этапов.

### **Заключение**

Система STACK представляет собой мощный инструмент по автоматизации образовательного процесса с точки зрения генерации и проверки любых математических задач. Недостатком применения данной системы является требование к наличию у преподавателя соответствующих компетенций по работе с математическим программным обеспечением, а также при необходимости наличие компетенций по созданию программ на языке программирования системы компьютерной алгебры Maxima.

В качестве апробации, на основе применения системы STACK были разработаны генераторы математических задач с автоматизированной проверкой введенного ответа для следующего перечня базовых математических дисциплин высшего технического образования: математический анализ, линейная и векторная алгебра, аналитическая геометрия, теория вероятностей и математическая статистика, теория принятия решений. Использование электронных курсов с применением разработанных генераторов позволяет повысить качество обучения студентов за счет индивидуализации выполняемых работ, а также упрощает работу преподавателя по проверке больших объемов таких индивидуальных работ.

### **Библиографический список**

1. Moodle – Open-source learning platform [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://moodle.org/>, свободный (дата обращения: 01.11.2022).
2. Moodle plugins directory: STACK [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://moodle.org/plugins/qtype\\_stack](https://moodle.org/plugins/qtype_stack), свободный (дата обращения: 01.11.2022).
3. Lowe T., Sangwin C., Jones I. Getting started with STACK. – 2019. – 52 p. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://moodle.telt.unsw.edu.au/question/type/stack/doc/content/2019-STACK-Guide.pdf>, свободный (дата обращения: 01.11.2022).
4. Maxima, система компьютерной алгебры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://maxima.sourceforge.io/ru/index.html>, свободный (дата обращения: 01.11.2022).
5. Стахин Н.А. Основы работы с системой аналитических (символьных) вычислений Maxima: Учебное пособие. – Москва: 2008. – 86 с.

УДК 681.5

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО СТЕНДА ПОД УПРАВЛЕНИЕМ ОТЕЧЕСТВЕННЫМ ПЛК**

**Шикова А.А., Федосова Л.О., Золотов А.В., Лукоянов А.В.**

*Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева  
г. Нижний Новгород, Россия, shikova.anna29@yandex.ru*

**Аннотация.** Целью данной работы являлось переоснащение пневматического стенда современным ПЛК, а также разработка человеко-машинного интерфейса верхнего уровня системы автоматического управления. Данный интерфейс позволяет получить наглядное представление о работе пневматической системы и предоставляет возможность обучения студентов основам работы с системой в режимах ручного и автоматического управления. Следующим этапом разработки является масштабирование программного обеспечения сетевого интерфейса для управления и удаленного доступа к учебным стендам с технологическим оборудованием.

**Ключевые слова:** система автоматического управления, ПЛК, человеко-машинный интерфейс, SCADA-система, удаленное управление технологическим оборудованием, учебный стенд, пневмоавтоматика.

**Abstract.** *The purpose of this work was to re-equip the pneumatic stand with a modern PLC, as well as to develop a human-machine interface of the upper level of the automatic control system. This interface allows you to get a visual idea of the operation of the pneumatic system and provides an opportunity to teach students the basics of working with the system in manual and automatic control modes. The next stage of development is the scaling of the network interface software for management and remote access to training stands with technological equipment.*

**Keywords:** *automatic control system, PLC, human-machine interface, SCADA system, remote control of technological equipment, training stand, pneumatic automation.*

В связи с развитием технологий и цифровизацией производства происходит модернизация как технологических процессов, так и производственного оборудования. Однако организация современного производственного процесса невозможна без новых высококвалифицированных специалистов. Важную роль в учебном процессе подготовки кадров, кроме теории, должно занимать обучение практическим навыкам. Но так как специфика учебного процесса не всегда позволяет получать практический опыт, то главные задачи практико-ориентированного обучения помогут решить учебные стенды образовательных учреждений, которые должны соответствовать актуальному уровню развития технологий.

В учебном процессе на протяжении многих лет использовался пневматический стенд, позволяющий переносить легкие детали из различных материалов в заданные позиции в пределах рабочей зоны стенда, реализуя позиционирование деталей и раскладывание деталей из текущей позиции в позиции, заданные программой [1]. Данный стенд был оснащен промышленным логическим контроллером (ПЛК) PneuAlpha 2, функционал которого устарел и уже не отвечал современным требованиям к системам автоматического управления технологическим оборудованием [2].

Система управления данным пневматическим стендом нуждалась в переоснащении современным ПЛК, который имел бы запас входов и выходов для обработки сигналов дополнительных датчиков и исполнительных устройств в случае их введения в состав пневматического стенда. Также новый ПЛК должен был быть оснащен актуальной на данный момент средой программирования, в процессе работы с которой студенты могли бы приобрести навыки программирования ПЛК с помощью различных языков, предусмотренных стандартом МЭК 61131-3, а также получить возможность приобрести опыт работы с человеко-машинным интерфейсом и SCADA-системой.

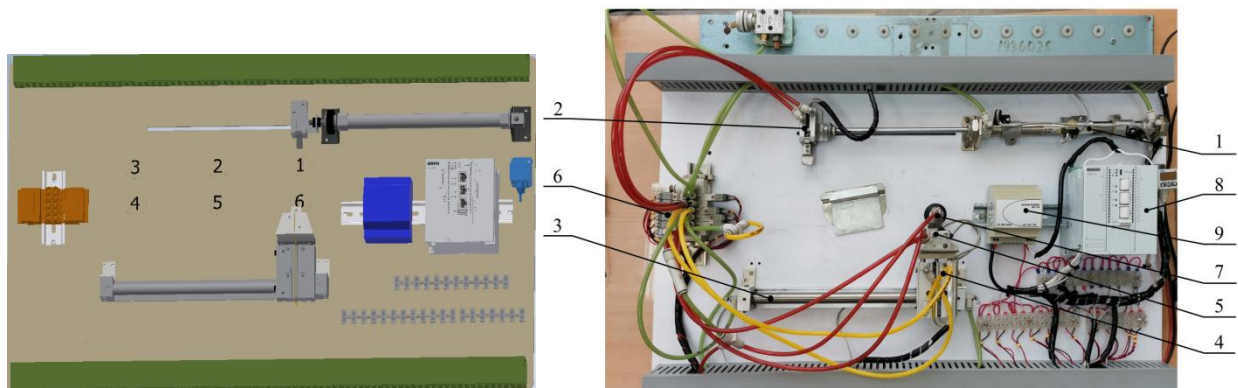
В рамках модернизации стенда были поставлены следующие задачи:

1. переоснащение стенда современным ПЛК;
2. создание трехмерной модели стенда в среде разработки Autodesk Inventor;
3. создание программного интерфейса с визуализацией работы пневматического стенда;
4. разработка ручного и автоматического режимов его работы;
5. создание режима доступа и настроек работы с системой.

Исходя из поставленных задач и анализируя существующие на рынке предложения, наиболее оптимальным решением являлось использование отечественного ПЛК компании ОВЕН модели 210-02-CS. Переоснащение было произведено в рамках действующей программы компании ОВЕН по предоставлению промышленного оборудования на безвозмездной основе российским ВУЗам при условии его интеграции в процесс обучения студентов [3].

Были осуществлены сборка и электромонтаж нового ПЛК на данный пневматический стенд.

Модернизированная пневматическая система представлена на рисунке 1. Она состоит из 5 пневматических цилиндров, которые управляются потоками сжатого воздуха от пневматических распределителей, объединенных в блок, клеммников, вакуумной присоски с эжектором, датчика давления и ПЛК ОВЕН с блоком питания [1].



а)

б)

а – общий вид трехмерной модели; б – реальная фотография  
 1–5 – пневматические цилиндры, 6 – блок пневматических распределителей, 7 – вакуумная присоска, 8 – ПЛК, 9 – блок питания

Рисунок 1 – Модернизированный пневматический стенд

Пневматический стенд реализует шесть позиций возможного перемещения деталей.

Структурная схема системы управления пневматического стенда представлена на рисунке 2.

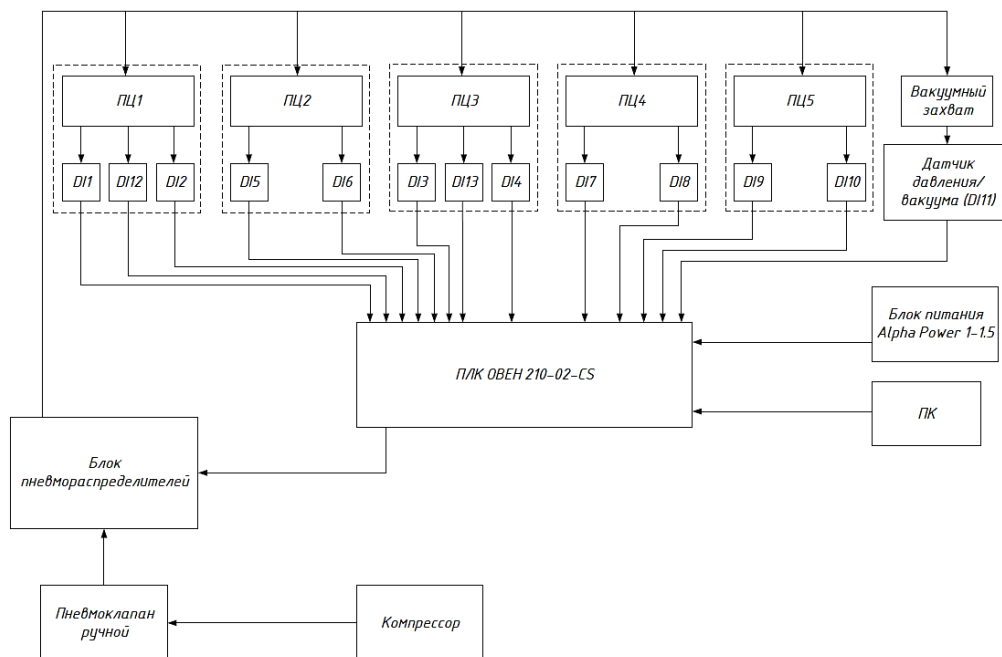


Рисунок 2 – Структурная схема пневматического стенда

Система управления рассматриваемого стенда является сложной структурой, состоящей из оборудования, используемого для непосредственной реализации технологического процесса, и программного обеспечения. Она делится на верхний и нижний уровень.

На нижнем уровне осуществляется сбор информации о ходе процесса перемещения детали и состоянии оборудования пневматической системы в режиме реального вре-

мени, происходит управление этим оборудованием, осуществляется контроль аварийных ситуаций и аварийный останов оборудования.

Получаемая контроллером информация передается на верхний уровень, где осуществляется визуализация, мониторинг и сбор данных работы пневматической системы.

Так как система управления пневматическим стендом сделана на базе ПЛК компании ОВЕН, то в качестве среды программирования и разработки интерфейса использовался инструментальный программный комплекс промышленной автоматизации CoDeSys, так как именно эта среда разработки рекомендована для программирования контроллеров ОВЕН.

Созданные сигналы, параметры, переменные нижнего уровня взаимодействуют с создаваемыми переменными верхнего уровня для реализации интерфейса. Визуализация может исполняться в системе программирования или как Web-визуализация, что позволяет контролировать процесс и управлять им через Интернет [4].

Созданный главный экран визуализации [5], показанный на рисунке 3, позволяет отображать работу пневматической системы в каждый конкретный момент времени, а именно состояние исполнительных элементов и датчиков.

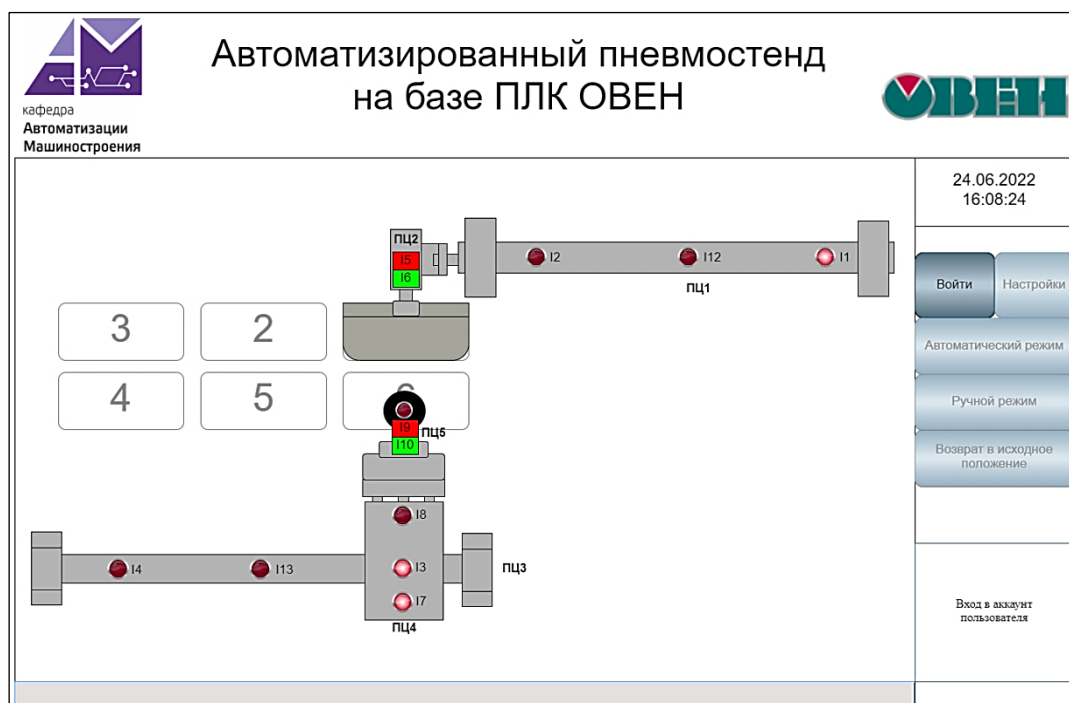


Рисунок 3 – Главный экран визуализации пневматического стенда

Перед началом работы в системе нужно войти в аккаунт. После этого становятся доступны функции управления системой.

Разработанный ручной режим управления дает возможность с помощью элементов управления (графических примитивов) приводить в движение исполнительные механизмы пневматического стенда.

Автоматический режим управления позволяет пользователю выбирать стартовую позицию нахождения перемещаемой пневматическим стендом детали, а затем последовательность позиций, по которым будет перемещаться деталь без управляющих сигналов со стороны пользователя.

Кроме того, меню настроек (рисунок 4), доступное только преподавателю, позволяет изменять пароль пользователя, настройки управления пользователями. Существует две группы пользователей: преподаватель, он же администратор, и студент.

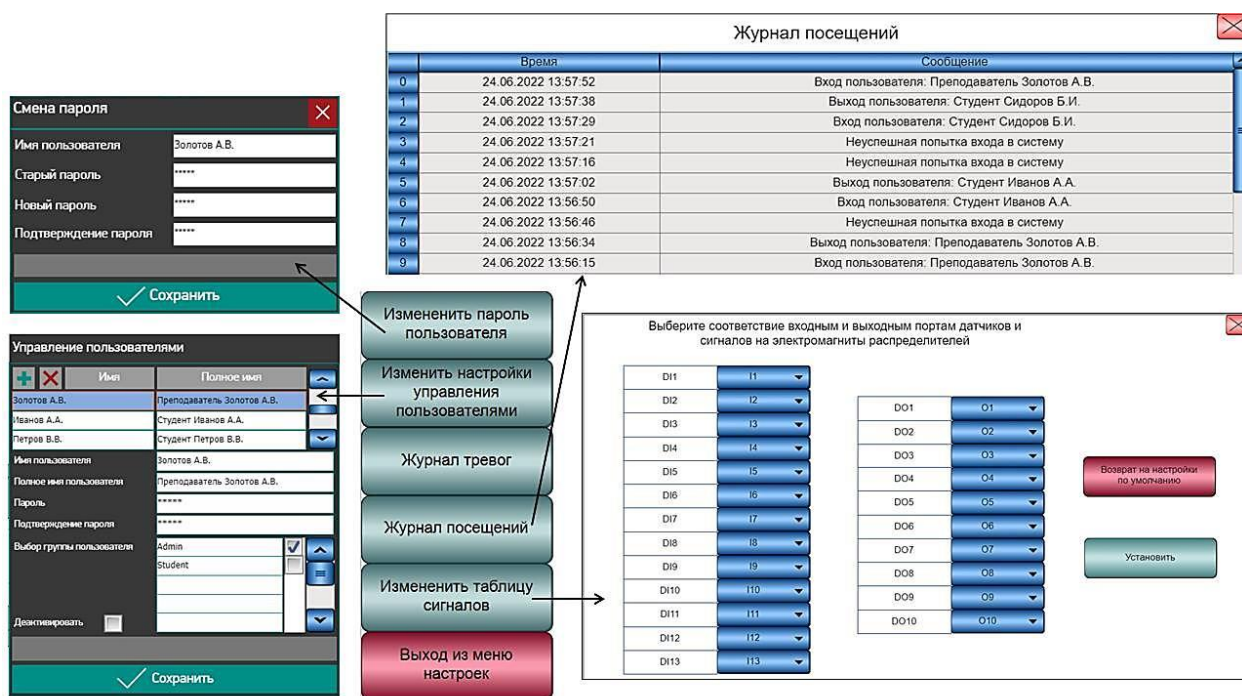


Рисунок 4 – Меню настроек визуализации пневматического стенда

Также имеется журнал посещений, который отображает время и произошедшее одно из возможных событий: вход пользователя под учетной записью, его выход, неудачный вход в систему (возможен в случае неверного логина или пароля) и изменение пароля.

Окно изменения таблицы сигналов, которая позволяет переопределять соответствие переменных нижнего и верхнего уровней, дает возможность в случае изменения подключения элементов быстро произвести перепрограммирование всей системы.

Журнал тревог, показанный на рисунке 5, отображает текущие и прошедшие тревоги, время их возникновения и подтверждения пользователем, а также сообщение о произошедшей ошибке. Данный журнал позволяет производить поиск неисправностей и предупреждать пользователя об их возникновении.

Данный лабораторный стенд уже внедрен в учебный процесс и используется для изучения принципов работы пневмоавтоматики, составления логических уравнений и циклограмм, программирования ПЛК, работы с человеко-машинным интерфейсом и SCADA-системами.

После пандемии актуальной задачей стала реализация возможности не только очного, но и дистанционного обучения студентов, в том числе проведение лабораторных работ на реальном технологическом оборудовании в удаленном режиме.

Это возможно осуществить с помощью создания программного обеспечения, позволяющего управлять лабораторными стендами удаленно, и камеры, транслирующей работу лабораторного оборудования. Студент заходит в аккаунт дистанционной системы. Преподаватель, находящийся в лаборатории, подтверждает вход студента для работы с оборудованием. Далее студент выполняет задание и видит результат работы стенда с помощью камеры, которая является обратной связью и транслирует работу лабораторного стенда. Данная система позволит отслеживать работу студентов, выполнение лабораторных работ, загружать отчеты с подробной информацией о работе каждого конкретного студента с определенным стендом и выставлять оценку проделанной работе.

Следующим этапом разработки является масштабирование программного обеспечения сетевого интерфейса: создание единого программного комплекса для управления и удаленного доступа к учебным стендам с технологическим оборудованием, который поз-

волит осуществить управление и удаленный доступ студентов к учебным стендам. Создание такого комплексного программного обеспечения даст возможность работать не только с данным стендом, но и с другими лабораторными стендами, работающими на базе ПЛК компании ОВЕН, которое сейчас повсеместно внедряется в ВУЗах, и ПЛК других производителей.

Дата и время последнего изменения состояния тревоги	Сообщение тревоги	Состояние тревоги	Дата и время появления тревоги	Дата и время подтверждения тревоги
Время	Сообщение	Состояние	Появление	Подтверждение
24.06.2022 14:30:19	Проверьте давление в системе или произведите настройку дросселя!	Активно	24.06.2022 14:30:19	
24.06.2022 14:29:49	Проверьте давление в системе или произведите настройку дросселя!	Нормально	24.06.2022 14:28:26	24.06.2022 14:29:49
19.06.2022 17:13:50	Проверьте давление в системе или произведите настройку дросселя!	Активно	19.06.2022 17:13:50	
19.06.2022 17:13:39	Неисправность в системе!	Активно	19.06.2022 17:13:39	
19.06.2022 17:11:04	Проверьте давление в системе или произведите настройку дросселя!	Активно	19.06.2022 17:11:04	
19.06.2022 15:16:37	Проверьте давление в системе или произведите настройку дросселя!	Активно	19.06.2022 15:16:37	
19.06.2022 15:16:07	Проверьте давление в системе или произведите настройку дросселя!	Нормально	19.06.2022 15:15:55	19.06.2022 15:16:07
19.06.2022 15:15:51	Проверьте давление в системе или произведите настройку дросселя!	Активно	19.06.2022 15:15:51	
19.06.2022 15:15:45	Неисправность в системе!	Активно	19.06.2022 15:15:45	
19.06.2022 15:15:43	Проверьте давление в системе или произведите настройку дросселя!	Активно	19.06.2022 15:15:43	
19.06.2022 14:47:11	Проверьте давление в системе или произведите настройку дросселя!	Активно	19.06.2022 14:47:11	
17.06.2022 20:04:21	Проверьте давление в системе или произведите настройку дросселя!	Активно	17.06.2022 20:04:21	
08.06.2022 13:48:09	Проверьте давление в системе или произведите настройку дросселя!	Активно	08.06.2022 13:48:09	
08.06.2022 13:12:38	Проверьте давление в системе или произведите настройку дросселя!	Активно	08.06.2022 13:12:38	
06.06.2022 18:46:50	Проверьте давление в системе или произведите настройку дросселя!	Нормально	06.06.2022 18:42:22	06.06.2022 18:46:50

Рисунок 5 – Журнал тревог визуализации пневматического стенда

Таким образом, в процессе модернизации пневматический стенд был оснащен современным оборудованием, с помощью которого можно изучать программирование современных ПЛК, принципы работы с человеко-машинным интерфейсом и SCADA-системой. Создающееся комплексное программное обеспечение будет позволять объединять различное оборудование в общую сетевую структуру, которая обеспечит возможность студентам удаленного доступа к стендам с технологическим оборудованием и автоматическое формирование отчетов по выполняемым лабораторным работам.

### Библиографический список

1. Вольнов О.И. Пневмостенд: методические указания по выполнению лабораторных работ по курсу «Проектирование и эксплуатация гидропневмосистем». В 3 ч. Ч.1 / О.И. Вольнов; Нижегородский государственный технический университет.– Нижний Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2010. – 11с.
2. Вольнов О.И. Пневмостенд: методические указания по выполнению лабораторных работ по курсу «Проектирование и эксплуатация гидропневмосистем». В 3 ч. Ч.2 / О.И. Вольнов; Нижегородский государственный технический университет.– Нижний Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2010. – 11с.
3. ОВЕН Оборудование для автоматизации : [сайт]. – Москва, 1991 - . - URL: <https://owen-prom.ru/katalog/programmruemye-ustroystva/programmruemye-logicheskie-kontrollery/> (дата обращения : 14.09.2021). – Текст : электронный.
4. Руководство пользователя по программированию ПЛК в CoDeSys 2.3. - Текст : электронный // ОВЕН Оборудование для автоматизации : [сайт]. – 2008. - URL: [https://owen.ru/product/codesys\\_v2](https://owen.ru/product/codesys_v2) (дата обращения : 20.02.2022).
5. ОВЕН CODESYS V3.5. Визуализация. Руководство пользователя. – Текст : электронный // ОВЕН Оборудование для автоматизации : [сайт]. – 2019. - URL: [https://owen.ru/product/codesys\\_v3](https://owen.ru/product/codesys_v3) (дата обращения : 5.12.2021).



**PARTICLE SWARM OPTIMIZATION METHOD SOFTWARE ALGORITHM FOR  
COMPLEX CONTROL SYSTEM DYNAMIC LINK APPROXIMATION WITH  
SECOND ORDER APERIODIC LINK**

**Kukolev A.A.<sup>1</sup>, Piotrovsky D.L.<sup>2</sup>, Podgorny S.A.<sup>1</sup>, Spitsyn V.V.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Kuban State Technological University  
Krasnodar, Russian Federation, sashanius@yandex.ru; saptich@rambler.ru*

<sup>2</sup>*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education  
«K.G.Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management»  
Moscow, Russian Federation, piotrovsky2005@yandex.ru*

<sup>3</sup>*Joint Stock Company «Black sea main oil pipelines»  
Russian Federation, spitsynvaleriy91@gmail.com*

**Abstract.** Nowadays due to constant network and computer- based technologies interaction there have appeared a trend to use the data processing methods for automatic optimal solution determination in accordance with pre-defined limits set, being contained by the problem in question. One of these methods is the suggested by Kennedy and Eberhart particle swarm optimization method. The core of the method was partially based on animal behavior exploration results. This article gives an overview of the particle swarm optimization method C# program code for the problem of complicated automatic control system link optimization with the 2nd order aperiodic link, being described with the known transfer chart. The article represents several Microsoft Visual Studio C# code aspects for the particle swarm optimization method implementation. Complicated link model is here known to be based on ship 2-stroke diesel main engine MAN B&W 6S90 ME-C with electronically controlled fuel injection. The required link description is described as well in accordance with idea of the required for basic algorithm understanding information. The article describes some modeling results and conclusions as well.

**Keywords:** data processing, optimization, particle swarm optimization, control, Visual C#, Microsoft Visual Studio.

### **Introduction**

Optimization and linear programming methods were started being developed in 1820, when Joseph Fourier suggested goal function adjacent points directional searching method, which has become linear programming problems general solution for the long period of time [1]. Later in 1947 the method was modified and adjusted by famous American scientist George Dantzig. Important contribution for the problem was made by Leonid Kantorovich who had together with Mark Gavurin developed potential method in 1949, being solution for the transport-type problems [2,3].

Further observations were made by L.Kantorovich, V.Nemchinov, V.Novozhilov, A.Lurier, A.Brudno and developed linear and non-linear programming mathematical theory. Generally, in connection with computers and digital media starting from 1955, there were published significant number of articles and materials both in non-linear programming field and in quadratic programming field (e.g. Barankin-Dorfmann methods) [4,5].

Up-to-date complex systems development problem is known to be the one, considering complex system links approximation and simplification. For instance, complex control object with large number of feedback links like marine ship propulsion plant main engine, which this article is intended to describe for.

### **Observation goal**

We have tried to state the main observation goal to be investigation and researching for the problem of complex dynamic link approximation with the help of second order aperiodic link and particle swarm optimization (PSO).

## Research materials and methods

Marine ship propulsion plant main engine fuel control unit transfer function calculation requires fuel control unit principle of operation description. Marine large-bore main engine MAN B&W xSxx ME-C can be used for this feature. Its fuel supply hydraulic control unit principle of operation can be described with the help of the figure 1 [6]. Later ME-C engine series are equipped with HCU (Hydraulic cylinder units), which consist of Fuel injection pump, exhaust valve actuator, hydraulic accumulator, cylinder lubricator, Fuel injection variable actuator, hydraulic distribution unit, pipelines, sensors etc.

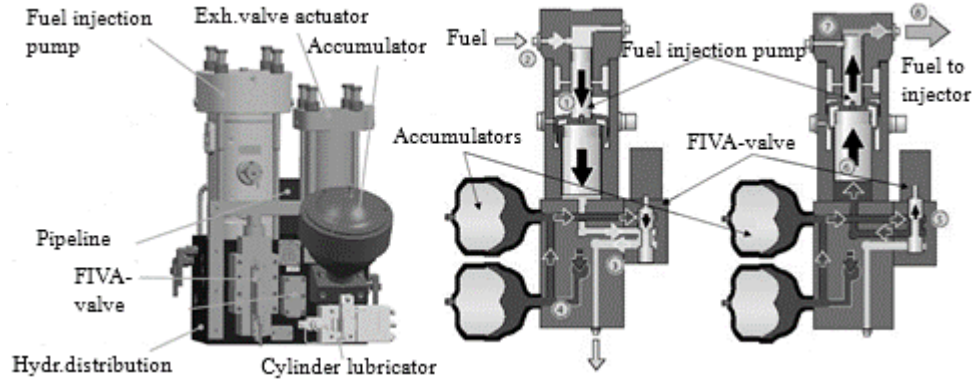


Figure 1 – MAN B&W 6S90 ME-C hydraulic control unit arrangement

Thus, in this case fuel supply process can be described with the help of the the list of mathematic equations, namely: electro-magnetic fuel valve link equation, hydraulic fuel valve link equation, hydraulic distribution unit equation, pipeline equation and fuel injection pump equation (figure 2).

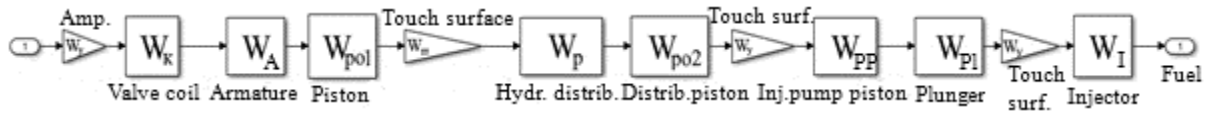


Figure 2 – FIVA-valve control link arrangement

Let's set equivalent complex link transfer function being equal to:

$$W_{fuel}(s) = \frac{521.2}{(0.1s+500)(5 \cdot 10^{-2}s^2+s+1.86)(0.2 \cdot 10^{-12}s+3.61 \cdot 10^{-6})(3.24s^2+55.56s+10^4)(1.8 \cdot 10^{-12}s+3 \cdot 10^{-7})(32s^2+14.1s+4 \cdot 10^6)(s+1)}$$

and set the calculation goal to be  $W_{fuel}(s)$  link approximation with the link:

$$W_{eqv}(s) = \frac{k_1}{k_2s^2+k_3s+k_4}$$

PSO algorithm is a computational method that optimizes the problem by iteratively trying to improve a candidate solution with regard to a given measure of quality. It solves a problem by having population of candidate solutions with the help of dubbed particles, moving around in search spaces according to simple mathematical formula. Each particle possesses its speed and coordinate features. These values are generally calculated with the help of the formulas [7]:

$$v_n(t+1) = \left( v_n(t) + c_1r_1(\vec{p}_n(t) - \vec{x}_n(t)) + c_2r_2(\vec{g}(t) - \vec{x}_n(t)) \right)$$

$$\vec{x}_n(t + 1) = (x_n(t) + v_n(t + 1)),$$

- where  $v_n(t + 1)$  – particle n speed value in time (t+1);  
 $v_n(t)$  – particle n speed value in time t;  
 $c_1 = const$  – coefficient;  
 $r_1 = const$  – random value, ranged from 0 to 1;  
 $\vec{p}_n(t)$  – vector value, describing the best particle position for the current moment of time;  
 $\vec{x}_n(t)$  – current particle position;  
 $\vec{g}(t)$  – any particle in swarm best position;  
 $\vec{x}_n(t + 1)$  – particle n speed value in time (t+1).

Current problem was solved with the help of Visual C# language-based application. The application main algorithm can be described with the help of figure 3. The very first step is calculation parameters definition by the operator. Among of them – number of calculation epochs, particles number, calculation medium size, maximum and minimum acceptable solution values.

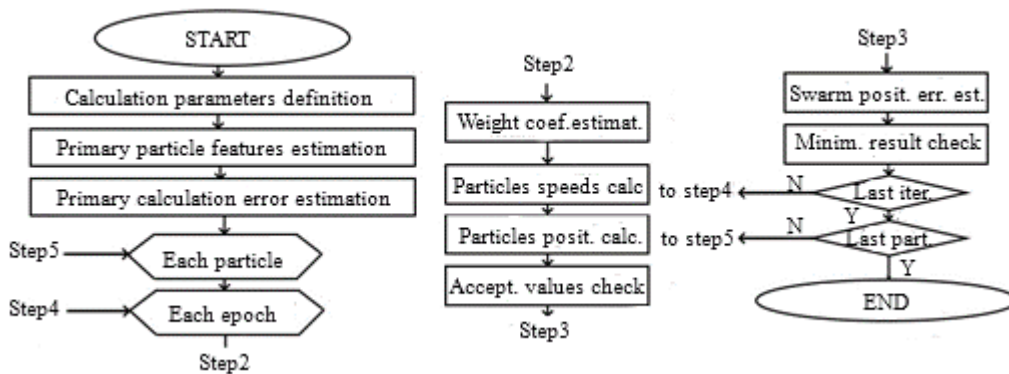


Figure 3 – PSO method designed program main algorithm

The first calculation step leads to current measured error assessment:

$$E = \prod_{t_0=0}^t E(y(t), z(t)),$$

where  $y(t)$  и  $z(t)$ - are time – dependent functions between obtained and goal values.

Application basic method, being used is the one, executing swarm initialization, description of its features, current swarm speed and position estimations with according errors assessments [8,9]:

```

1 private void button2_Click(object sender, EventArgs e)
2     {
3         Random ran = null;
4         ran = new Random(0);
5         try
6         {
7             Particle[] swarm = new Particle[numberParticles];
8             double bestGlobalFitness = double.MaxValue;
9             double minV = -1.0 * maxX;
10            double maxV = maxX;
11            for (int i = 0; i < swarm.Length; ++i) 30            {
12                double[] randomPosition = new double[Dim];
13                for (int j = 0; j < randomPosition.Length; ++j)
  
```

```

14         {
15             double lo = minX;
16             double hi = maxX;
17             randomPosition[j] = (hi - lo) * ran.NextDouble() +
lo;
18         }
19         double fitness = ObjectiveFunction(randomPosition);
20         double[] randomVelocity = new double[Dim];
21         for (int j = 0; j < randomVelocity.Length; ++j)
22         {
23             double lo = -1.0 * Math.Abs(maxX - minX);
24             double hi = Math.Abs(maxX - minX);
25             randomVelocity[j] = (hi - lo) * ran.NextDouble() +
lo;
26         }
27         swarm[i] = new Particle(randomPosition, fitness, randomVeloc-
ity, randomPosition, fitness);
28         if (swarm[i].fitness < bestGlobalFitness)
29         {
30             bestGlobalFitness = swarm[i].fitness;
31             swarm[i].position.CopyTo(bestGlobalPosition, 0);
32         }
33     }
34     double w = 0.729;
35     double c1 = 1.49445;
36     double c2 = 1.49445;
37     double r1, r2;
38     while (iteration < numberIterations)
39     {
40         ++iteration;
41         double[] newVelocity = new double[Dim];
42         double[] newPosition = new double[Dim];
43         double newFitness;
44         for (int i = 0; i < swarm.Length; ++i)
45         {
46             Particle currP = swarm[i];
47             for (int j = 0; j < currP.velocity.Length; ++j)
48             {
49                 r1 = ran.NextDouble();
50                 r2 = ran.NextDouble();
51                 newVelocity[j] = (w * currP.velocity[j]) +
52                     (c1 * r1 * (currP.bestPosition[j] -
currP.position[j])) +
53                     (c2 * r2 * (bestGlobalPosition[j] -
currP.position[j]));
54                 if (newVelocity[j] < minV)
55                     newVelocity[j] = minV;
56                 else if (newVelocity[j] > maxV)
57                     newVelocity[j] = maxV;
58             }
59             newVelocity.CopyTo(currP.velocity, 0);
60             for (int j = 0; j < currP.position.Length; ++j)
61             {
62                 newPosition[j] = currP.position[j] + newVeloc-
ity[j];

```

```

63         if (newPosition[j] < minX)
64             newPosition[j] = minX;
65         else if (newPosition[j] > maxX)
66             newPosition[j] = maxX;
67     }
68     newPosition.CopyTo(currP.position, 0);
69     newFitness = ObjectiveFunction(newPosition);
70     currP.fitness = newFitness;
71     if (newFitness < currP.bestFitness)
72     {
73         newPosition.CopyTo(currP.bestPosition, 0);
74         currP.bestFitness = newFitness;
75     }
76     if (newFitness < bestGlobalFitness)
77     {
78         newPosition.CopyTo(bestGlobalPosition, 0);
79         bestGlobalFitness = newFitness;
80     }
81     }
82     }
83     }
84     catch (Exception ex)
85     {
86     }
87 }

```

The cycle starts with random value assignment for the random value assignment for the variable `ran`, which is required for coefficients  $r_1$  and  $r_2$  assessment in the further particle speed assessment formula  $v_n(t + 1)$ . Row 5 executes `try` cycle, which performs all the particles parameters assessment within all the iterations before some average calculation error arises, being caught with the function `catch (Exception ex)`. Swarm parameters assessment is performed with the help of program row number 7, where variable `swarm` is estimated with the help of external class `Particle`. Row 13 command defines current particle position in the very moment of time. Row 19 command defines particle position error estimation within every modelling time iteration with the help of external method `ObjectiveFunction`:

```

static double ObjectiveFunction(double[] k_T_b)
{
    int k = 0;
    double[] cur_error = new double[101];
    double result = 1;
    for (int n = 0; n < cur_error.Length; ++n)
    {
        cur_error[n] = 1;
    }
    for (double i = 0.1; i < 10.1; i=i+.1)
    {
        cur_error[k] = (2.46 * Math.Pow(10, -15) * Math.Exp(-5 * Math.Pow(10, -3)) *
i + 7.68 * Math.Pow(10, -46) * Math.Exp(-1.81 * Math.Pow(10, 7)) - 1.62 *
Math.Pow(10, -27) * Math.Exp(-1.67 * Math.Pow(10, 5) * i) - 26.6 *
Math.Exp(-1 * i) + 12.9 + 13.7 * Math.Exp(-10 * i) * Math.Cosh(7.92 * i) +
13.8 * Math.Exp(-10 * i) * Math.Sinh(7.92 * i) - 7.11 * Math.Pow(10, -4) *
Math.Exp(-8.57 * i) * Math.Cos(54.9 * i) + 2.84 * Math.Pow(10, -3) *
Math.Exp(-8.57 * i) * Math.Sin(54.9 * i) - 8.92 * Math.Pow(10, -9) *
Math.Cos(354 * i) - 2.74 * Math.Pow(10, -7) * Math.Exp(-221 * i) *
Math.Sin(354 * i)) - (1 * (k_T_b[0] - k_T_b[0] * Math.Exp(k_T_b[1] * i) *

```

```

Math.Cos(k_T_b[2] * i) - 0.115 * Math.Exp(k_T_b[1] * i) * Math.Sin(k_T_b[2]
* i));
    k = k + 1;
    }
    for (int j = 0; j < cur_error.Length; ++j)
    {
        result = Math.Abs(result * cur_error[j]);
    }
    return result;
}

```

Row 21 cycle defines each particle speed array and creates particle swarm with the pre-defined parameters. Case if of the row 28 compares the obtained error value with the defined by the operator. Next program step initiates new  $c_1, c_2, r_1, r_2$  variables values and weight coefficient  $w$  value. Further cycles estimate new particles positions, speeds and general error values for the aim of catching its minimum value.

### Research results and discussion

The algorithm aim is known to be  $\alpha, \beta$  and  $\gamma$  coefficients estimation for the equivalent transfer function equation:

$$z(t) = \alpha - \alpha \cdot e^{\gamma t} \cdot \cos(\beta t) - 0.114 \cdot e^{\gamma t} \cdot \sin(\beta t),$$

Defined with the help of Fourier transform:

$$z(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} I(j\omega) \cdot e^{j\omega t} d\omega.$$

Function `ObjectiveFunction` takes into account only one argument -  $\alpha, \beta$  и  $\gamma$  variables values array `double[] k_T_b`. This array contains all the current solutions values for the required approximation problem. `For (double i = 0.1; i < 10.1; i=i+.1)` cycle executes current calculation error  $E$  estimation for the  $k$  iteration by difference assessment between the required and pre-defined link transitional function values and fills the `cur_error[k]` array. Variable `result` defines the final estimation error within all the epochs, sending the obtained value into main cycle `try`.

Program operation result is known to be 3D-medium swarm position point thus leading to approximation transfer function arrangement (figure 4):

$$W_{\text{ТОПЛ}}(s) = \frac{96.2 \cdot s + 85.8}{10 \cdot s^2 + 16 \cdot s + 6.6},$$

with the according time equation:

$$z(t) = 12,9 - 12,9 \cdot e^{0,12t} \cdot \cos(-0,8t) - 0.114 \cdot e^{0,12t} \cdot \sin(-0,8t).$$

### Conclusion and results

The observed structure is intended for complex links approximation and confirms the opportunity of lower grade approximation links execution for the aims of control systems simplification. However, this method tends to modification. It is necessary to stress here, that there is always some possibility of non-genuine minimum value obtaining, which can lead to improper results. Besides, for the described example the obtained structure does not correctly explain the beginning of the transient process. However, it should be noted, that we have used here 3D solution medium research with the constant coefficient value -0.114. That is, why further algorithm modification is required for the aim of error assessment minimizing.

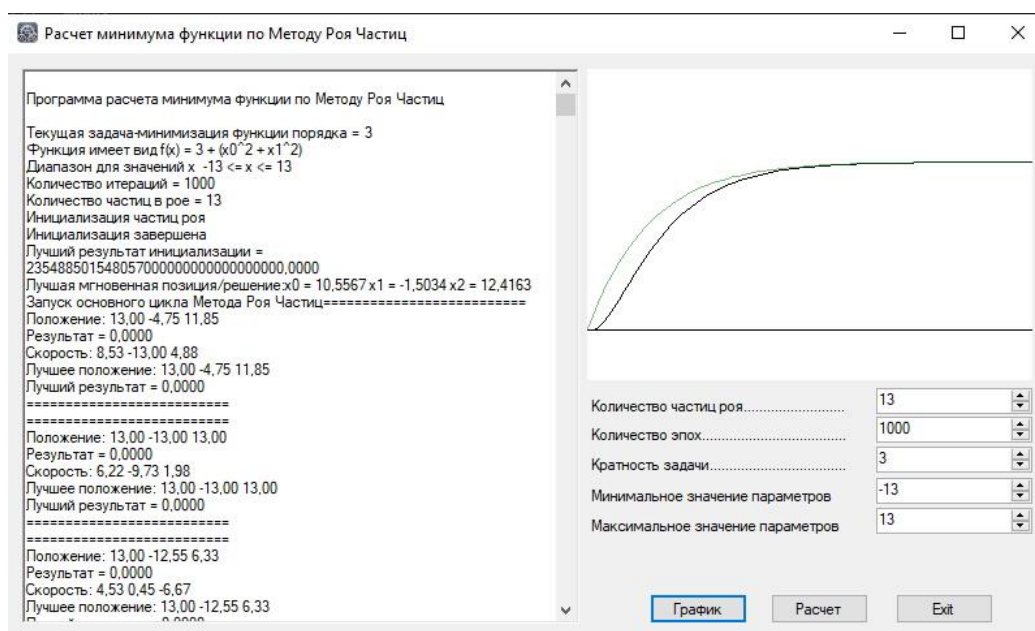


Figure 4 – Designed software interface

## References

1. Хемди А. Таха. Глава 3. Симплекс-метод . М.: «Вильямс», 2007. 912 с.
2. John Von Neumann The computer and the brain.: The Silliman Memorial Lectures Series, 2012. 136 с.
3. Канторович Л. В. Математические методы организации планирования производства // Издание Ленинградского государственного университета. М: Ленинград, 1939. 760 с.
4. Гальперин В. М. Математическое, или «линейное», программирование: нематематическое представление // Вехи экономической мысли. Т. 2. Теория фирмы / Под ред. В. М. Гальперина. СПб.: Экономическая школа, 2000. 534 с.
5. Grechuk V., Molyboha A., Zabarankin M. Mean-deviation analysis in theory of choice // Risk Analysis: An International Journal, 2012. Т32. №8. С.1277-1292.
6. Дайнего Ю.Г. Эксплуатация судовых энергетических установок, механизмов и систем. Практические советы и рекомендации М.: «Моркнига», 2018. 340 с.
7. Xinchao, Z. A perturbed particle swarm algorithm for numerical optimization // Applied Soft Computing. – 2010. Т. 10, № 1. С. 119–124.
8. Маккаффри Д. Метод роя частиц//MSDN Magazine Issues-Artificial intelligence.2011 №8, URL: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/archive/msdn-magazine/2011/august/artificial-intelligence-particle-swarm-optimization> (дата обращения 01.02.2021)
9. Пиотровский Д.Л., Подгорный С.А., Куколев А.А. Программное описание алгоритма работы ПИД- регулятора на языке С# для применения в замкнутой системе автоматического управления. Сборник научных трудов НГТУ.-2020.-№ 1-2(97).-стр.40-54.

## СЕНТИМЕНТ-АНАЛИЗ: КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕКСТОВ ПО ЭМОЦИОНАЛЬНОЙ ОКРАСКЕ

Билецкая Д.А., Дворянчиков М.В.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»

г. Новокузнецк, Россия, dariabiletskay@gmail.com

**Аннотация.** В данной работе рассматриваются понятие анализа тональности текста (сентимент-анализа) и основные методы определения тональности. Актуальность темы подтверждается примерами, которые описаны в статье. В ходе работы программы, что была написана для проверки методов, был отмечен один из недостатков – неверная эмоциональная оценка. В предложениях, где присутствовала негативная окраска, программа определяла их, как позитивные. Это обусловлено тем, что данный алгоритм дает характеристику каждому слову, но неточно учитывает контекст. В статье также описан принцип работы используемой программы.

**Ключевые слова:** анализ тональности текста, контент анализ, компьютерная лингвистика, тональность текста, классификация текста.

**Abstract.** This paper discusses the concept of text sentiment analysis (sentiment analysis) and the main methods for determining sentiment. The relevance of the topic is confirmed by the examples described in the article. In the course of the program, which was written to test methods, one of the shortcomings was noted - an incorrect emotional assessment. In sentences with a negative connotation, the program identified them as positive. This is due to the fact that this algorithm characterizes each word, but does not accurately take into account the context. The article also describes the principle of operation of the program used.

**Keywords:** text sentiment analysis, content analysis, computational linguistics, text sentiment, text classification.

Согласно статистическим отчетам об использовании цифровых технологий в мире от аналитической платформы Data Reportal за второй квартал 2022 года 59% населения планеты являются активными пользователями социальных медиа в интернете. За 12 предшествующих месяцев количество таких пользователей выросло на 227 миллионов [1].

Ежесекундно генерируется огромное количество информации, в том числе текстовой, из которой можно извлекать полезные знания. Обработать собранные массивы данных вручную становится слишком трудозатратно и неэффективно. Для этих целей применяются методы компьютерной лингвистики, одним из классов которых является анализ тональности текстов.

Анализ тональности текста – это класс методов контент-анализа в компьютерной лингвистике. Сентимент-анализ позволяет определять эмоциональную оценку авторов по отношению к объектам, речь о которых идет в тексте деля их на позитивную, негативную и нейтральную.

Применение сентимент-анализа информационных потоков особо важно для систем мониторинга и аналитических систем, в которых необходимо оценивать характер и степень эмоционального отношения клиентов к товару, услуге или компании в целом.

Так В.Х. Смирнов в своей работе [2] рассматривает применение сентимент-анализа для построения рекомендательной системы по выбору парфюмерной продукции. Отзывы покупателей были проанализированы и разделены на положительные, нейтральные и отрицательные. Первые две характеристики были объединены в одну строку, все отрицательные отзывы – в другую. Благодаря этому потенциальный покупатель проинформирован о товаре и видит общую оценку от других пользователей, что упрощает выбор продукции.

Анализ тональности текста также используется для классификации комментариев клиентов банка [3]. Анализ негативных комментариев позволяет выявить, чем чаще всего недовольны пользователи и, на основе этого, банк сможет оценить степень удовлетворенности клиентов услугами, выявить слабые места и свести их к минимуму.



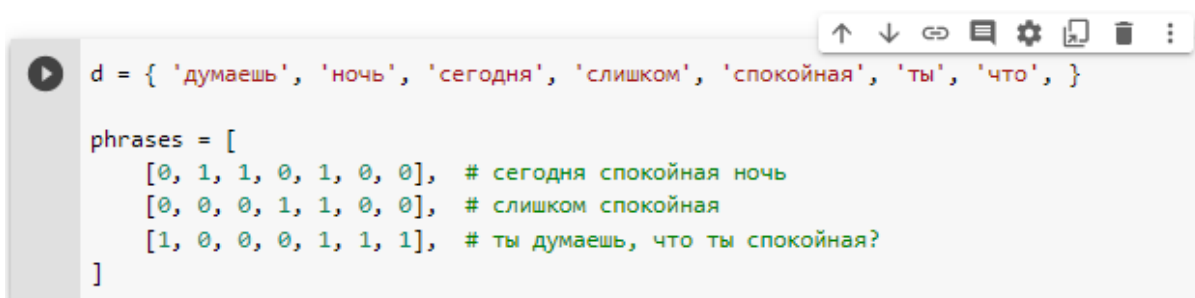
Существуют два основных подхода к обработке текстов: ручной и автоматизированный.

При ручном подходе анализ выполняется людьми, что предполагает исключения большинства ошибок, но, ввиду человеческого фактора, может приводить к различным погрешностям. Человек не предназначен для подобной монотонной работы. Достоинствами же автоматизированного подхода являются быстрота выполнения и сведение возможных ошибок к минимуму. Основным недостатком же является сложность реализации хорошего алгоритма, отражающего все интересующие особенности исследуемых данных.

Для того, чтобы программа начала анализировать текст его необходимо избавить от символов, которые не содержат полезной для модели информации. (Data cleaning). При «очистке» текста из исходных данных удаляются особые знаки, пунктуация, тэги и т.п. После удаления шума происходит предварительная обработка данных (Preprocessing of Data). Все символы текста переводятся в нижний регистр и далее происходит процесс токенизации, разбиение на текстовые единицы [4]. Для лучшего анализа текста необходимо удалить стоп-слова. Т.е. слова, что чаще всего используются в речи и не вносят какой-либо дополнительной информации. К ним относятся местоимения, вводные конструкции, междометия и т.д. Можно использовать уже готовые базы данных, где содержатся стоп-слова. Оставшиеся слова преобразуются в свою начальную форму. Если нужно сохранить определенную последовательность, то используются N-граммы. N-граммы – это комбинации из нескольких слов, использующихся вместе.

Поскольку компьютеры хорошо обрабатывают числовые данные, после предварительной обработки текст представляется в числовом виде для дальнейшего использования его в алгоритмах. Данный процесс называется векторизацией.

Существует множество методов векторизации. Один из самых простых – Bag of words (BOW). Задача BOW – создать словарь уникальных  $d$  слов в корпусе на основе токенов и дальнейшее кодирование фраз по словарю (рисунок 1).



```
d = { 'думаешь', 'ночь', 'сегодня', 'слишком', 'спокойная', 'ты', 'что', }

phrases = [
    [0, 1, 1, 0, 1, 0, 0], # сегодня спокойная ночь
    [0, 0, 0, 1, 1, 0, 0], # слишком спокойная
    [1, 0, 0, 0, 1, 1, 1], # ты думаешь, что ты спокойная?
]
```

Рисунок 1 – Векторизация Bag of Words

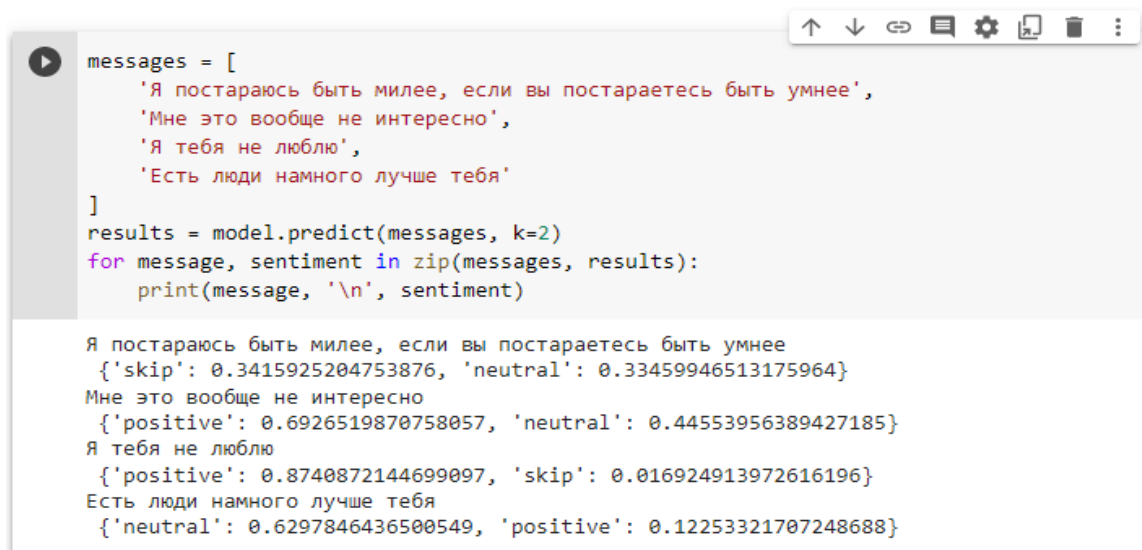
Токены кодируются двумя значениями (0 или 1) в зависимости от присутствия соответствующего слова в словаре. Таким образом теперь можно работать с текстом, как с обычными бинарными векторами. Данный метод не учитывает важность и количество повторений токенов.

С использованием библиотеки `dostoevsky` для нейролингвистического анализа написана программа на основе размеченного набора данных `RuSentiment`, собранного из социальной сети Вконтакте [5].

Программа принимает на входе набор каких-либо фраз и на выходе, возвращается характеристика данных выражений: `negative` (негативный характер), `positive` (позитивный характер), `neutral`, (без обозначения настроений), `speech` (шаблонные приветствия, сообщения, не отражающие реальное настроение) или `skip` (для неопределенных случаев).

В большинстве случаев модель машинного обучения показывает хорошие результаты. Однако некоторым предложениям возвращается неверная характеристика.

На рисунке 2 представлены несколько предложений, которым модель дала неверную эмоциональную оценку.



```
messages = [
    'Я постараюсь быть милее, если вы постараетесь быть умнее',
    'Мне это вообще не интересно',
    'Я тебя не люблю',
    'Есть люди намного лучше тебя'
]
results = model.predict(messages, k=2)
for message, sentiment in zip(messages, results):
    print(message, '\n', sentiment)

Я постараюсь быть милее, если вы постараетесь быть умнее
{'skip': 0.3415925204753876, 'neutral': 0.33459946513175964}
Мне это вообще не интересно
{'positive': 0.6926519870758057, 'neutral': 0.44553956389427185}
Я тебя не люблю
{'positive': 0.8740872144699097, 'skip': 0.016924913972616196}
Есть люди намного лучше тебя
{'neutral': 0.6297846436500549, 'positive': 0.12253321707248688}
```

Рисунок 2 – Примеры неверно распознанных предложений

Так, например, выражения «Я постараюсь быть милее, если вы постараетесь быть умнее», «Есть люди намного лучше тебя» несут ярко выраженную негативную окраску, но программа не смогла определить тональность.

Востребованность в sentiment-анализе с каждым годом растет, и он становится одним из самых перспективных направлений компьютерной лингвистики. Но из-за неверного анализа эмоциональной окраски некоторых частей текста корректность данного класса методов все еще ставится под вопросом.

Таким образом, в статье рассмотрены методы обработки текста и были выявлены недочеты в их работе. При дальнейшей проработке данной темы планируется углубиться в развитие анализа тональности текста и рассмотреть предположительные варианты минимизации данных ошибок.

### Библиографический список

1. Digital 2022: July Global Statshot Report [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://datareportal.com/reports/digital-2022-july-global-statshot> – Дата доступа: 20.10.2022.
2. Смирнов В. Х. Применение sentiment-анализа и анализа семантической близости для построения рекомендательной системы по выбору парфюмерной продукции / В. Х. Смирнов, А. В. Аникин // Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона», 2022.
3. Мазилина Е.П. Применение sentiment-анализа для классификации интернет-комментариев клиентов банка / Е.П. Мазилина В.Н. Тимохин // Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона», 2022.
4. Иванова И. В. Использование Python для токенизации текста при sentiment-анализе / И. В. Иванова, К. С. Пальмина // Научные исследования в современном мире. Теория и практика : Сборник избранных статей Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, СПб., 10.05.21. – С. 83-88.
5. RuSentiment: An enriched sentiment analysis dataset for social media in Russian / A. Rogers, A. Romanov, A. Rumshisky [et al.] // COLING 2018 - 27th International Conference on Computational Linguistics, Proceedings : 27, Santa Fe, NM, 20–26 августа 2018 года. – Santa Fe, NM, 2018. – P. 755-763.

## РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ONLINE - СИСТЕМЫ КОНСУЛЬТИРОВАНИЯ НА БАЗЕ ЭЛЕКТРОННОГО МЕССЕНДЖЕРА TELEGRAM

Таскабулов Г.Р., Белый А.М.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»  
г. Новокузнецк, Россия,

***Аннотация.** Данная работа посвящена разработке автоматизированной онлайн системы консультирования на базе электронного мессенджера telegram. Представленная система осуществляет процесс сбора, обработка и выдачи данных. Разработанный программный продукт позволяет создавать сценарии взаимодействия пользователя с системой консультирования.*

***Ключевые слова:** система консультирования, API, telegram, JSON, структура данных.*

***Abstract.** This work is devoted to the development of an automated online counseling system based on a messenger telegram. The presented system carries out the process of collecting, processing and issuing data. The developed software product allows you to create scenarios for user interaction with the counseling system.*

***Keywords:** counseling system, API, telegram, JSON, data structure.*

### **Введение**

Текущая тенденция автоматизации труда сотрудников образовательных и иных организаций диктует актуальность данной темы. Автоматизированные информационные системы стремительным темпом интегрируются во все сферы жизни общества. Сейчас все больше учебных организаций имеют свои собственные системы консультирования на базе различных мессенджеров, таких как telegram, вконтакте, ведь наличие данной системы на базе учебной организации дает преимущество среди остальных организаций при уровне взаимодействия с потребителями. У заинтересованного человека повышается скорость взаимодействия с публичной информацией о данной организации.

Использование электронного мессенджера telegram обусловлено его популярностью и удобством использования как для пользователя, так и для разработчика, что позволяет повысить уровень взаимодействия с информацией пользователю.

Конечными пользователями разработанной информационной онлайн системы являются – руководство данной организации, ее сотрудники и люди, не относящиеся к организации.

### **Требования к АОС**

Разрабатываемая автоматизированная онлайн система (далее АОС) должна являться информационной системой.

Информационная система должна следовать следующим требованиям:

- возможность ввода данных, обработки и их надежного хранения;
- АОС должна обладать защитой от несанкционированного доступа третьих лиц;
- АОС должна иметь собственную структуру данных для ее использования внутри системы;
- обработка данных должна производиться комплексом алгоритмов, заложенных в систему;
- АОС должна обладать многоуровневой архитектурой в сочетании с сервис-ориентированной архитектурой (SOA);
- в многоуровневой архитектуре «слой представления» должен иметь лаконичный и современный дизайн;
- «слой бизнес-логики» должен быть гибким к любым изменениям в системе и не влиять на остальные компоненты каркасом;
- «слой передачи данных» должен быть защищен от вмешательства извне;
- АОС должна иметь глубокое логирование.

## Описание разработанной информационной системы

На основании требований, изложенных выше, была разработана структура АОС представленная на рисунке 1.

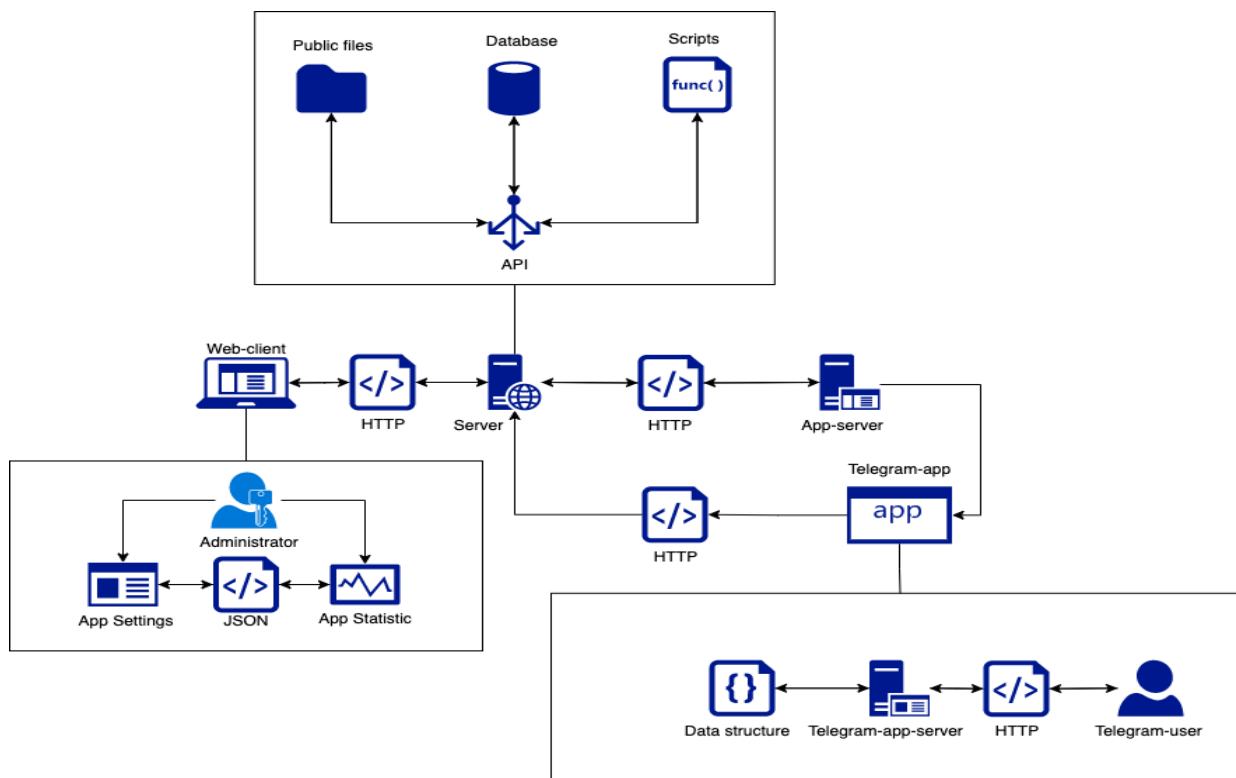


Рисунок 1 – Структура АОС

Для работоспособности АОС разработана структура данных на основании формата данных JSON, называемой фреймом, структура представлена на рисунке 2.

Структура данных сформирована на основании документации telegram [1]. В структуре представлены все основные типы сообщений, их модификации и настройки.

Разработанная логическая модель базы данных (далее ERD) рассматриваемой предметной области предпочтительнее подходит под документно-ориентированные базы данных, которые называют бесхемные или неструктурированные (MongoDB, Cassandra) [2], однако данная модель аналогично подходит и под реляционные базы данных с поддержкой типа данных JSON и JSONB (PostgreSQL, MySQL). Логическая модель базы данных представлена на рисунке 3.

Веб-интерфейс клиентской части для администратора представлен на рисунке 4.

Интерфейс реализован в соответствии с требованиями. В интерфейсе присутствует форма для авторизации администратора, форма для telegram token [3]. Для создания, редактирования и удаления фреймов используется вкладка «Frames», при редактировании фрейма администратор видит форму редактирования с параметрами, которые соответствуют выбранному типу фрейма. Интерфейс позволяет просмотреть статистику, которая формируется за счет глубокого логирования информационной системы.

Сценарии получения расписания занятий, получения значения текущей недели, получения расписания консультации преподавателя и тестовый сценарий отправки видеосообщений пользователю представлены на рисунках 5-6.

Сценарии получения расписания занятий и расписания консультаций реализованы непосредственно внутри системы и используются при помощи параметра фрейма «stored\_frame\_id», в котором хранится идентификатор встроенной функции, вызываемой в начале выполнения каждого сценария.

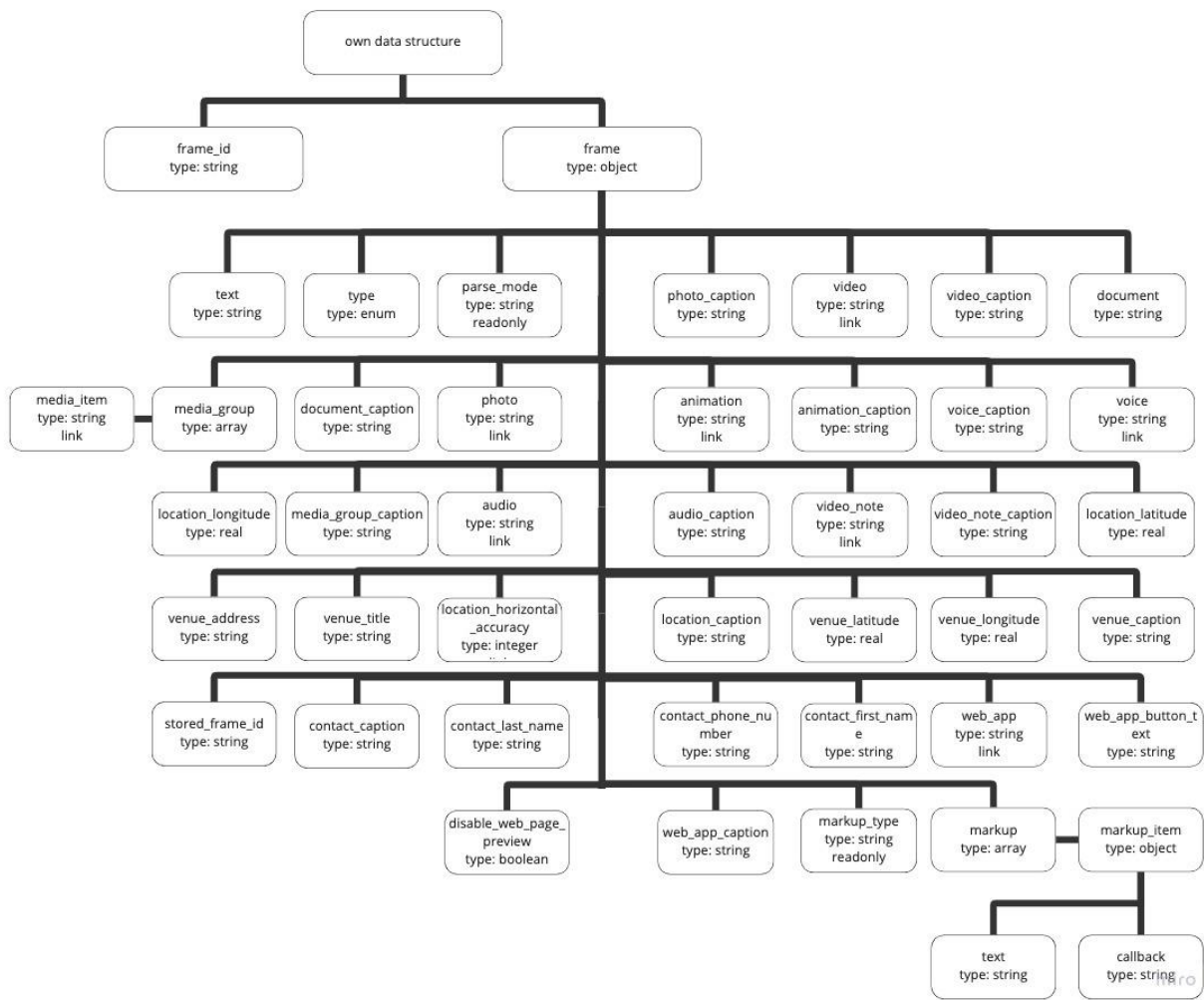


Рисунок 2 – JSON структура фрейма

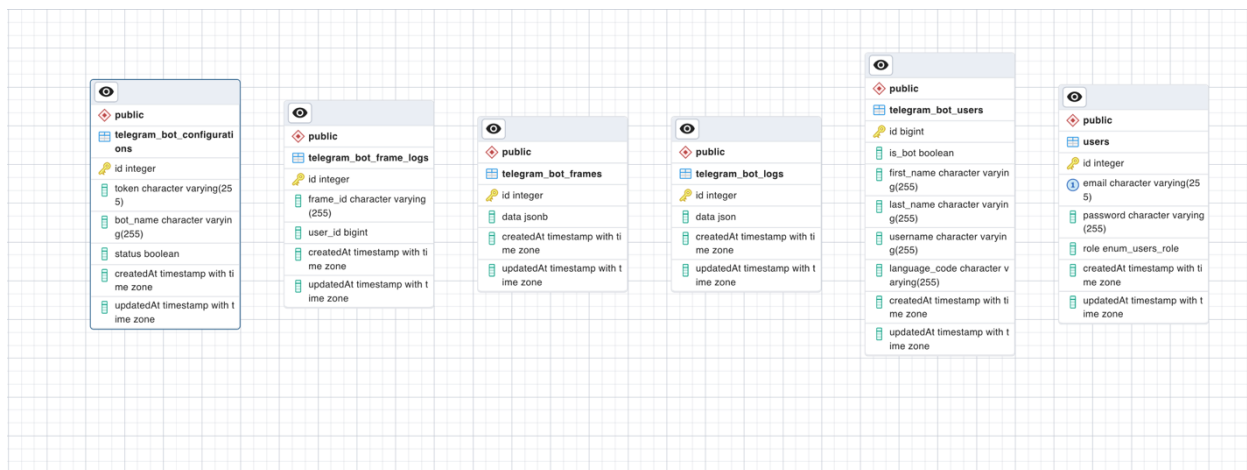


Рисунок 3 – ERD-диаграмма базы данных

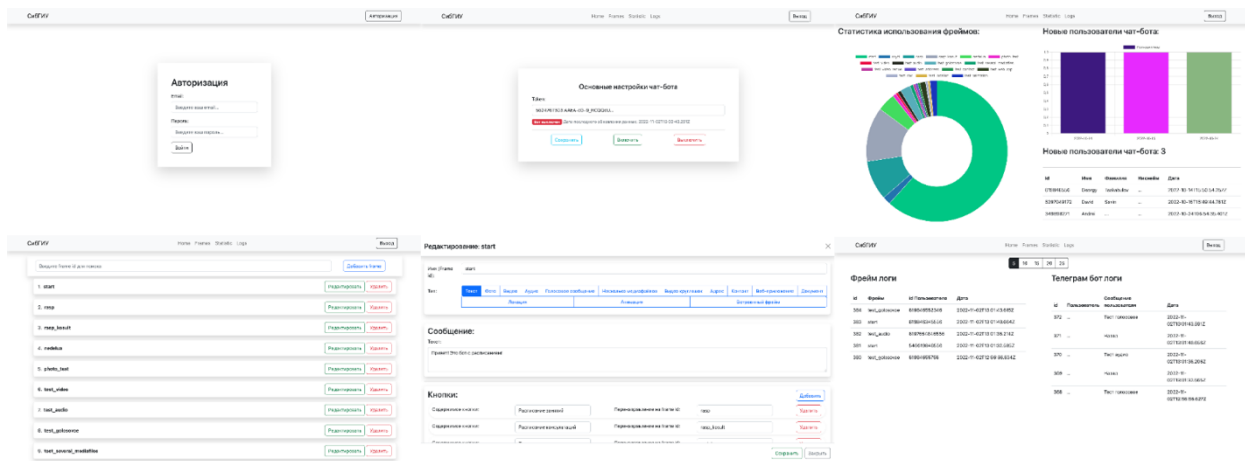


Рисунок 4 – Веб-интерфейс администратора

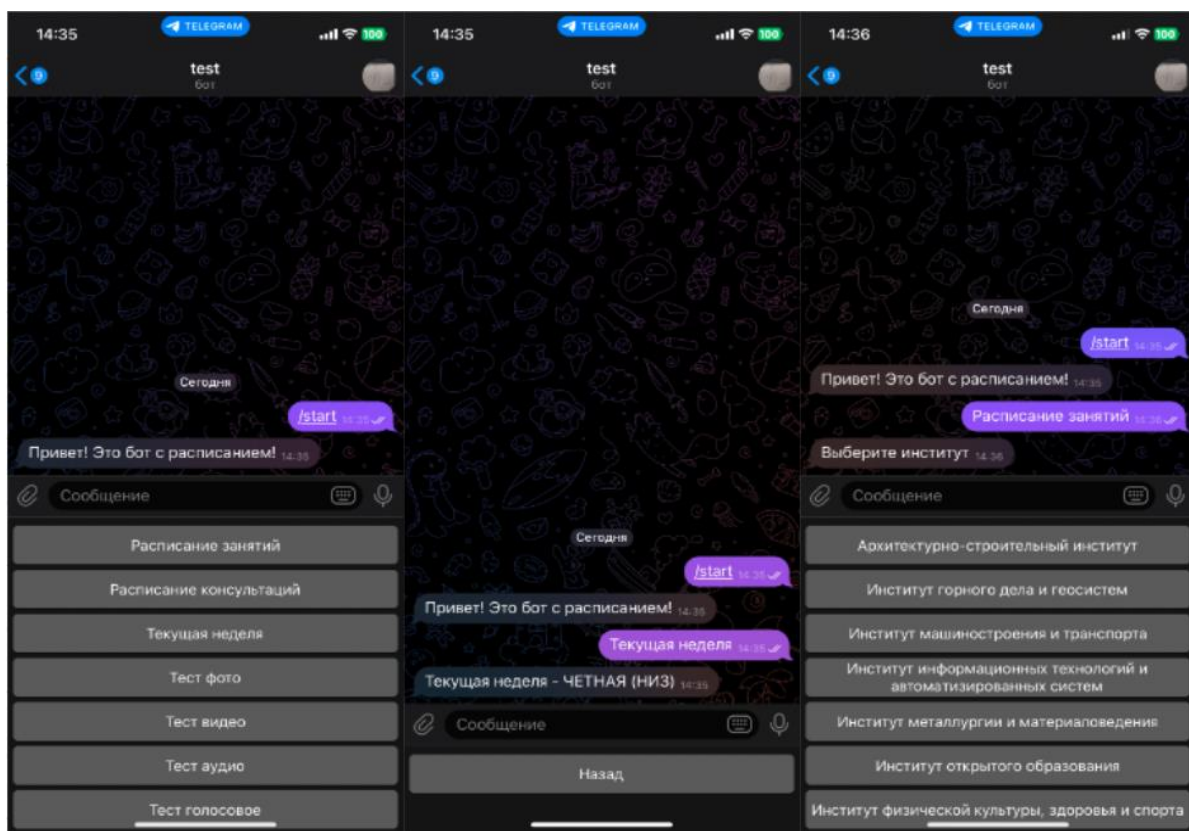


Рисунок 5 – Взаимодействие пользователя с чат-ботом

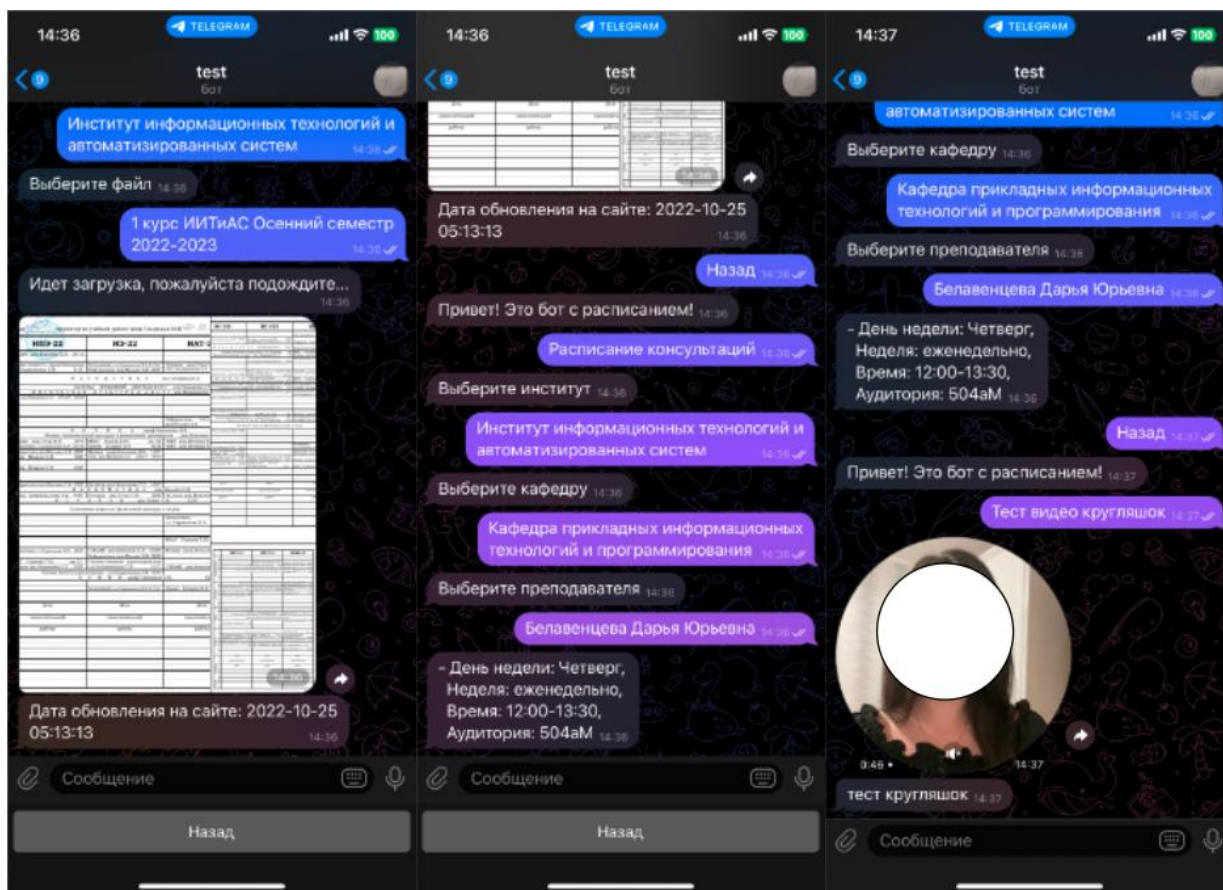


Рисунок 6 – Взаимодействие пользователя с чат-ботом

При выборе кнопки «Расписание занятий» в интерфейсе telegram пользователь запускает данный сценарий. После получения и обработки запроса пользователем системой, пользователь в ответ получает набор институтов. После выбора института, пользователь получает список названий файлов с расписанием, которые относятся к ранее выбранному институту. После выбора названия файла пользователь получает в ответ содержимое данного файла.

#### **Трудности появившиеся в процессе разработки информационной системы**

Основной задачей при реализации данного программного продукта выступила разработка собственной структуры данных, которая является главной деталью работы системы.

Были испытаны разнообразные подходы к созданию такой структуры:

- формирование структуры из схемы базы данных;
- формирование структуры непосредственно в коде программного продукта;
- формирование структуры из файла-шаблона.

Способ, при котором структура формировалась из базы данных оказался не эффективным, поскольку любое изменение в структуре требовало изменение отношений и связей между ними в базе данных. Отправка такой структуры по HTTP требует предварительной подготовки, что, в свою очередь создаёт дополнительную нагрузку на сервер хранения и обработки данных. Создание, редактирование, удаление фреймов требовало написание отдельных модулей для определения измененных частей и их обновления в базе данных.

Формирование структуры данных непосредственно в коде приложения внесло сильную зависимость и добавило большое количество программного кода для работы с данной структурой.

Оба подхода, описанные выше, в конечном счете сформировали JSON-структуру, которая отправлялась по HTTP. В следствие ограничений, описанных выше было принято решение об использовании файла-шаблона, формирующего структуру данных, хранящегося в явном виде в файловой системе, с последующим хранением ее в базе данных. Такой способ организации позволяет исключить необходимость изменения всех частей АОС при изменении структуры JSON. Однако данный подход не является оптимальным, т.к. данная структура требует наличие параметров: «frame\_id», «frame», что в свою очередь создает зависимость между компонентами при разработке АОС. Данный подход не имеет поддержки обратной совместимости, что создает необходимость при дальнейшей разработке АОС исследовать и использовать более качественный подход.

### **Используемые технологии**

Технологии, которые были использованы при разработке программного продукта перечислены в таблице 1.

Таблица 1 – Используемые технологии

Название технологий	Версия технологий
PostgreSQL	14
NodeJS	18.7.0
Python	3.10
Sequelize	6.21.4
React	18.2.0
Aiogram	2.22.1

### **Заключение**

В рамках данной статьи описаны требования к АОС, приведено описание её структуры и структуры хранения данных. Также приведен стек используемых при разработке технологий. Также необходимо отметить, что данная разработка позволяет увеличить производительность труда в организации за счет снижения нагрузки на отдельных сотрудников, которые выполняли консультационную работу. Сбор статистики позволит увидеть самые востребованные вопросы или информацию, которую запрашивают пользователи, тем самым улучшить качество взаимодействия организации и пользователей в дальнейшем.

### **Библиографический список**

1. Telegram Bot API: Telegram Documents [Электронный ресурс]: - URL: <https://core.telegram.org/bots/api>.
2. Клепман М. Высоконагруженные приложения. Программирование, масштабирование, поддержка. // Гибкость схемы в документной модели. – СПб.: Питер, 2018. – 640 с.
3. Telegram Bot API: Creating a new bot [Электронный ресурс]: - URL: <https://core.telegram.org/bots/features#creating-a-new-bot>.



## ТРАНСФОРМАЦИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА НА ОСНОВЕ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Прохоров И.М.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»

г. Новокузнецк, Россия, i.prohorov@inbox.ru

**Аннотация.** В статье приведены предпосылки трансформации образовательного процесса в современных условиях с применением информационно-образовательных систем содержащих цифровые модели технологических объектов; обозначен состав информационно-образовательной системы; предложен способ интеграции жизненного цикла информационной образовательной системы в жизненный цикл образовательного процесса; предложены рекомендации по разработке образовательных программ.

**Ключевые слова:** образовательный процесс, моделирование, цифровая модель, цифровой двойник, цифровая трансформация, жизненный цикл системы, информационно-обучающая система, ИТЛ.

**Abstract.** The article presents the current conditions prerequisites for the educational process transformation with application of digital model based e-learning systems; model based structure of educational system is given; a method of life cycle of the informational educational technology and educational process integration is proposed; recommendations for educational programs design are proposed.

**Keywords:** education, models, simulation, digital twin, digital transformation, systems lifecycle, e-learning, learning management system, ITL.

В целях повышения качества инженерной подготовки будущих специалистов в области разработки систем управления, в процессе обучения студентам необходим доступ к действующим промышленным предприятиям, проектной документации, натурным данным, взаимодействию с сотрудниками. В настоящее время, стратегия взаимодействия с индустриальными партнерами СибГИУ изменяется в сторону сотрудничества, формируются проектные группы для решения задач производства, и всё же процессы организации взаимодействия, изменения внутренней организации образовательных процессов достаточно инертны, и доступ к реальным объектам и данным затруднен.

Для предоставления студентам различных данных с реальных объектов существует практика обезличивания проектов и использования для решения задач в рамках учебной дисциплины преподавателя, участвующего в производственной деятельности, при наличии разрешений и договоренностей на использование материалов. В настоящее время на кафедре отсутствуют целостные модельные объект, содержащие все данные для решения образовательных задач смежных учебных дисциплин в рамках одного производственного объекта, в качестве исходных данных студентам предоставляется разрозненная информация по различным технологическим объектам.

Студенты могут заниматься сбором данных с реальных объектов в ходе проектной деятельности, курсовых работ, производственных практик. Важно, чтобы работы, которые выполняют студенты (курсовые, практические задания, проектная деятельность, материалы учебных практик и ВКР) способствовали накоплению научных и производственных наработок, повторно использовались в качестве фундамента для совершенствования образовательного, инженерного и научного процессов университета.

Накопление знаний в традиционном формате подразумевает два укрупненных компонента: формализованный - научные работы, проектные и рабочие документы, прикладные наработки; и неформализованный – совокупность знаний и умений участников научной школы, методов интерпретации формализованных знаний и их практического применения, организационной и личной культуры. Взаимодействие поколений способствует передаче знаний, опыта, ценностей.

В современных условиях, с изменением экономической структуры, базовых личных ценностей, закладываемых образованием массовой культурой, полагаться на неформализованный компонент знаний становится рискованно: возможна «утечка мозгов» как

в масштабе страны, так и в масштабах кафедры, института, университета. Особенно критичен выход из единого образовательно-научно-производственно-культурного процесса опытных сотрудников, докторов наук. Решение студентами образовательных задач без опоры на предыдущие наработки предшественников и слабая научно-производственная активность также не способствует накоплению базы знаний кафедры.

В сложившихся условиях, содержательно утеряны многие научные школы и механизмы их организации, надеяться на быстрое возрождение этих механизмов, основанных на определенной культуре и ценностях, опыте, использовании наработок и вовлеченности в научный и инженерный процессы, скорее всего не стоит. Даже при внедрении системных, стратегических решений, направленных на цели повышения качества образования, ожидаемый эффект проявится только через 10–20 лет в силу естественной инертности процессов образования.

На рисунке 1 представлена модель накопления знаний и опыта при реализации двух ключевых ситуаций: состояние накопления - студенты и преподаватели остаются в локальном образовательном и научно-производственном процессе и состояние утечки неформализованных знаний – участники выходят из процессов кафедры.

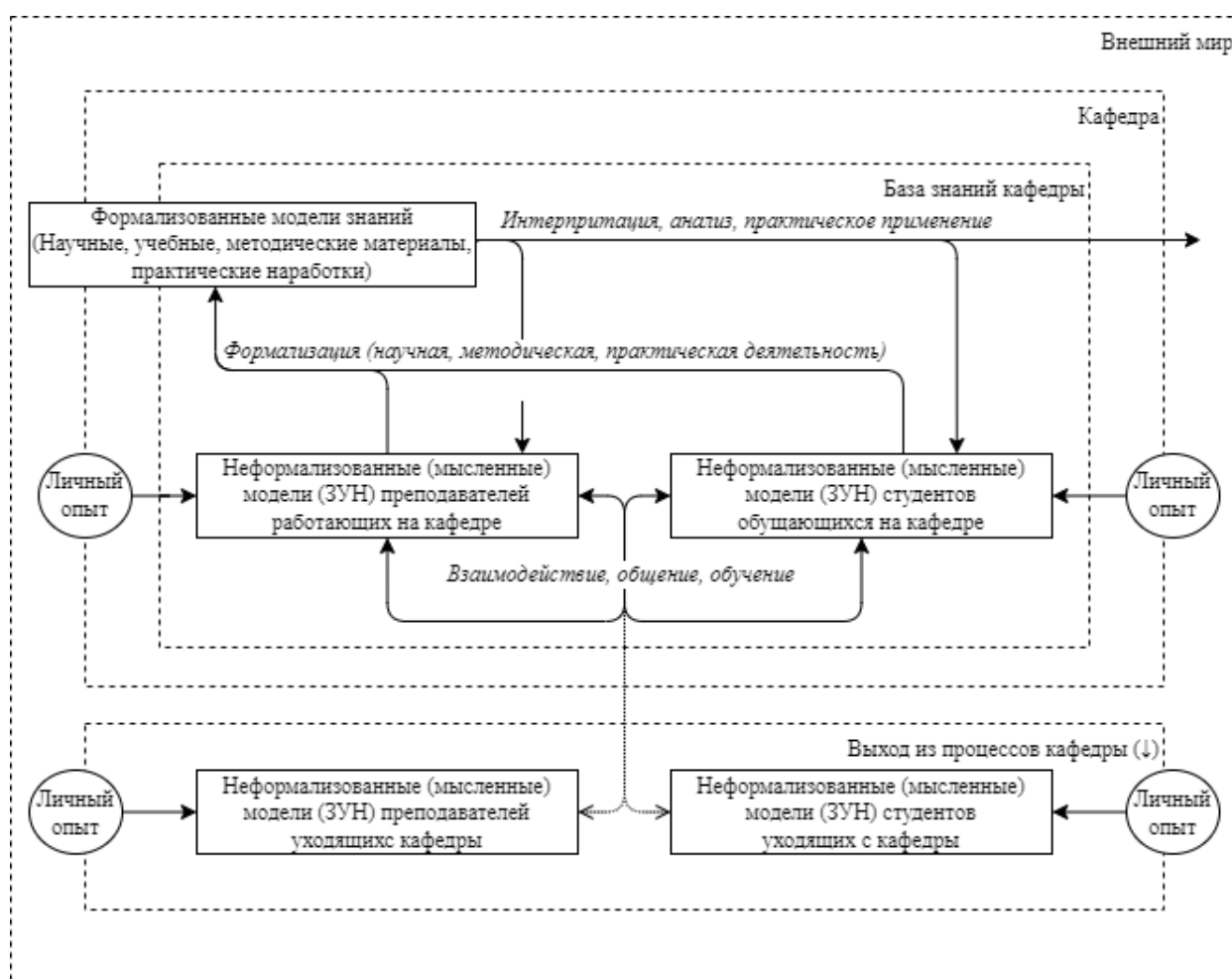


Рисунок 1 – Модель накопления формализованных и неформализованных знаний

Таким образом, важной является задача построения и совершенствования формализованных моделей, используемых для поддержки образовательного, научного и производственного процессов на кафедре. В качестве таких моделей накопления знаний могут быть: научные и методические работы, организационные документы, систематизирован-

ные данные производственных объектов, проекты, натурные и математические модели, в том числе имитационные и компьютерные тренажеры, образовательные системы.

Затрагивая тему моделирования и образования, важно отметить познавательные и прагматические мысленные модели обучающихся, на формирование которых рассчитан образовательный процесс. Физиология формирования этих моделей является адаптационным процессом высшей нервной системы к условиям внешней и внутренней среды. Следовательно, мысленные модели являются отражением среды, в которую погружены обучающиеся и их деятельности. Элементы таких моделей приобретаются студентами в ходе учебных дисциплин и самостоятельной работы над образовательными задачами, а также из личного жизненного опыта. Для решения задач разработки образовательных процессов, в системе образования сегодня применяется компетентностная модель. Последовательное освоение профессиональных и универсальных компетенций складывается в единый образовательный образ, повысить эффективность которого можно либо погружением в производственную среду, либо моделированием подобной среды с применением сквозных цифровых образовательных технологий – имитационного комплексного моделирования, компьютерных тренажеров.

Исходя из представленных выше предпосылок, цифровая поддержка образовательного процесса не может являться системным решением проблем образования, но может служить актуальным на сегодня временным решением. Для повышения качества подготовки специалистов в области управления различными системами предлагается концепция образовательного процесса, ориентированного на накопление формализованных знаний с использованием информационно-образовательных систем, включающих цифровые модели технологических объектов.

Известны тренажеры, разрабатываемые в СибГИУ в различные годы на кафедрах АИС [4, с.23] и ИТМ [5]. Различные тренажеры операторов и технологов были интегрированы в учебный процесс, содержали натурные, математические и имитационные компоненты моделей позволяющие отработать требуемые навыки. В настоящее время в образовательном процессе применяются автоматизированные образовательные комплексы (АОК) [6,7]. Целесообразно использовать существующие наработки, модернизируя существующую информационно-образовательную систему путем включения в её состав цифровых моделей технологических объектов и организовав процессы сопровождения и совершенствования системы.

Состав информационно-образовательной системы (далее ИОС) включает общие и специальные компоненты. Общие компоненты ИОС: система управления образовательным процессом LMS, файловое хранилище, система контроля знаний, система контроля версий ПО и документов, средства разработки тренажеров и моделей (САПР и специализированные пакеты прикладных программ), а также организационные процедуры поддержки жизненного цикла ИОС. К специальным компонентам ИОС относятся отдельные цифровые модели: лабораторные тренажеры, компьютерные имитационные тренажеры, информационная база, содержащая проектную и рабочую документацию (СПДС, ЕСПД, КСАС), экспертные данные, базы данных с натурных объектов.

Сбор исходных данных для разработки цифровых моделей осуществляется разработчиками (студентами и преподавателями) в ходе производственных практик, инженерной и научной деятельности, на основе анализа источников. Недостающие для разработки данные могут быть разработаны самостоятельно, или с привлечением внешних экспертов. На определенном этапе развития цифровой модели, существует возможность реализации функции сбора натурных данных в реальном времени с помощью интеграции с существующими информационно-управляющими системами действующего производства, что на сегодняшний день представляет в большей степени организационную сложность, чем техническую. Достаточно проработанную систему можно классифицировать как «цифровой двойник» и применять не только для образовательных целей, но и для инженерных и научных.

Современные информационные технологии позволяют разрабатывать информационно-образовательные системы, компьютерные тренажеры с меньшими затратами по времени, ресурсам и требуемым компетенциям чем даже десять лет назад. Таким образом, решение задач поддержки и совершенствования ИОС может осуществляться силами студентов в рамках учебных дисциплин. Для интеграции в существующий образовательный процесс необходимы стратегические организационные решения, позволяющие реализовать процесс непрерывного совершенствования информационно-образовательной системы, решая задачи накопления знаний, формализации процессов передачи опыта, качественного документирования, учета возможных рисков.

Процессы жизненного цикла информационно-образовательной системы представляют собой ИТ-деятельность, для управления которой наилучшим образом подходит методология ITIL [8,9]. Методология ITIL гармонирует со структурой образовательного процесса (цикличность смены курсов, выпуск студентов, поступление новых абитуриентов). На рисунке 2 приведен пример применения ИОС в образовательном процессе студентов-бакалавров направления подготовки «15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств».

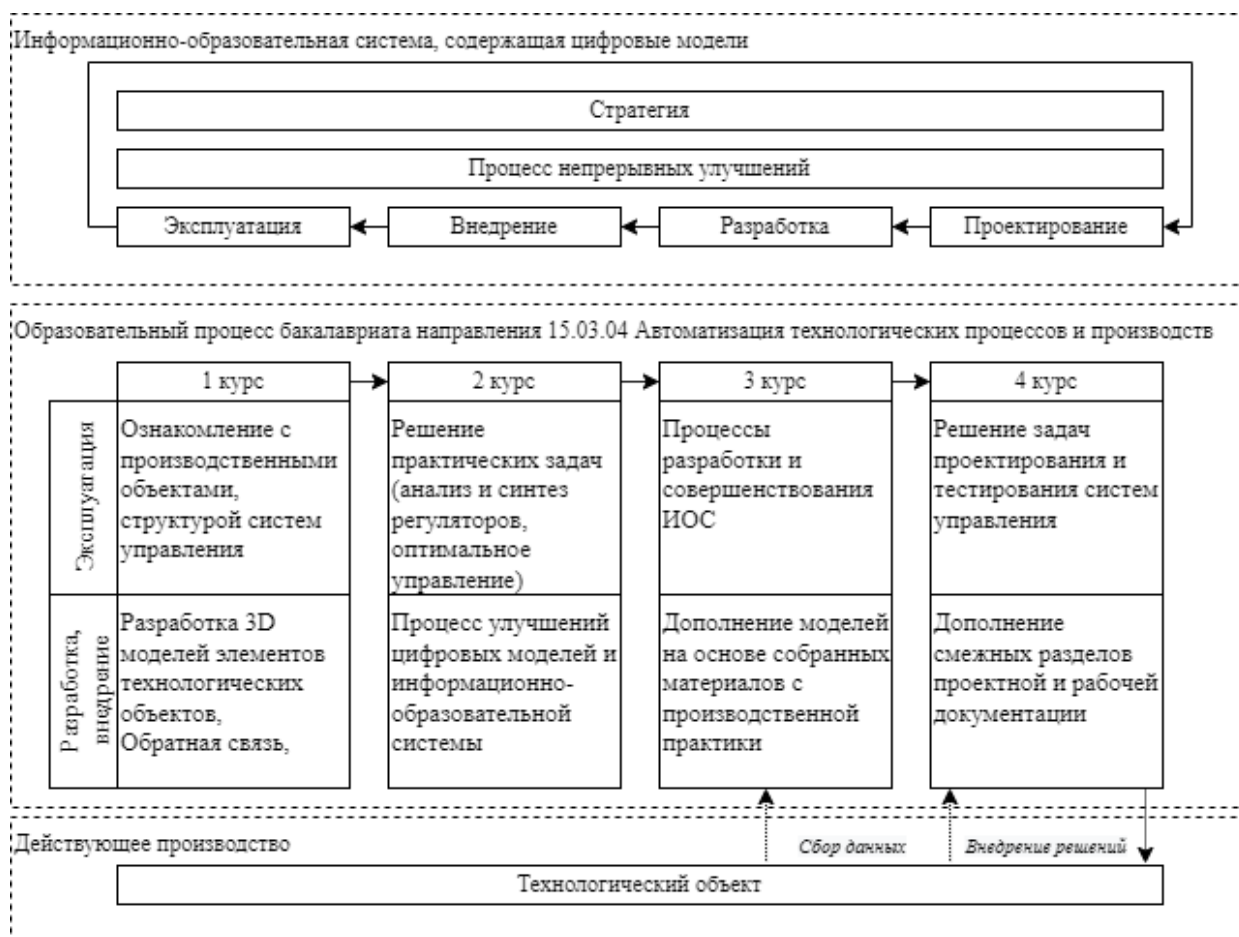


Рисунок 2 – Пример применения ИОС в учебном процессе

Информационно-образовательная система может применяться в образовательных процессах всех уровней образования для решения образовательных, научных и производственных задач, а также для вклада в развитие системы, соответствующее уровню компетенций, осваиваемых на соответствующих ступенях образования и учебных дисциплинах. Существует возможность организации проектных групп в университете для комплексного междисциплинарного решения сложных задач с применением разрабатываемой информационно-образовательной системы.

Интеграция ИОС и процессов её разработки и совершенствования студентами в образовательный процесс связана с изменениями образовательных программ, рабочих программ, методических указаний, ФОС, организации образовательного процесса на уровнях института и университета. Предлагается рекомендация к формированию образовательных программ, ориентированных на применение информационно-образовательной системы в учебных дисциплинах. Для этого работы и задачи различных стадий ЖЦ ИОС распределяются по осваиваемым студентами учебным дисциплинам. В программы учебных курсов, целесообразных для применения образовательного комплекса вносятся изменения в разделах практических и лабораторных работ, с распределением задач по блокам. Пример распределения задач, связанных с использованием ИОС в образовательном процессе студентов-бакалавров направления подготовки «15.03.04 автоматизация технологических процессов и производств» приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Пример распределения задач в учебных дисциплинах

Блоки работ	Содержательные основы автоматизации (1 семестр)	Компьютерное геометрическое моделирование (2 семестр)
Блок ознакомления и изучения	Изучение структуры современной системы управления на тренажере (виртуальная экскурсия по интерактивной 3D модели производственного объекта)	Ознакомление с САПР
Блок наработки навыков	Описание структуры и состава действующей системы управления (имитация сбора данных в ходе обследования объекта)	Ознакомление с редакторами 3D моделей и анимации
Блок совершенствования и отработки навыков	Формализация и описание согласно стандартам структуры и состава исследуемой системы управления	Общие задания для всей группы, разработка чертежей и моделей
Блок практического применения навыков, решения задач на модельных объектах, индивидуальные задачи, совершенствования ИОС	Обратная связь по работе ИОС, предложения по совершенствованию системы и цифровых моделей	Индивидуальные задания по разработке или совершенствованию 3D объектов для цифровых моделей ИОС (компонентов, сцен)

Таким образом, использование имитационных тренажеров технологических процессов, применение сквозной образовательной платформы в образовательном процессе позволяет организовать процесс накопления знаний на кафедре, повысить качество подготовки специалистов, способствует приобретению обучающимся навыков организации комплексного проектирования, разработки и испытаний систем управления с применением современных цифровых технологий [10]. Участие в разработке и совершенствовании системы способствует как непрерывному улучшению системы, так и совершенствованию цифровых навыков студентов, индивидуализация образовательного процесса.

### Библиографический список

1. ГОСТ Р 57700.37-2021 Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения
2. Новиков, А. М. Методология / А. М. Новиков, Д. А. Новиков. – Москва : ООО НПО Синтег, 2007. – 668 с. – ISBN 978-5-89638-100-6. – EDN PFGVJN.
3. Новиков, А. М. Основания педагогики / А. М. Новиков. – Москва : Издательство Эгвес, 2010. – 208 с. – (ПЕДАГОГИКА). – ISBN 978-5-7262-9975-4.
4. Теория и практика систем автоматизации управления на базе натурно-модельного подхода : 85-летию Сибирского государственного индустриального университета посвящается : справочник / Мин-во образования и науки РФ, Сиб. гос. индустр. ун-т ; [сост.] Л. П. Мышляев. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2014. – 86 с. – (Научные школы СибГИУ). – ISBN 978-5-7806-0413-6.
5. Математическое моделирование, создание прикладных инструментальных систем и новых металлургических процессов и агрегатов на принципах самоорганизации : 85-летию Сибирского государственного индустриального университета посвящается : справочник / Мин-во образования и науки РФ, Сиб. гос. индустр. ун-т ; [сост.:] В. П. Цымбал, С. П. Мочалов. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2015. – (Научные школы СибГИУ). – 101 с.
6. Современные распределенные автоматизированные обучающие комплексы / Т. М. Гулевич, А. В. Феоктистов, М. В. Ляховец [и др.] // Системы автоматизации в образовании, науке и производстве : Труды X Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием), Новокузнецк, 17–19 декабря 2015 года. – Новокузнецк: Сибирский государственный индустриальный университет, 2015. – С. 318-323.
7. Автоматизированная обучающая система для дистанционного и самостоятельного обучения операторов сложных технологических процессов / В. Н. Буинцев, И. А. Рыбенко, Е. А. Мартусевич, Д. Ю. Белавенцева // Моделирование и наукоемкие информационные технологии в технических и социально-экономических системах : труды V Международной научно-практической конференции, Новокузнецк, 14 апреля 2021 года. – Новокузнецк: Сибирский государственный индустриальный университет, 2021. – С. 128-130.
8. Кулаков, С. М. О структуризации пространства подходов к исследованию автоматизированных систем на разных стадиях их жизненного цикла / С. М. Кулаков, Н. Ф. Бондарь, В. В. Зимин // Системы автоматизации в образовании, науке и производстве : труды VIII всероссийской научно-практической конференции, Новокузнецк, 10–12 ноября 2011 года. – Новокузнецк: Сибирский государственный индустриальный университет, 2011. – С. 26-34.
9. Зимин, В.В. Основы управления жизненным циклом сервисов систем информатики и автоматизации (лучшие практики ITIL) : учебное пособие / В. В. Зимин, А. А. Ивушкин, С. М. Кулаков, К. А. Ивушкин. – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2013. – 500 с.
10. Прохоров, И. М. О необходимости применения новых информационных технологий для повышения эффективности процессов жизненного цикла автоматизированных производственных систем / И. М. Прохоров, О. В. Михайлова // Решетневские чтения. – 2017. – Т. 2. – С. 363-364.

## ПРИМЕНЕНИЕ HEADLESS CMS DIRECTUS ПРИ РАЗРАБОТКЕ ВЕБ-САЙТОВ

Пьянова Е.А., Антонов Е.В., Климов О.А., Гурин И.А.

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина»  
г. Екатеринбург, Россия, ivan.gurin@urfu.ru

**Аннотация.** Представлено описание системы управления контентом (CMS). Выделены основные части CMS и список решаемых с их помощью задач. Выполнено сравнение традиционных CMS и Headless CMS. Идеология Headless CMS предполагает управление только контентом независимо от интерфейса, в котором он будет использоваться. Рассмотрены основные возможности Headless CMS Directus, среди которых выделены создание и редактирование контента, интернационализация, гибкая настройка ролей и прав доступа, вебхуки и автоматизация выполнения задач. Directus поддерживает обмен данными с клиентскими приложениями через REST API или GraphQL.

**Ключевые слова:** система управления, контент, разработка, веб-сайт, Headless CMS, Directus.

**Abstract.** A description of the Content Management System (CMS) is presented. The main parts of the CMS and range of resolving tasks are highlighted. Comparison of traditional CMS and Headless CMS is made. Headless CMS ideology suggests content management regardless interface where it will be used. The main features of Headless CMS Directus are considered such as content creating and editing, internationalization, flexible roles and access rights settings, webhooks, tasks completing automatization. Directus supports data exchange with client applications via REST API or GraphQL.

**Keywords:** management system, content, development, web site, Headless CMS, Directus.

**Введение.** Аббревиатура CMS расшифровывается как Content Management System (система управления контентом). Название точно отражает суть. CMS – это программное обеспечение (ПО) на базе скриптов, которое позволяет управлять содержимым ресурса, менять его, просматривать и контролировать. Современные системы управления контентом обладают широкой функциональностью и состоят из огромного количества модулей, каждый из которых отвечает за свои элементы [1]. Программное обеспечение помогает составлять типовые сайты из блоков подобно конструктору. Для этого практически не требуется даже навыков программирования. Условно CMS можно разделить на несколько частей:

- база данных, где хранится информация о пользователях, контенте сайта и других важных сущностях;
- хранилище модулей и элементов интерфейса, с которыми непосредственно взаимодействует пользователь при просмотре сайта. Модули позволяют добавить к сайту те или иные дополнительные функции;
- панель администрирования, в которой с помощью визуального интерфейса можно управлять элементами интерфейса и базой данных, создавать новые и редактировать существующие страницы.

Современные CMS используются крайне широко: без них сложно обойтись любой компании, которая выходит на интернет-площадки и нуждается в собственном сайте. В отличие от специализированных ИТ-фирм, обладающих профессиональными командами специалистов, большинство непрофильных организаций не может обеспечить себе создание ресурса с нуля и потому применяет распространенные CMS для разработки типового сайта. Это отличное решение для тех, кто нуждается в ресурсе со стандартным набором функций, будь то визитка или интернет-магазин. CMS позволяет наполнять сайт контентом, изменять и администрировать ресурс, при этом не являясь ИТ-специалистом и не имея серьезных навыков программирования; создавать новые страницы в короткие сроки без лишних затрат; оптимизировать внешний вид сайта и улучшать качество его наполнения.

От типа CMS во многом зависят функциональность ресурса, его возможности и удобство для пользователя. Правильно выбранная система позволяет успешно создать и

раскрутить сайт, сделав его привлекательным для клиента, надежным и работающим ровно так, как требуется.

Логика традиционных CMS объединяет бэкенд (backend) и фронтенд (frontend) части одной системы. Контент в данном случае оказывается связан с конкретными технологиями, архитектурой и шаблонами клиент-серверного приложения.

Самыми популярными в России традиционными CMS на сегодняшний день являются [2]:

1. WordPress – лидер среди бесплатных систем управления веб-сайтом. Эта система отличается простотой разработки и управления сайтом. Для неё существует много бесплатных тем и плагинов, решающих практически любые задачи. Если бесплатного функционала будет недостаточно, всегда можно расширить функционал платными темами или модулями. Подходит для создания блогов, сайтов-визиток, одностраничных сайтов (Landing page), информационных и новостных порталов, интернет-магазинов;
2. Joomla – вторая популярная бесплатная CMS после WordPress с открытым исходным кодом, позволяющая создавать сайты разных типов. Функционал базовой версии расширяется с помощью установки бесплатных или платных компонентов, модулей или плагинов. Но это не самое простое решение, в сравнении с тем же WordPress. Подходит для запуска разных типов проектов, – от одностраничных сайтов до интернет-магазинов с большим ассортиментом товаров или новостных порталов;
3. Drupal – это один из гибких, производительных и функциональных CMF (Content Management Framework) в мире с открытым исходным кодом и отличной архитектурой движка, которая позволяет создать блог, корпоративный сайт, интернет-магазин, сайт услуг, соцсеть или форум с нужным функционалом. Платформа ориентирована на профессиональных «кодеров» и имеет большое количество модулей, с помощью которых можно легко настроить и расширить функции сайта. Данная система подходит для проектов со сложной логикой и интеграциями со сторонними сервисами.

*Headless CMS.* Headless CMS – принципиально иная система управления. Как правило, она отвечает только за универсальное содержимое, которое может использоваться на любых платформах. Бэкенд или «тело» при таком подходе не связан с фронтендом или «головой». Логика Headless CMS такова, что к «телу» при необходимости можно приставлять разные «головы». Это позволяет использовать один бэкенд для управления сайтом (или сайтами) и мобильным приложением, а также автоматизировать распространение контента по всем доступным площадкам и устройствам [3-5].

В результате минимизируются ресурсы, затрачиваемые на веб-разработку. А управление разными платформами осуществляется централизованно из одного интерфейса, что удобно. При этом содержимое гибко настраивается для каждого отдельного канала.

Как уже было сказано, Headless CMS предполагает управление только контентом независимо от интерфейса, в котором он будет использоваться (представляться конечному пользователю).

Система управления строится с нуля и используется, в первую очередь, как хранилище контента и набора инструментов. Она обеспечивает административный интерфейс для создателей контента, их совместной работы над содержимым. Если предусмотрена возможность оставлять комментарии, заявки, создавать пользовательские анкеты или задавать настройки аккаунтов, эти данные также могут храниться в системе, модерироваться и редактироваться персоналом.

Содержимое в различных Headless CMS хранится в популярных СУБД, таких как PostgreSQL, MongoDB, SQLite, MariaDB и др. Обмен данными чаще всего происходит в «универсальном» формате JSON, что позволяет подстраиваться под любой новый фронтенд. Передача осуществляется чаще всего через REST API или GraphQL.



Клиентское приложение отвечает за взаимодействие с пользователем (дизайн, интерактивность, сбор данных). Для манипуляций с данными используется API. В отличие от стандартной CMS, этот тип работает с разными типами фронтов «голов» через облако или собственную систему клиента. Такая CMS взаимодействует с любыми типами интерфейсов и устройств и обеспечивает синхронизированный обмен данными между веб-ресурсами. Сравнение архитектур традиционных CMS и Headless CMS представлено на рисунке 1.

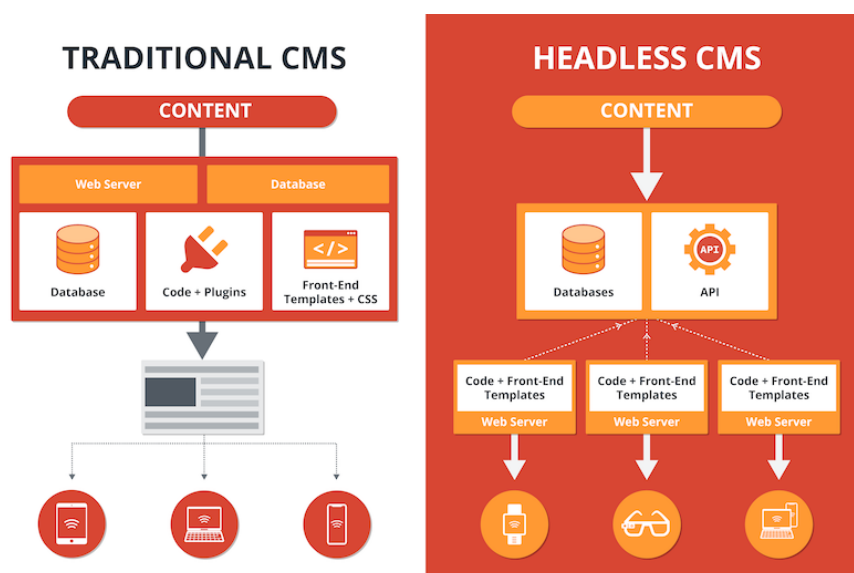


Рисунок 1 – Архитектура традиционных CMS и Headless CMS

В этой статье рассмотрены особенности одной из самых популярных Headless CMS Directus. Для исследования функциональных возможностей на ПК был развёрнут и запущен проект Directus. При запуске проекта появляется дружелюбный и интуитивно понятный интерфейс, с помощью которого в режиме реального времени меняется подключенная к проекту база данных. В процессе работы можно выявлены следующие возможности Directus:

- возможность добавления и редактирования данных в административной панели, достаточно простой для понимания и использования;
- возможность работать с данными на разных языках (интернационализация);
- гибкая настройка ролей и возможностей разных категорий пользователей при работе с данными.

Добавление и редактирование данных в Directus осуществляется с помощью элементов и коллекций. Элемент – это строка таблицы данных, но с дополнениями. Идеальная реляционная база данных нормализована. Но нормализованные данные не всегда легко представить или вообразить, потому что связанные данные разбросаны по нескольким таблицам данных. Поэтому при доступе к элементу можно получить больше, чем просто данные уровня строки текущей коллекции. В некоторых случаях элемент может предоставлять доступ к данным в связанных строках. Есть возможность получить доступ к элементам из других модулей приложения, таких как содержимое, каталог пользователя и библиотека файлов. Набор элементов объединяется в коллекцию. На рисунке 2 представлен фрагмент веб-интерфейса Directus со списком элементов из коллекции «Пользователи».

В коллекции элементов может быть сопоставление 1-1 с таблицей данных в SQL, группой других коллекций или представлением только для чтения. Добавление и редактирование, в том числе редактирование системных коллекций, осуществляется в разделе

«Настройки», «Модели данных». Чтобы открыть страницу конфигурации коллекции, необходимо щёлкнуть на коллекцию.

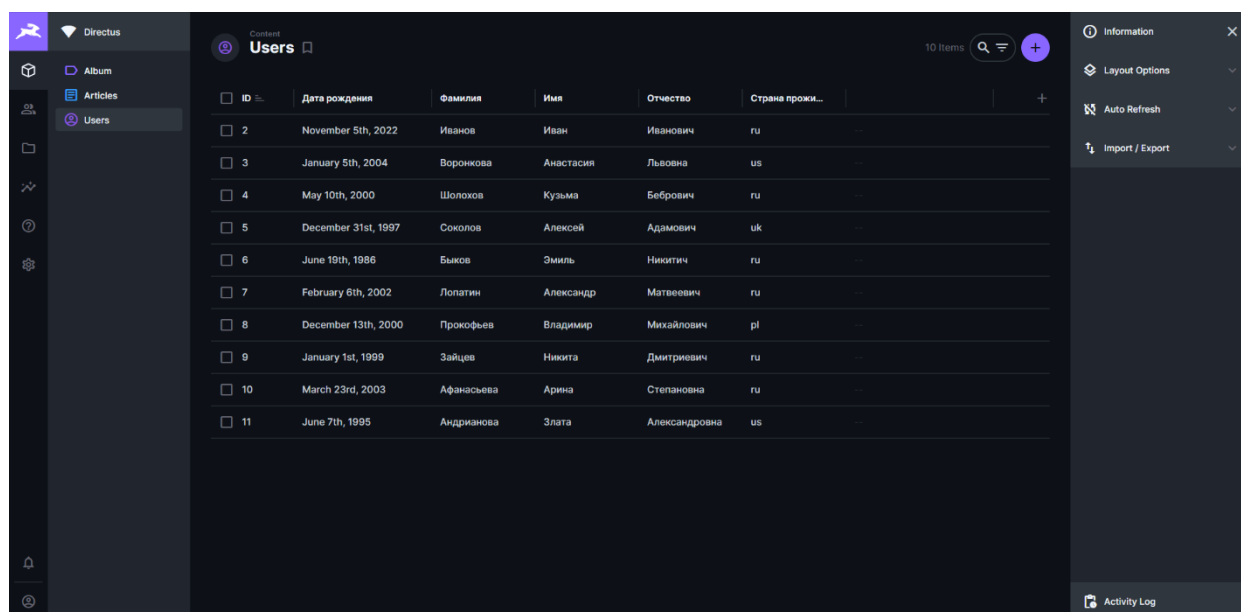


Рисунок 2 – Фрагмент веб-интерфейса Directus со списком элементов

Directus поддерживает интернационализацию внутри системы управления контентом. В настоящее время поддерживаются многие языки и каждый день добавляются новые. Кроме того, пользовательская схема данных также может быть переведена, включая имена коллекций и полей. Фрагмент веб-интерфейса Directus с настройкой многоязычности для пользовательской схемы данных представлен на рисунке 3. Для моделей данных можно создавать контент одновременно на нескольких языках.

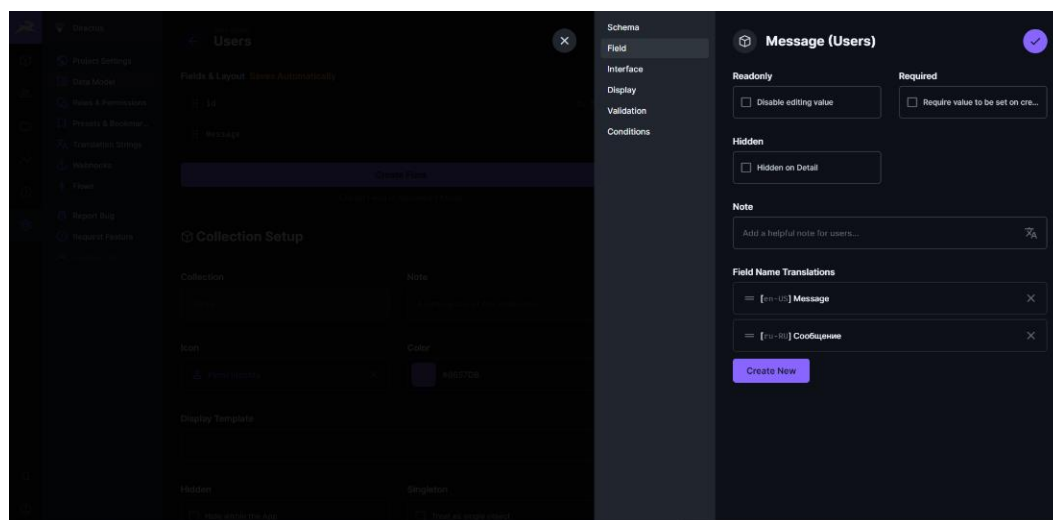


Рисунок 3 – Фрагмент веб-интерфейса Directus с настройкой многоязычности для пользовательской схемы данных

Пользователи, роли и разрешения в Directus вместе отвечают за то, чтобы определить, кто и к чему имеет доступ внутри базы данных. Пользователи – это отдельные учетные записи для аутентификации в проекте. Каждому пользователю назначается роль, которая определяет его права доступа. CMS Directus предоставляет широкий спектр возможностей по созданию, настройке и назначению ролей пользователям.

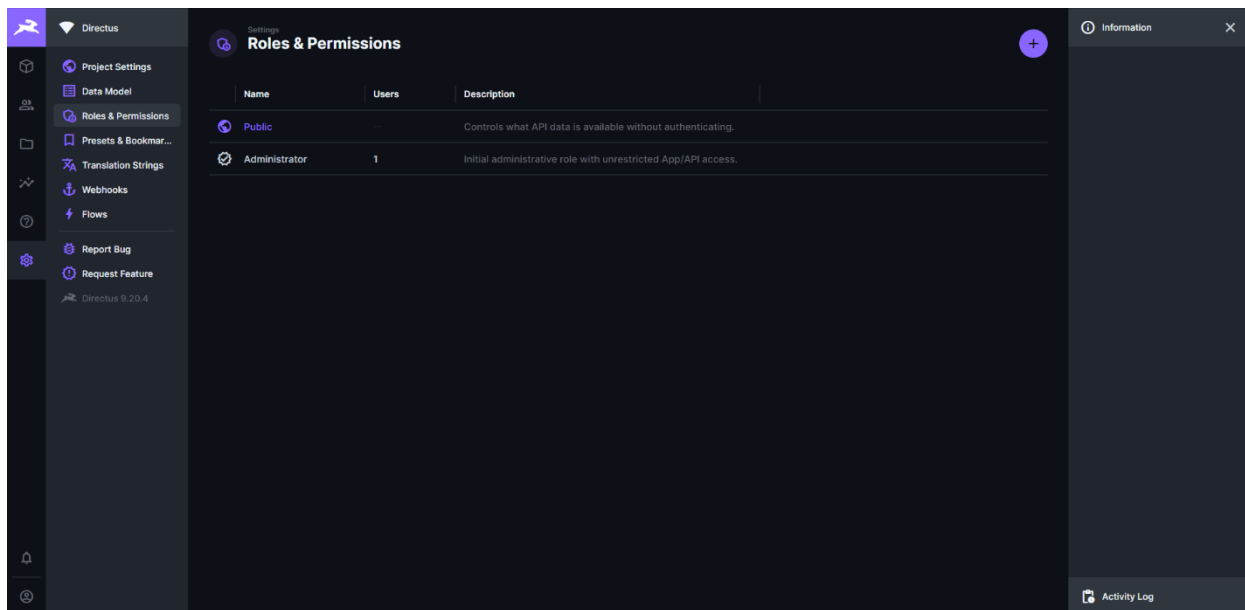


Рисунок 4 – Пользователи, роли и разрешения

В системе управления Directus поддерживаются вебхуки и потоки [6]. Вебхуки настраиваются в приложении и отправляют HTTP-запросы во внешнюю службу при возникновении определенного события (создание или обновление элемента в определенной коллекции). Потоки обеспечивают обработку данных на основе событий и автоматизацию задач в Directus.

*Выводы.* Headless CMS – это простое и быстрое решение, когда не хочется «лезть» в код. Такой программный продукт иногда может заменить весь бэкенд для веб-приложений. Их функциональность ограничена, но часто её достаточно, чтобы быстро внедрить систему управления контентом на проект. Headless CMS позволяют хранить и управлять данными без программирования. Они берут на себя всю работу: поддержку баз данных; управление пользователями; аутентификацию; установку ролей и прав доступа. Можно сказать, что Headless CMS отвечают за бэкенд-часть, за данные. Они могут взаимодействовать с любыми форматами их представления, – от сайтов до приложений.

### Библиографический список

1. Что такое CMS и как ее использовать [Электронный ресурс] // Wiki Rookee: [web-сайт]. – Режим доступа: <https://wiki.rookee.ru/cms/> (дата обращения 01.11.2022).
2. Рейтинг ТОП 10 CMS сайтов: Какую лучше выбрать [Электронный ресурс] // Хабр: [web-сайт]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/645947/> (дата обращения 01.11.2022).
3. Что такое Headless CMS и почему за ними будущее [Электронный ресурс] // Хабр: [web-сайт]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/518160/> (дата обращения 01.11.2022).
4. Что такое Headless CMS и в чём её преимущества [Электронный ресурс] // Calltouch Blog: [web-сайт]. – Режим доступа: <https://www.calltouch.ru/blog/chto-takoe-headless-cms-i-v-chem-ee-preimushhestva/> (дата обращения 01.11.2022).
5. Headless CMS: простое и быстрое решение [Электронный ресурс] // Tproger: [web-сайт]. – Режим доступа: <https://tproger.ru/articles/headless-cms-prostoe-i-bystroerehenie-kogda-ne-hochetsja-silno-lezt-v-kod/> (дата обращения 01.11.2022).
6. Описание Directus [Электронный ресурс] // Directus Docs: [web-сайт]. – Режим доступа: <https://docs.directus.io> (дата обращения 01.11.2022).

# A IOT BASED PLATFORM FOR UPPER LIMB REHABILITATIVE SERVICES

Chakraborty P.<sup>1</sup>, Bhattacharyya S.<sup>2</sup>, Misra P.<sup>3</sup>, Pal M.<sup>3</sup>, Neogi B.<sup>3</sup>, Nikitenko M.S.<sup>4</sup>,  
Das A.<sup>5</sup>

<sup>1</sup>*InfluxIQ Tech.Pvt. Ltd*  
Kalyani, West bengal, India-741235, pritam@influxiqtech.com

<sup>2</sup>*Abacus Institute of Engineering and Management Nutangram*  
Magra, Hooghly, West Bengal, India

<sup>3</sup>*JIS College of Engineering*  
Kalyani, West bengal, India-741235, biswarupneogi@gmail.com

<sup>4</sup>*The Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the RAS*  
ltd.mseng@gmail.com

<sup>5</sup>*Kalyani Government Engineering College*  
Kalyani, West bengal, India-741235, achintyadas123@gmail.com

**Abstract.** In this article, an IOT-based wearable upper limb vest with an integrated environment and RESTful (Representational State Transfer) web services designed for this use has been proposed as a potential therapeutic tool for people with upper-limb issues. It can be used to retrieve both current and historical data, as well as prediction models for appropriate clinical assistance and classification assessment. For the goal of facilitating user engagement with the system, a proposed web application that is a component of the proposed platform uses RESTful services. Rehabilitation programme for the elderly and stroke victims have become more crucial in recent years. However, there aren't enough physical therapy clinics or licensed rehabilitation facilities. A comprehensive assessment also takes time and varies amongst therapists. As a result, the suggested platform's integrated development environment can open the door for the patients who are experiencing such a clinical problem to receive the appropriate help and direction.

**Keywords:** IOT-based wearable upper limb vest, RESTful web services, physiotherapeutic assistance, upper limb, connected health (CH).

## INTRODUCTION

The shift of health care delivery toward a new paradigm of connected health (CH) care is being driven by wearable sensing and information and communication technology. Numerous original studies, patent records, and targeted systematic reviews show how wearable technology has advanced over the past 10 years. The general adoption of wearable continues to be hampered even though technological advancements regularly address new difficulties and technology accessibility further helps the creation of CH solutions. Numerous research publications on sensors, data analytics, and safe and dependable communication platforms for CH solutions have highlighted and extended on the significance that sensing and information and communication technologies have come to play as fundamental in digital health. Real-time monitoring of various physiological signs has sparked the research and development of a variety of wearable and implantable systems in response to the expanding global population and the rising demand for access to healthcare.

In high-income nations, stroke is the leading cause of acquired adult disability and the third most common cause of death. In high-income countries, this affects 112 to 223 per 100,000 people, whereas in low-income countries, it impacts 73 to 165 per 100,000. In the USA, there are 795,000 new cases of stroke each year, while there are more than 110,000 cases in England. In India's urban areas, the estimated adjusted prevalence rate of stroke ranges from 334 to 424/100,000 and is between 84 and 262/100,000 in rural areas. According to recent population-based research conducted in India, the incidence rate ranges from 119 to 145/100,000. According to the Global Stroke Factsheet published in 2022, the lifetime risk of having a stroke has climbed by 50% in the last 17 years, with 1 in 4 people now thought to experience one. Follow-

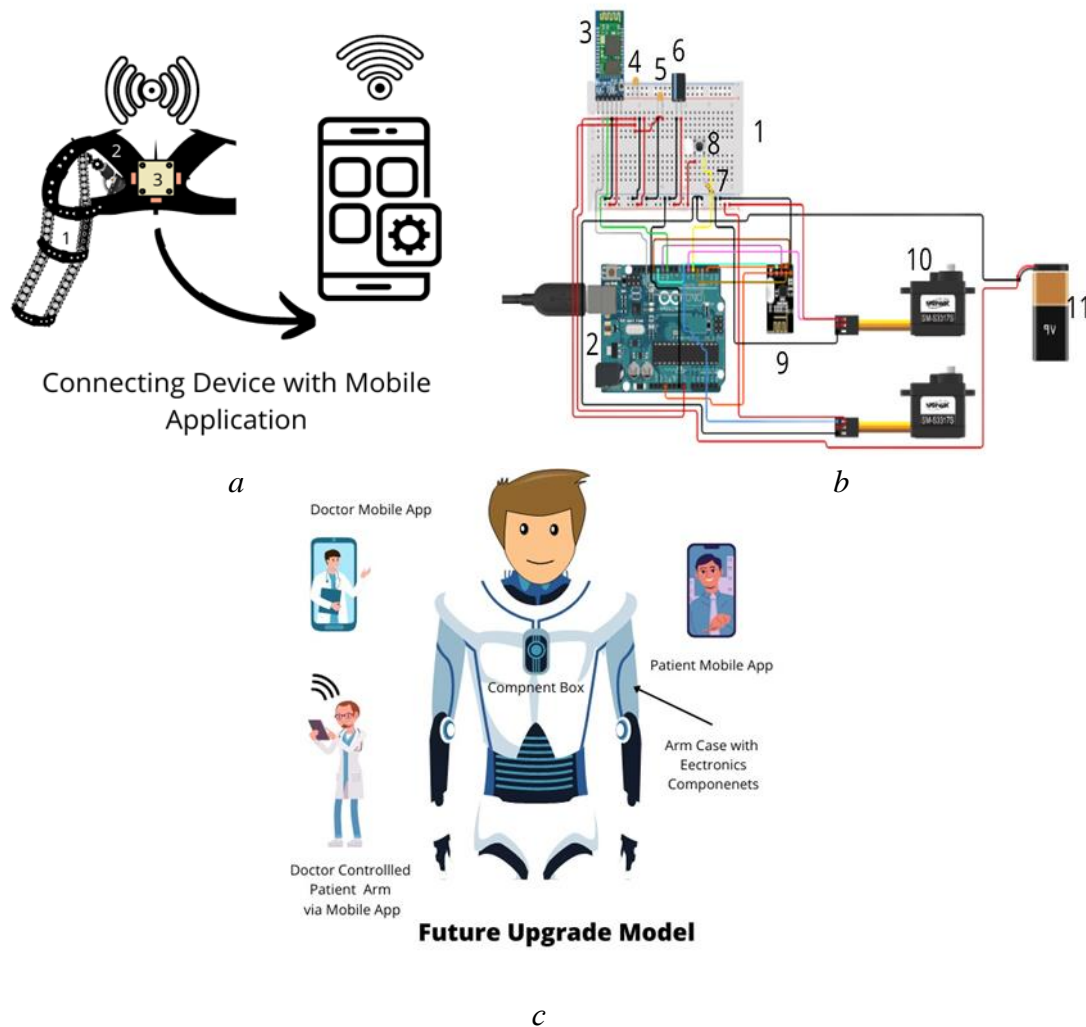
ing a stroke, impairments in dexterous upper limb function are a major source of disability. Around 50–80% of stroke patients have upper limb disability in the acute phase, while 40–50% do so in the chronic phase. Also in addition, over 250 million older adults with moderate to severe disabilities make up more than 46% of the population who are 60 years of age and older. Looking ahead, it is expected that the number of persons with disabilities will continue to rise as a result of worldwide trends toward an ageing population and the higher risk of disability among the elderly [1,2].

Issues with the upper limbs, including the arms, are fairly typical for post stroke patients and elderly persons. Inability to move and coordinate the arms, hands, and fingers is a common symptom of these upper limb impairments, which frequently makes it difficult to complete daily tasks including eating, dressing, and cleaning [3,4]. Following their stroke, several months to years later, more than half of persons with upper limb dysfunction will still experience issues. A key component of therapy is restoring arm function. Numerous potential interventions have been devised; they could consist of various exercises or training, specialised tools or methods, or they could be drugs (in the form of pills or injections) administered to aid arm mobility.. Inability to move and coordinate the arms, hands, and fingers is a common symptom of these upper limb impairments, which frequently makes it difficult to complete daily tasks including eating, dressing, and cleaning. Following their stroke, several months to years later, more than half of persons with upper limb dysfunction will still experience issues. A key component of therapy is restoring arm function[5,6]. Numerous potential interventions have been devised; they could consist of various exercises or training, specialised tools or methods, or they could be drugs (in the form of pills or injections) administered to aid arm mobility [7,8].

To mitigate the issues related to upper limb disorders due to stroke related disorder, this article aims towards proposing a wearable upper limb vest based on the Internet of Things (IOT) with integrated environment and RESTful (Representational State Transfer) web services has been suggested as a potential treatment tool for patients with upper-limb difficulties. A proposed web application that is a part of the proposed platform leverages RESTful services to facilitate user involvement with the system. Because of this, the integrated development environment of the recommended platform can make it possible for patients who are having this kind of clinical issue to get the support and guidance they need. Present article have been divided into two section, first section provides the overview of the system architecture of the wearable vest based and subsequent section provides the overview of webservices platform for rehabilitive services, followed by future scope and development.

### ***SYSTEM ARCHITECTURE AND IMPLEMENTATION***

An architectural diagram of the entire gadget is shown in (Figure 1. a). where the components box, motor, arm case, back support belt, etc. are displayed. This graphic gives a general idea of how to use the gadget and how it will be a perfect match for a patient. The system architecture shown in (Figure 1.a) , consists of a wireless sensor sub-system, a smart wireless Access Point (AP), Android-based display and control software. (Figure 1.b), shows the circuit test bench overview of the sensor sub-system in this drawing describes the circuit diagram of the whole circuit components. Here is the architecture and placement of each circuit component, 1) BreadBoard - Half Size, 2) Arduino Uno - R3, 3)HC - 05 Bluetooth Serial Module, 4) Voltage Regulator 5v, 5) Capacitor Ceramic 100nF, 6) Electrolytic Capacitor - 1uF/50V, 7) 10K Ohm Resistor, 8) Mini Pushbutton Switch, 9) NRF24L01 - 2.4G Wireless Transceiver Module, 10) Servo - Generic Continuous Rotation (Micro Size), 11) 9V Battery. (Figure1.c), schematic operative overview of overall vest along with brief application over view. With an Android device, doctors can adjust sensor sub-node parameters (such band-width and gain), evaluate sensed data, and get assessment results. Patients' personal accounts can be used to log in to the computer cloud and data cloud at several hospitals, ensuring an equitable assessment. For remote diagnosis and graded rehabilitation treatment, data can be uploaded and saved.



*a* – Schematic Overview of IOT vest connected via android device, consists of a wireless sensor sub-system, a smart wireless Access Point (AP), Android-based display and control software. *b* – shows the circuit test bench overview of the sensor sub-system. *c* – schematic operative overview of overall vest along with brief application overview

Figure 1 – Schematic Overview of IOT Based Upper Limb Exo-vest

The Wi-Fi master node and a number of sensor sub-nodes, such as motion, electromyogram (EMG), and gyrosensor, make up the wireless sensing sub-system, which is based on the IEEE 802.11g (Wi-Fi) protocol. A personal account is created for each patient, which doctors can use to access the management terminal. The Android device allows users to view real-time data plot charts for each sub-node, which helps medical professionals set up the sensors correctly and modify parameters. Data can be uploaded to the data cloud during operation when the sensors are properly installed. Results of the assessment are available on the Android device once it has been finished.

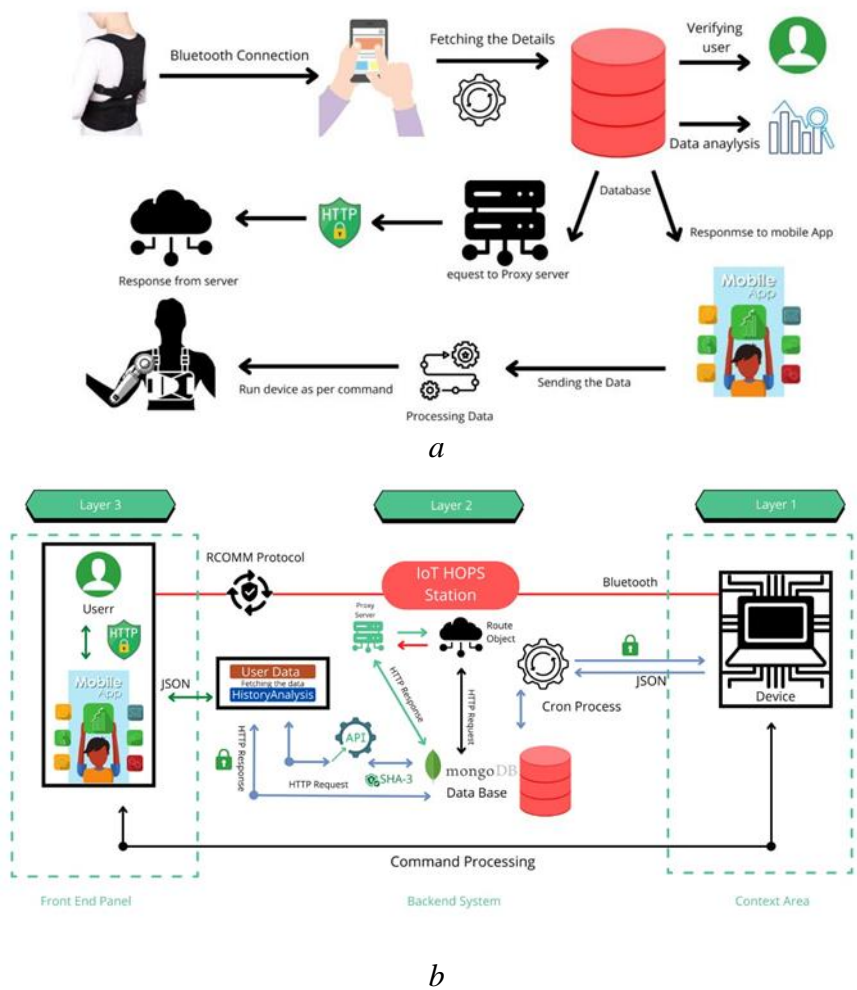
Utilizing a specialised application point interface (API) built on a Raspberry Pi, the wireless sensing sub-system is connected to either an Android device or data cloud during setup and operation, respectively. This AP uses the socket protocol to interact with the sensing sub-system and the Hypertext Transfer Protocol (HTTP) to communicate with the Android handset and the data cloud in order to reduce group latency during setup.

### **WEB-SERVICES PLATFORM FOR REHABILITATIVE SERVICES**

The services that are offered are discussed in this section. Data services and models for upper-limb rehabilitation are two categories of services. The data sources, interfaces, and ser-

vices that are offered are shown in Figure 2. The various services are numbered as follows: models, real-time data, historical data, and weather forecast (4). A REST API can be used to access these services. Information sharing uses JSON. The iVeg frontend, which was discussed at the conclusion of the preceding section, or the REST API can be used by customers to access these services.

The suggested design provides two different sorts of data services (Figure 2). The initial data service focuses on historical data (1). Users and services can now request database data thanks to it. The request parameters include the start date, end date, patient id, and sensor id.



a – Overview of architecture of web platform b – Layered architecture of overall web platform

Figure 2 – Web-Services platform overview of IOT based system

Real-time recovery of the most current sensor data is made possible by the second data service (2). Request parameters include station id and sensor id. Services 1 and 2 were built with the Node.js framework and employ JSON Web Tokens (JWT). Tokens are present in the request header. The system will check the tokens' expiration and validity dates. The Context Procedures, Backend, and Frontend levels of the proposed IoT platform's cloud architecture, shown in (Figure 2.b) This design enables disconnected working. The key benefit of this strategy is that it enables modifications in each layer without impacting how the other layers function. Each tier should have autonomous services, if not microservices. This solution enables the system to continue to build new system upgrades and integration options.

All context data is generated by the system's foundational layer. To create this information, physical equipment must be able to collect data from the outside world. These devices come equipped with a variety of microcontrollers and software for updating devices (sensors, actuators, and so on). Sensors are only used to acquire information and the actuators performs the actions on the environment. The backend is located in the middle of Figure 2.b. It deals with databases, REST services, data processing, and Layer 0 data extraction. Frontend clients could be built on top of this layer.

A REST API is used to reach the backend layer. There are two REST APIs available. The first one handles data persistence by gathering incoming OCB notifications. The other one does the remaining client-requested actions. Based on Node.js, both APIs. Node.js is lightweight and efficient, making it ideal for data-intensive real-time applications that operate across the distributed device. It uses an event-driven, non-blocking I/O architecture. It is necessary to have a horizontally scalable database since the backend needs to be scalable. Features for aggregation and sharding are also required. In order to meet those needs, MongoDB was chosen. JWT (JSON Web Token) is used to secure backend requests. On a token, JWT security is based. Users attempt to log in by sending their login information to the server (Backend), which then creates a JWT and transmits it to the user's browser. This JWT is required for every client request. Requests are not processed otherwise. Given that Backend is based on a collection of REST APIs, it may also be used as a base for the creation of unique frontends. MongoDB is compatible with the suggested architecture. It is a document-oriented, non-relational database. BSON, which is a binary representation of JSON, is used to store documents. Performance-related features, replicaset for high availability, and sharding for horizontal scaling are highlighted features.

## CONCLUSION AND FUTURE WORKS

The research for a rehabilitation evaluation system based on wearable sensors and IoT technologies was introduced in this publication. This work helps create smart rehabilitation evaluation systems for applications like telediagnosis, home rehabilitation, and hierarchical medicine. The designed architecture's adaptability allows for future demand-driven expansion of the processing capacity of the cloud. For additional functions, the sensing sub-system can be modified all the way up to the entire body. The proposed web service based IOT- based upper limb wearable vest platform will play a pivotal role in patient monitoring services and also play a key role in data tracking and data driven research for diagnostics and clinical rehabilitation.

## References

1. World Stroke Campaign. WSD2022\_Campaign\_Toolkit\_LR.pdf. <https://www.world-stroke.org/world-stroke-day-campaign/world-stroke-campaign>
2. Global Stroke Factsheet. *International Journal of Stroke*. 2022, Vol. 17(1) 18–29
3. C. Murray, Ry. Barber, K. Foreman, A. Ozgoren, F. Abd-Allah, S. Abera, et al., "Global, regional, and national disability-adjusted life years (DALYs) for 306 diseases and injuries and healthy life expectancy (HALE) for 188 countries, 1990–2013: quantifying the epidemiological transition". *Lancet*, vol.386, pp.2145-2191, 2015.
4. V. Pomeroy, A. Pramanik, L. Sykes, J. Richards, and E. Hill, "Agreement between physiotherapists on quality of movement rated via videotape." *Clin. Rehabil.*, vol.13, no.6, pp.1839-1847, 2014.
5. Mengjia Liao, "Research on the Wearable System and Algorithm for Hand function Rehabilitation Assessment in Stroke Patients," M.S. thesis, Dept. Electron. Eng., Fudan Univ., Shanghai, P.R.China, 2015.
6. Connolly, J. *Wearable Rehabilitative Technology for the Movement Measurement of Patients with Arthritis*. Ulster University, February 2015. Available online: <https://ethos.bl.uk/OrderDetails.do?did=1&uin=uk.bl.ethos.675471> (accessed on 3 August 2021).



7. N. Friedman, J. B. Rowe, D. J. Reinkensmeyer, M. Bachman, "The manometer: a wearable device for monitoring daily use of the wrist and fingers." IEEE J. Biomed. Health Inform., vol. 18, no. 6, pp. 2168-2194, 2014.
8. Mengjia Liao, "Research on the Wearable System and Algorithm for Hand function Rehabilitation Assessment in Stroke Patients," M.S. thesis, Dept. Electron. Eng., Fudan Univ., Shanghai, P.R.China, 2015.
9. Loncar-Turukalo T, Zdravevski E, Machado da Silva J, Chouvarda I, Trajkovik V Literature on Wearable Technology for Connected Health: Scoping Review of Research Trends, Advances, and Barriers J Med Internet Res 2019;21(9):e14017 doi: 10.2196/14017
10. 10. Vijayan, V.; Connolly, J.P.; Condell, J.; McKelvey, N.; Gardiner, P. Review of Wearable Devices and Data Collection Considerations for Connected Health. Sensors 2021, 21, 5589. <https://doi.org/10.3390/s21165589>

## **EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF INDUCTOR TOPOLOGIES: A MODIFICATION OF TRIANGULAR MODEL**

**Bhattacharjee S.<sup>1</sup>, Bandyopadhyay S.<sup>1</sup>, Sinha N.<sup>2</sup>, Banerjee A.<sup>3</sup>, Pal M.<sup>4</sup>, Neogi B.<sup>5</sup>, Nikitenko M.S.<sup>6</sup>**

<sup>1</sup>*Assistant Professor, Dept of ECE, Abacus Institute of Engineering and Management  
Nutangram Magra, Hooghly, West Bengal, India*

<sup>2</sup>*Student, Dept of ECE, JIS College of Engineering*

<sup>3</sup>*Associate in Cognizant Technology Solutions  
West Bengal, India*

<sup>4</sup>*Associate Professor, Dept of ECE, JIS College of Engineering*

<sup>5</sup>*Professor & HOD, Dept of ECE, JIS College of Engineering  
Kalyani, Nadia, West Bengal, India biswarupneogi@gmail.com*

<sup>6</sup>*Head of Laboratory, The Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of Siberian  
Branch of the RAS  
Kemerovo, Russia ltd.mseng@gmail.com*

**Abstract.** This paper represents a typical geometrical analysis of three dimensional (3D) inductor which is able to work with the high 'Q'- values for a wide band of frequencies. Here two different types of inductors have been designed. The design is nothing but the slight modification of triangular 3D inductor model of inductor on a same layer. As a result the design is showing the phase transition characteristics. There are so many methods of designing of 3D inductor, but our design uses a thin film of vanadium dioxide bar as a circuit switch and then it is used to make a full spiral coil of inductor. The experimental result is verified through the simulation for which some authentic software tool is opted. The experimental result shows a 29% variation in the value of inductance. After completing the design we have also analyzed the Q factor of the entire 3D inductor which is better with respect to the triangular model for less number of turns and may be beneficial for the designing low power microwave circuit.

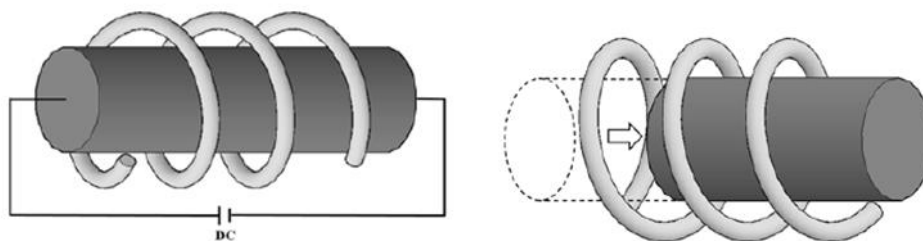
**Keywords:** 3D inductor, Q-value, vanadium dioxide, band width.

### **Introduction**

The concept of inductor was first proposed by the famous scientist Michel Faraday in 1830. There are so many uses of inductor are found in various applications. For example, Power conditioning circuit, RF and Microwave circuit. Continuous improvement of research work related to the inductor has improved the efficiency of the inductor a lot. One of them is tunable inductor. The tunable inductor had proved its efficiency up to the mark. In the same way the de-

signing of 3D inductor in the microwave frequencies are very much useful. The fabrication process of the 3D inductor has demonstrated by many researchers in a sophisticated way where advantages and disadvantages are clearly mentioned. The main intension of 3D inductor was to improve the quality factor of the inductor. For example, the Q-factor of an inductor on high resistivity silicon is 75 at 4GHz when the inductance is one nano Henry. There is no doubt that the designs of tunable inductor are flexible in design and also stable when it is used in RF frequency range. Some examples of the use of tunable inductor are impedance matching, voltage controlled oscillator, phase shifter etc. Recent technologies used to design a tunable inductor are using of switches or relay for separating the segments of inductor, controlling the magnetic field, management of coupling coefficient, movement of metal structure over the inductor coil. Each approach is used to design the inductor with high efficiency. This flaw of the designing of inductor is its intricate construction procedure caused by the unique magnetic materials. These inductors cannot be produced using a standard procedure. However, flexible designs and structures are offered by the various methods.

The picture 1 given above is representing the design of tunable inductor with a DC supply. The adjustable inductors are designed to be versatile and to work consistently in RF and microwave frequencies. Communication systems could make extensive use of stable, high-quality adjustable inductors for tunable filter elements, impedance matching networks, voltage-controlled oscillators, amplifiers, and phase shifter circuits. There are currently four common methods for designing a tunable inductor: (a) using switches or relays to separate or group inductor segments; (b) controlling magnetic materials in the tunable inductors to tune the magnetic field in the inductors; (c) controlling the magnetic coupling coefficient to tune the mutual-inductance between the primary coil and secondary coil; and (d) placing metal structure over the inductor coil to tune the magnetic flux through the inductor. Each method is frequently utilized to create high-performing adjustable inductors. Anyway, in this research work we are only interested about the geometry of the 3D inductor where our main intension to improve the Q factor over a wide range of frequency.



Picture 1 – Design of Tunable inductor

### Geometrical Analysis of 3D Inductor: - A short Literature Review

Assadsangabi, B et.al. [1] shows that tunable inductors are essential parts for circuits requiring re-configurability, channel selectable, RF filters and circuitry to adaptive matching networks in power systems. In this example, we show off a brand-new continuously tunable inductor that works by physically stretching the inductor traces. A pneumatic bubble actuator is surrounded by flexible conductors made of liquid metal, which enables the inductor to be compressed or expanded under pressure. With each technology node, integrated circuit feature size gets smaller, but connection delay has a bigger impact on overall delay. Thus, one of the most crucial jobs in the physical design of high performance circuits is to minimize the wire-length. Banerjee, K. [2] et.al. demonstrate a 3-D design pipeline for vertical integrated circuits in this study. The floor-planning and placement results indicate up to 50% less total wire-length and longest net length. As a result, we show that vertical integration can significantly reduce connectivity delay. Chow, E.M et.al [3] shows three-dimensional (3-D) architectures and innovative packaging and integration geometries, electrical through-wafer interconnects (ETWI), which

connect devices between both sides of a substrate, are essential parts for micro-electromechanical systems (MEMS) and integrated circuits (IC). In addition to being incompatible with currently available sensors, previously shown ETWI are also particularly application-specific, difficult to combine with conventional semiconductor production techniques, and do not allow for substantial processing on both sides of the wafer while in a research article Choi, E.H et. al. [4] conducted a studies involving the void-free Cu filling of a TSV (10-20  $\mu\text{m}$  in diameter with an aspect ratio of 5–7) by adjusting the plating DC current density and the additive SPS concentration in an effort to address the challenges associated with the fabrication of high-aspect-ratio TSVs. Initially, the change in the plating DC current density was used to estimate the copper deposit development mode in and around the trench and the TSV. Cu was electroplated at different rates at the top and bottom of the trench depending on the change in plating current density. Chuang, H.C et. al. [5] introduces a double-layer atom chip that offers users additional flexibility in the design of the magnetic field as well as increased variety in the design of the wire patterns. For use in atomic physics experiments, it is more practical. Between the top and bottom copper wires, an insulating layer made of SU-8 negative photo resist was utilized. According to the electrical measurement results, cables with a width of 100  $\mu\text{m}$  on top and bottom can support a 6 A current without burning out. This work also focuses on the double-layer atom chips that have been anodically bonded to a Pyrex glass cell and integrated with the through silicon via (TSV) approach, making it a desirable vacuum chamber for atomic physics experiments. Domann, J.P et. al. [6] developed and optimized the electroplating method for filling high aspect ratio through-silicon-vias (TSVs) in packed environments. The experimental power source was pulsed power, and different additive concentrations were prepared for the electroplating solution. To find the best approach, designed control variable experiments were carried out. The association between numerous experimental factors, such as current density (0.25-2 A/dm<sup>2</sup>), additive concentration (0.5-2 mL/L), and various forms of TSVs (circle, oval, and square), was extensively examined in the control variable studies. Through-silicon-via (TSV) technology has been proposed by Gambino, J.P et. al. [7] for use for a long time. However, the introduction of this technique into high scale manufacturing is quite new. The TSV fabrication processes, including etch, insulation, and metallization, are fully summarized in this publication. Along with the difficulties that come with using TSVs for backside processing, assembly, metrology, design, packaging, dependability, testing, and yield. The integration of silicon ICs in a heterogeneous fashion at high performance and cheap cost is made possible by a three-dimensional (3D) IC technology platform. Gutmann, R.J et. al. [8] describes a three-step thinning procedure, copper damascene patterning, and dielectric adhesive bonding to create inter-wafer interconnects between fully processed, wafer-to-wafer aligned ICs. The viability of the process flow is indicated by daisy-chain inter-wafer through test structures and compatibility of the production steps with 130 nm CMOS semiconductor devices and circuits. The development and presentation of fabrication technology for building parts for use in switched-mode power supply is based on MEMS procedures. We design, construct, and characterize a sacrificial multilayer electroplated capacitors, magnetic cores, and inductors [9]. A study had been conducted by the researcher Huang, C. et. al [10] that developed and optimized the electroplating method for filling high aspect ratio through-silicon-vias (TSVs) in packed environments. The experimental power source was pulsed power, and different additive concentrations were prepared for the electroplating solution. To find the best approach, designed control variable experiments were carried out. A multi-step current density method to simultaneously fill TSVs with various aspect ratios (20  $\mu\text{m}$  120  $\mu\text{m}$ , 30  $\mu\text{m}$  130  $\mu\text{m}$ , 40  $\mu\text{m}$  140  $\mu\text{m}$ , and 50  $\mu\text{m}$  150  $\mu\text{m}$ ) without voids was examined by Wang, Z et. al. [11]. The growth mode of electrodeposited Cu was first examined, along with the impacts of current density and TSV size. The experimental findings showed that for TSVs of small size (20  $\mu\text{m}$  120  $\mu\text{m}$ ), bottom-up filling was advantageous at low current density (1 mA/cm<sup>2</sup>). Some experimental result was observed by the researcher Kettner, P et. al. & Li, H et. al [12][13] where the outcomes indicated that while increasing current density accelerated electroplating, the quality suffered. When their concentrations were kept within an appropriate range,

additives performed satisfactorily. The electroplating outcome was also influenced by the TSV form. The TSV filling was comparatively better when the additive concentration was 1 mL/L and the current density was 1.5 A/dm<sup>2</sup>. The via density reached 70/mm<sup>2</sup> with the optimized parameters, and 500- $\mu$ m-deep TSVs with a high aspect ratio of 10:1 were completely filled in 20 hours. Rapid metal powder sintering was used to create a 3D coil with densely spaced through-silicon vias (TSVs) inserted in a silicon substrate. The impacts of several powder kinds were compared, along with the filling and sintering processes for micro-devices. Analysis was done by Lu, J. et al. [14] on the factors affecting the characteristics and processing speed. When more than one type of powder was employed in the experiment to prevent the segregation effect, the results showed that the pre-alloyed powder demonstrated the best uniformity and stability. The inductive performance will be better the smaller the particle diameter. The entire structure can be sintered close to the alloy's melting point, and as the temperature rises, the strength increases and the resistivity decreases. Due to the development of precise computer-aided design, interest in Micro-Electromechanical System (MEMS) antennas for Terahertz (THz) applications has grown significantly in recent years (CAD). The highly specific requirements of recently suggested MEMS antennas, particularly those with a broad frequency range, need for sophisticated optimization processes of augmenting existing designs [15]. Due to the development of precise computer-aided design, interest in Micro-Electromechanical System (MEMS) antennas for Terahertz (THz) applications has grown significantly in recent years (CAD). The highly specific requirements of recently suggested MEMS antennas, particularly those with a broad frequency range, need for sophisticated optimization processes of augmenting existing designs. Hence the need of 3D Inductor is essential [16]. The through silicon via (TSV) copper electroplating filling process is significantly impacted by pretreatments. By comparing cross-sectional photographs of materials that had been prepared with ultrasound and the vacuuming approach, we were able to compare the wetting effect in this investigation. To confirm the impact of the acid plating solution on the oxidation of the Cu seed layer, an electrochemical test was conducted by Li, Y. et al. [17]. Without any pretreatment, vias displayed a poor wet-ability and had significant bottom voids. The TSV prepared by vacuuming and ultrasound was effectively coated with a copper layer that displayed good wet ability. The fabrication of a triple-layer stacked TSV interposer for an eight RF chip switch matrix is demonstrated in this study. The interposer has around 600 TSVs, each of which has a 40 $\mu$ m diameter and a 4:1 aspect ratio [18]. The interposer measures 13.5 mm  $\times$  7.5 mm in total, yet it is only about 0.7 mm thick because of the triple-layer stacking. Following the procedure, the electrical characteristics of RDL and TSV on the interposer are evaluated, and it is discovered that their respective transmission losses at 4GHz are only around 0.2dB and 1.39dB. On the basis of a local growth velocity that is proportional to coverage of a catalytic species at the metal/electrolyte interface, a model of super conformal electrode position is developed by Moffat, T.P. et al. [19]. As a result of the electrolyte and catalyst reaction, the catalyst builds up at the interface. However, if the catalyst precursor concentration in the electrolyte is low, the changing interface area will cause surface coverage inside small features to change much more quickly. Roh, M.H. [20] et al. describes number of procedures, including through formation, filling with conductive material, wafer thinning, and chip stacking, are required for effective TSV technology for 3D packaging. For adapting the TSV method to industry with a lower manufacturing cost, high-speed through filling without defect is crucial among these procedures. The effects of different current types, such as direct current (DC), pulse current (PC), pulse reverse current (PRC), and periodic pulse reverse current (PPR), on Cu electroplating of TSV are detailed in depth in this study, along with results from recent investigations. High aspect ratio through-chip electrodes can provide the shortest connections and minimize signal delay [21]. Due to its strong compatibility with traditional multilayer connections in large-scale integration and back end-of-line procedures, copper has been chosen as that electrode material. The use of filling vias with a larger aspect ratio—10  $\mu$ m<sup>2</sup> and 70  $\mu$ m in depth—for through-chip electrodes is described in this study. To achieve flawless via filling, it is crucial to remove overhang at via tops. The multilayered printed circuit board industry is examined via a

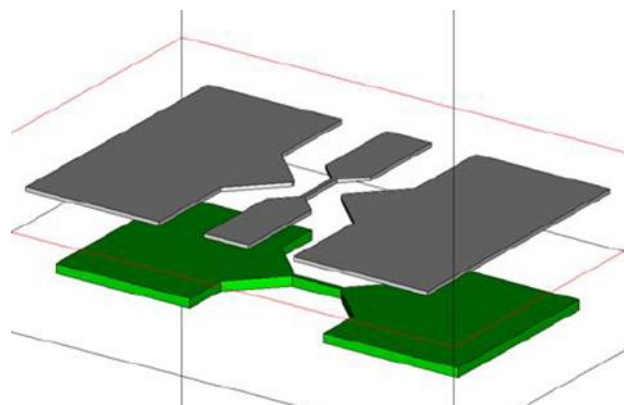
computational model for the micro-via fill process[22]. Both the mass transfer of copper and the existing additive species are included in the model. The mass balance of the additives is taken into account by the researcher Tenno,R et.al [23]and the layer of additives that are surface-adsorbed as well as on the surface of the cathode that is changing shape, where the mass balance of the adsorbed additives is influenced by the surface shape change and diffusive mass transfer along the surface. A study [24] examines the effects of 3-mercaptopropanesulfonate (MPS), polyethylene glycol (PEG), and polyethylenimine alkyl salt (PN) electroplating utilising quiet and ultrasonic methods on TSV filling. On TSV filling, the effects of various accelerator concentrations, current densities, and ultrasonic agitation are investigated. It is researched how MPS accelerates copper electrodeposition during TSV filling in order to determine the ideal accelerator concentration. The effects of various current densities on the TSV filling under quiet and ultrasonic settings are examined using the plating bath with identical additive conditions.

#### **Novelty of this work**

The study of 3D inductor has two goals:a) Designing and Analysis of 3D inductor models using electromagnetic simulation tools. b) Create a resonator using existing high-quality variable capacitor (Varactor). From the previous research work, we observed that the performance required by ‘Varactor-based circuits’ cannot be met by the current standard planar inductors because they lack a high enough Q factor.The 3D inductor has shown to be a useful structure for further enhancing inductor performance. When used in various electronic applications, such as electronically tunable filters, which are widely used in cell phones and other communication systems, such circuits can be very useful.In this research article, an innovative design related to 3D inductors has been proposed which is nothing but the slight modification of the triangular model. Additionally, the first verification of a resonator integrating 3D inductors is also been made. A complicated production procedure is devised to establish an effective approach to utilize the 3D inductors in electrical applications such as resonators and filters.The performance of the proposed design is satisfactory for less number of turns. For this type of design, the fabrication process is much easier, which has positive effects on the system's overall adaptability, size reduction, and cost reduction.

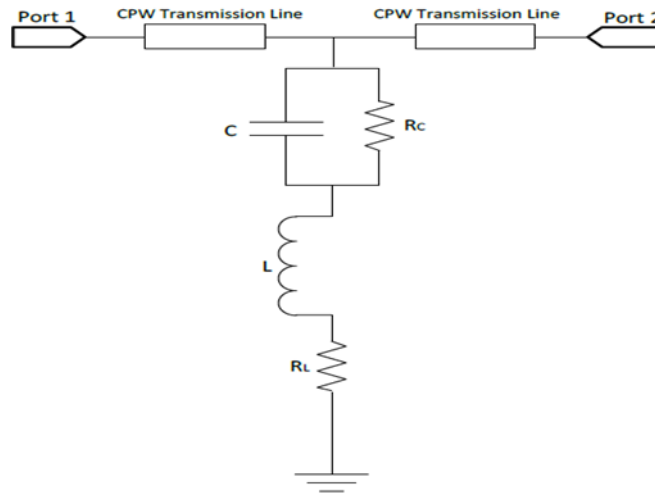
#### **High 'k' Dielectric Thin Film Based Resonator Circuit using a 3D Inductor**

A high-quality varactor that is comparable to the approach suggested in the previous work has been taken into consideration for use in this research work. Picture 2 given below illustrates the varactor's set-up, which consists of a 180 nm BST tunable layer sandwiched between two metal layers. The Pulsed Laser Deposition (PLD) System is the foundation for the BST thin film deposition technique [25][26].



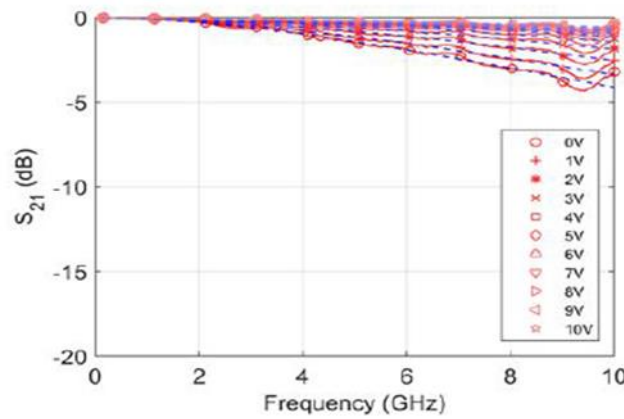
Picture 2 – 3D View of varactor

To determine the capacitance value of the varactor, an analogous schematic circuit, as shown in picture 3 given below which is employed to match the experimental data.



Picture 3 – The equivalent circuit model of varactor

Using models and experimental data, picture 4 displays the insertion loss and return loss against various DC bias voltages. Lower insertion loss with increased bias voltage suggests that the varactor's lowering capacitance is facilitating greater signal transmission to the output port.



Picture 4 – Experimental insertion loss

The equation validates the BST thin film's dielectric constant is given by the following equation.

$$\epsilon_r = \frac{C \times d}{\epsilon_0 \times A}$$

Where the parameter 'A' is overlap area, 'd' is the thickness of the BST thin film (180 nm).

#### General Method to realize the 3D inductor

The 3D inductor can be explained using fundamental electromagnetic theory, which will initially be applied to the most straightforward instance of the self-inductance of a single wire[27]. The mutual-inductance between parallel wires and non-parallel wires examples are then included in the theory's extension. In the final section of this chapter, the inductance of 3D inductor models will be determined and calculated. The general formula for single straight wire is given by the following formula [28].

$$L = \frac{\mu_0 \mu_r}{2\pi} L \left[ \ln \frac{2l}{r} - 1 + \frac{\delta_1}{l} \right]. \quad (1)$$

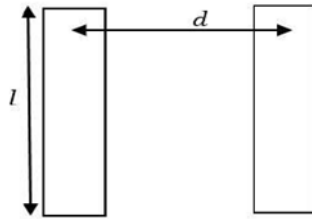
In the above equation ' $l$ ' is the length of the wire,  $\mu_0$  is the magnetic permeability, ' $\delta_1$ ' represents the arithmetic mean distance of the points of cross section. Now the general formula of round cross section and rectangular cross section are given by the equation (2)

$$\begin{cases} L_{Round} = \frac{\mu_0 \mu_r}{2\pi} L \left[ \ln \frac{2l}{\rho} - 1 + \frac{\mu_r}{4} \right] \\ L_{Rectangular} = \frac{\mu_0 \mu_r}{2\pi} L \left[ \ln \frac{2l}{B+C} + 0.5 - \ln(e) \right] \end{cases} \quad (2)$$

In the above equation, ' $\rho$ ' represents the radius, ' $B$ ' denotes the length and ' $C$ ' denotes the width of the rectangular wires.

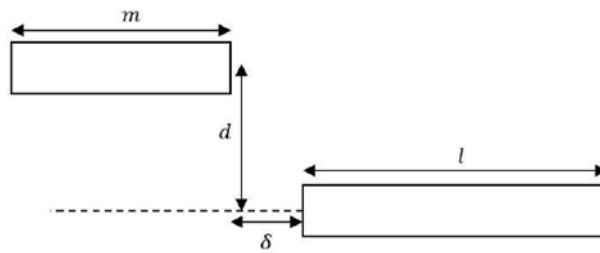
Picture 5 depicts the top view of two equal wires paralleled together. The exact formula for the mutual-inductance is expressed by using the assumptions that the length of each wire is ' $l$ ' and the center-to-center distance between the two wires is ' $d$ '.

$$\begin{cases} M_{\frac{l}{d} \leq 0.1} = \frac{\mu_0 \mu_r}{2\pi} \frac{1}{2} \frac{l^2}{d} \left[ 1 - \frac{1}{12} \frac{l^2}{d^2} + \frac{1}{40} \frac{l^4}{d^4} \right] \\ M_{0.1 \leq \frac{l}{d} \leq 10} = \frac{\mu_0 \mu_r}{2\pi} l \left[ \ln \left\{ \frac{l}{d} + \sqrt{1 + \frac{l^2}{d^2}} \right\} - \sqrt{1 + \frac{l^2}{d^2}} + \frac{d}{l} \right] \\ M_{\frac{l}{d} \geq 10} = \frac{\mu_0 \mu_r}{2\pi} l \left[ \ln \left\{ \frac{2l}{d} - 1 + \frac{l}{d} - \frac{1}{4} \frac{l^2}{d^2} + \dots \right\} \right] \end{cases} \quad (3)$$



Picture 5 – Mutual inductance between two equal rectangular wire

Picture 6 given below depicts the geometric arrangement of two wires that are paralleled in an uneven manner.



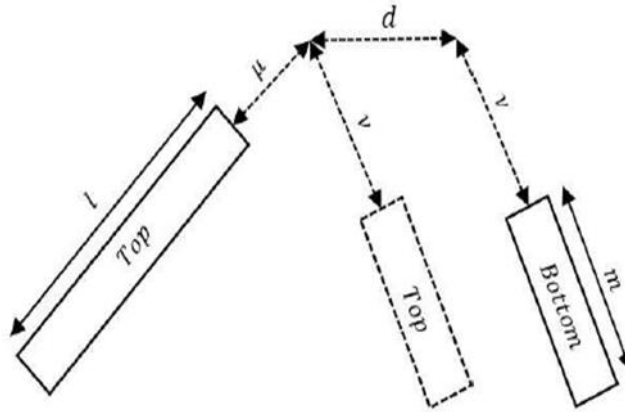
Picture 6 – Mutual inductance of two parallel rectangular wires that aren't the same sizes

The general formula for the wires' mutual inductance is expressed as.

$$M = \frac{\mu_0 \mu_r}{2\pi} \left[ \alpha \times \sinh^{-1} \frac{\alpha}{d} - \beta \times \sinh^{-1} \frac{\beta}{d} - \frac{\gamma}{d} + \delta \times \sinh^{-1} \frac{\delta}{d} \right] \quad (4)$$

In the above equation,  $\alpha = l + m + \delta$ ,  $\beta = l + \alpha$ ,  $\gamma = m + \alpha$  and  $m$  is a positive integer.

The model of two straight filaments arranged in any desired position can be used to determine the mutual-inductance of any non-parallel wires in a 3D inductor model. Picture 7 depicts the geometric arrangement[29][30].



Picture 7 – Mutual inductance between two rectangular wires that are not parallel

The generic formula for the wires' mutual inductance is stated by the following equation.

$$M = \frac{\mu_0 \mu_r}{2\pi} \cos \varepsilon [(\mu + l) \tanh^{-1} \frac{m}{R_1 + R_2} + (v + m) \tanh^{-1} \frac{l}{R_1 + R_4} \mu \cdot \tanh^{-1} \frac{l}{R_1 + R_4} - v \cdot \tanh^{-1} \frac{l}{R_2 + R_3} - \frac{\Omega d}{\sin \varepsilon}] \quad (5)$$

In the above equation,

$$R_1 = d^2 + (\mu + l)^2 + (v + m)^2 - 2 \cdot (\mu + l)(v + m) \cos \varepsilon$$

$$R_2 = d^2 + (\mu + l)^2 + (v)^2 - 2 \cdot (\mu + l)v \cos \varepsilon$$

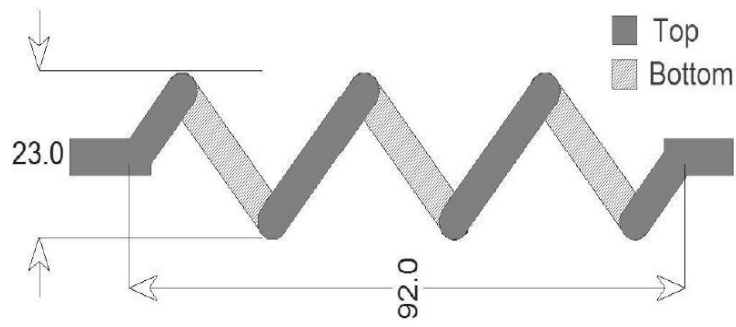
$$R_3 = d^2 + (\mu)^2 + (v)^2 - 2 \cdot (\mu v) \cos \varepsilon$$

$$R_4 = d^2 + (\mu)^2 + (v + m)^2 - 2 \cdot (\mu + m)v \cos \varepsilon$$

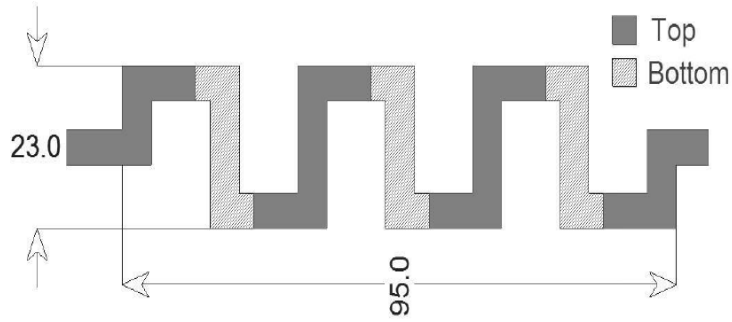
$$\Omega = \tan^{-1} \frac{d^2 \cos \varepsilon + \mu v \sin(\varepsilon)}{d \sqrt{\sin(\varepsilon)}}$$

Pictures 8a, 8b, 8c given below depicts three 3D inductor models (Zigzag, Square, Circular respectively) that shows that the wires are 10 m broad and have bias between the top and bottom wires that are 10 m high. Coils have three turns instead of only one. The electromagnetic fields and configuration of the square and circular models are comparable. As a result, only the square and zigzag models will be examined using fundamental electromagnetic theory in this section. The 3D inductors can be used in a resonator built on a 250nm thin sheet of barium 20 strontium titanate that has a 5m by 5m varactor base. The resonance points should shift to a higher frequency when a DC bias is supplied to the resonator because the capacitance of the varactor is reduced. When used in various electrical applications, such as high Q filters, which are frequently found in communication systems, such circuits can be quite useful [31].

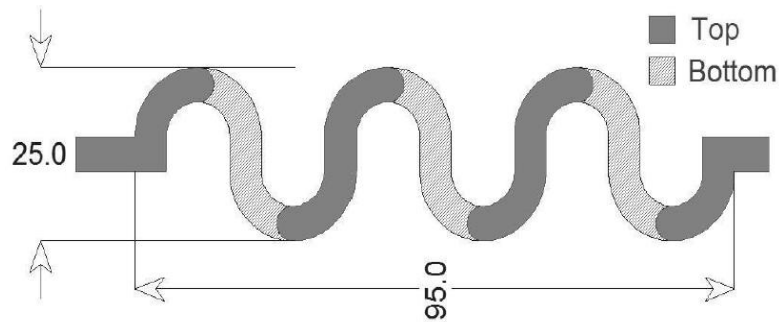




Picture 8a – Zigzag Model



Picture 8b – Square Model



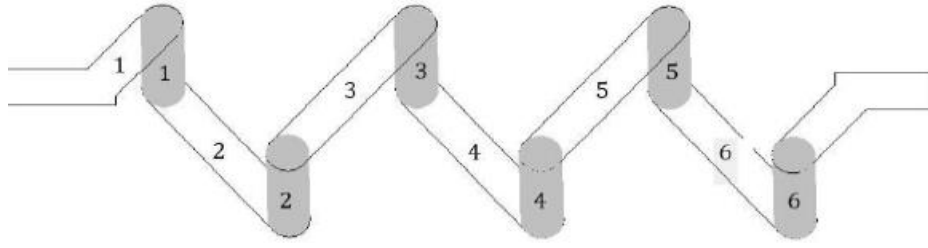
Picture 8c – Circular Model

Picture 9 shows a three-dimensional depiction of the triangular model with straight rectangular wires, non-parallel wires, and parallel wires. According to the picture 11, every post is regarded as a vertical parallel wire. In the upper portion, the mutual inductance of two equal parallel wires is already provided. The following equation gives the total mutual inductance.

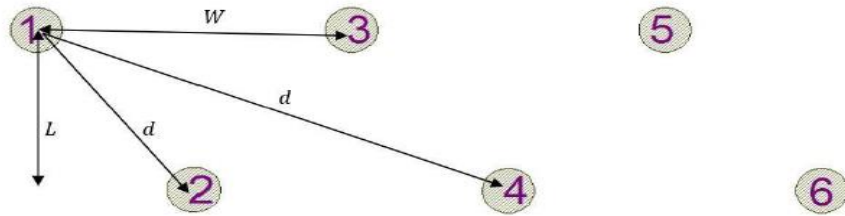
$$M_{Vertical} = \sum_{j=i+1}^N \sum_{i=1}^{i=N-1} (-1)^k M_{(i,j)}. \quad (6)$$

The space ' $d$ ' represents the distance between two wires and it is expressed by the following equation.

$$d = \sqrt{(k^* \times W)^2 + (K \times l)^2}. \quad (7)$$



Picture 9 – 3D View of triangular Model

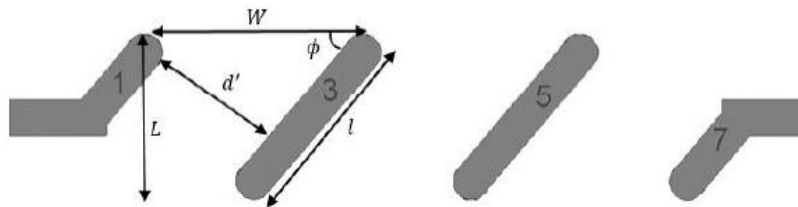


Picture 10 – Geometrical configuration

The last section's uneven parallel scenario includes the mutual inductance between horizontal wires that are on the same layer (top or bottom layer). There is no negative mutual inductance because the currents run through these wires in the same direction.

#### Our Proposed Design

In this article we have proposed a new method of designing a 3D inductor which is nothing but a slight modification of the picture 9, where the top mask layer geometric structure of a coil with three turns is shown in picture 11.



Picture 11 – Geometrical configuration of parallel wire on a same layer

In the last portion, the mutual inductance between horizontal wires on top and bottom layers falls within the non-parallel category. But our design shows how the initial top wires and other bottom segments are arranged geometrically. The formula for the total mutual-inductance of the entire design is expressed as follows.

$$M_{Horizontal (Non Parallel)} = \sum_{j=i+1}^N \sum_{i=1}^{i=N-1} k. M_{Non-parallel}(i, j). \quad (8)$$

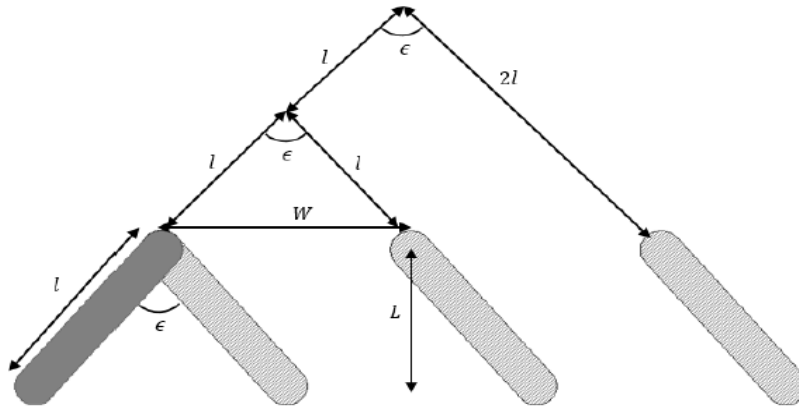
Where, " $M_{Non-parallel}(i, j)$ " is the mutual inductance of any two non-parallel wires that are on separate levels and conform to equation (8). The top wires are represented by the odd ' $i$ ' and the bottom wires are represented by the even ' $i$ '. The angle ' $\varepsilon$ ' for our proposed design is given by the following equation.

$$\varepsilon = 2 \times \tan^{-1} \frac{W}{2L}. \quad (9)$$

The height of the each wire is assumed to be ' $l$ ' for this design and other relevant parameters like ' $\mu$ ' & ' $v$ ' can be expressed by the following equation.

$$\mu = v = \frac{(j-i-1)}{2} \times l. \quad (10)$$

The geometrical configuration of the proposed design is given in the following picture 12.

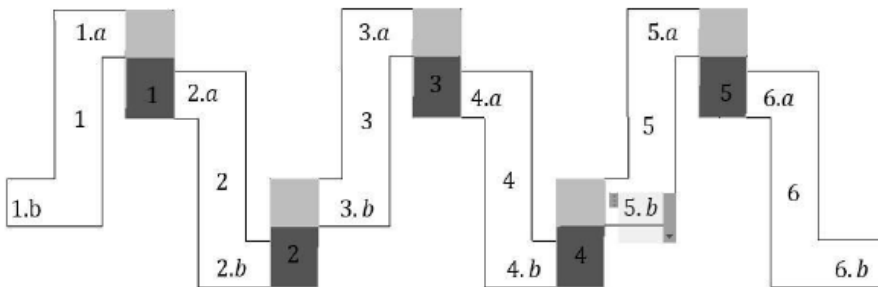


Picture 12 – The geometrical configuration of the proposed design

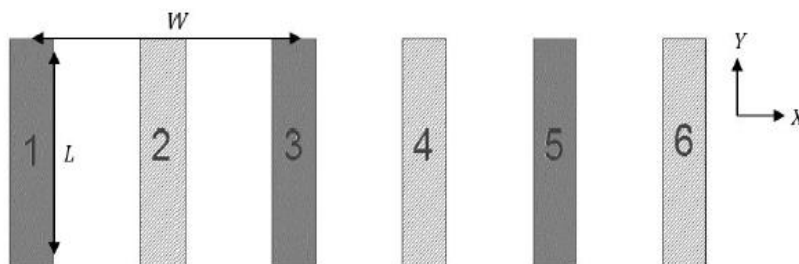
According to the above construction, the design formulas are given below.

$$M_{Total(Triangular)} = M_{Vertical} + M_{Horizontal(Paralleled)} + M_{Horizontal(Non Paralleled)} \quad (11)$$

The squared form with the paralleled wires and cases with straight rectangular wires is also investigated in this article which is shown in pictures 13 and 14. In the squared model, there are no wires that are not parallel. The equations which are already exists in the zigzag model, has been used to compute the self-inductance and the mutual-inductance between the posts.



Picture 13 – 3D View of the square model



Picture 14 – Geometric configuration of the Y direction wire

Depending on the relative position of the wires, there are three cases for the paralleled wires. As shown in pic 14, the first scenario involves all wires being on a horizontal layer and in the Y direction. The conclusion might be expressed as follows.

$$M_{Horizontal}(Y) = \sum_{j=i+1}^N \sum_{i=1}^{i=N-1} (-1)^k M_{Horizontal}(i,j). \quad (11)$$

$M_{Horizontal}(i,j)$  in the above equation the parameter ' $k$ ' is equal to 1 if  $(i + j)$  is odd. Otherwise ' $k$ ' is equal to zero. The distance ' $x$ ' for the above equation can be expressed as follows.

$$x = \sqrt{(k + h)^2 + (k^* + h)^2}. \quad (13)$$

In the above equation,  $k^* = \frac{(j-i)}{2}$  and  $h$  is the height of the post.

### Simulation Results

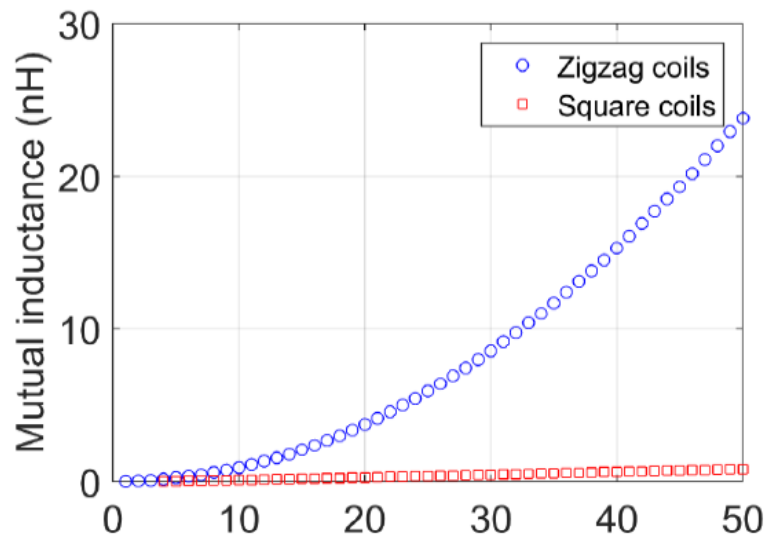
The MATLAB simulation for zigzag coils and our proposed design for 3D Inductor are given in this section. Due to the increased mutual-inductance in the zigzag configuration, as shown in tables 1 and 2, the simulation data demonstrated that the zigzag coils expand faster than the our design when more turns are utilized in the inductor. But in cases of less number of turn, our design is better than zigzag coil. Therefore, when many turns are employed in a construction for 3D inductors, the zigzag model is a superior option because due to the special non-parallel wire structure of zigzag coils, their mutual inductance usually increases more quickly than that of square coils. But there are so many applications where less number of turn for an inductor is required. In those particular cases our design is beneficial.

Table 1 – Inductance of 3D Inductor (Both Zigzag and Proposed Design)

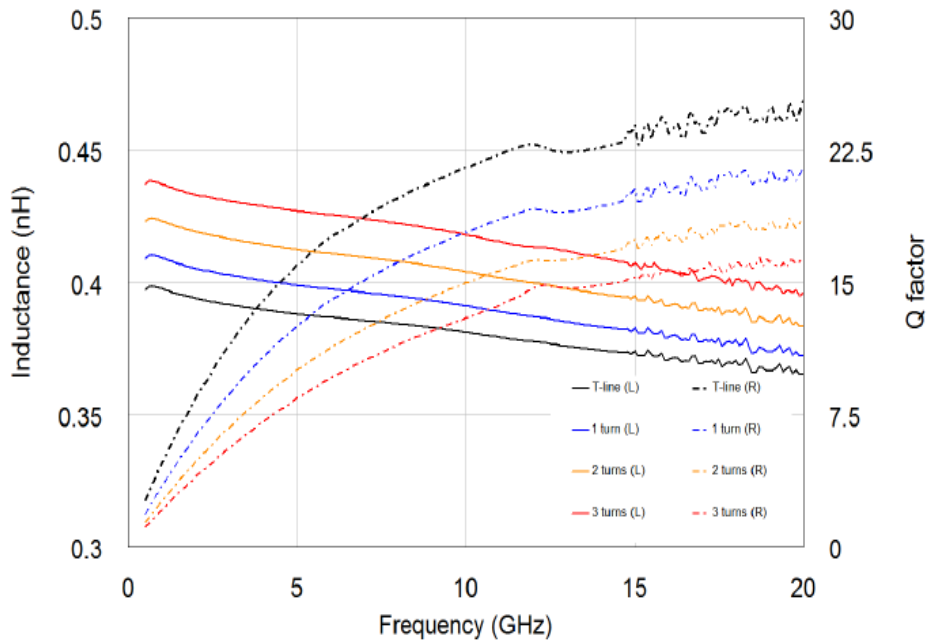
Specification & Number of Turns		$L_{Mutual}(nH)$	Wire Length ( $\mu M$ )	$L_{-self}(nH)$	$L_{-Total}(nH)$
Zigzag Model	1 Turns	.000356	271	0.23	0.23
	2 Turns	.0034	301	0.277	0.342
	3 Turns	.0673	206	0.398	0.331
Proposed Model	1 Turns	-.000356	251	0.410	0.23
	2 Turns	-.00034	123	0.341	0.322
	3 Turns	-.0122	321	0.351	0.05

Table 2 – Inductance of 3D Inductor for resonator(Both Zigzag and Proposed Design)

Specification & Number of Turns		$L_{Mutual}(nH)$	Wire Length ( $\mu M$ )	$L_{-self}(nH)$	$L_{-Total}(nH)$
Zigzag Model	1 Turns	.00341	163	0.22	0.19
	2 Turns	.0703	229	0.30	0.16
	3 Turns	.069	197	0.311	0.303
Proposed Model	1 Turns	-.00998	161	0.388	0.321
	2 Turns	-.0022	101	0.4	0.423
	3 Turns	-.0122	98	0.412	0.016

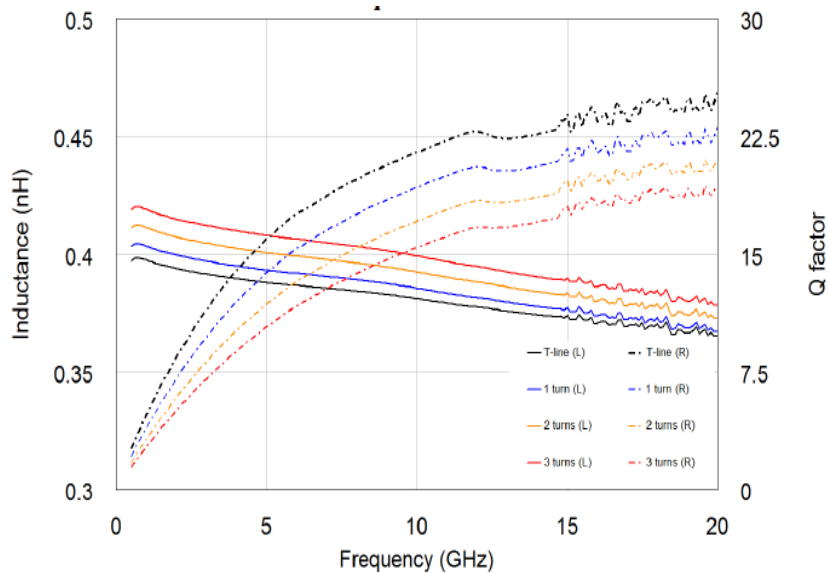


Picture 15 – Mutual inductance between zigzag and Square coil



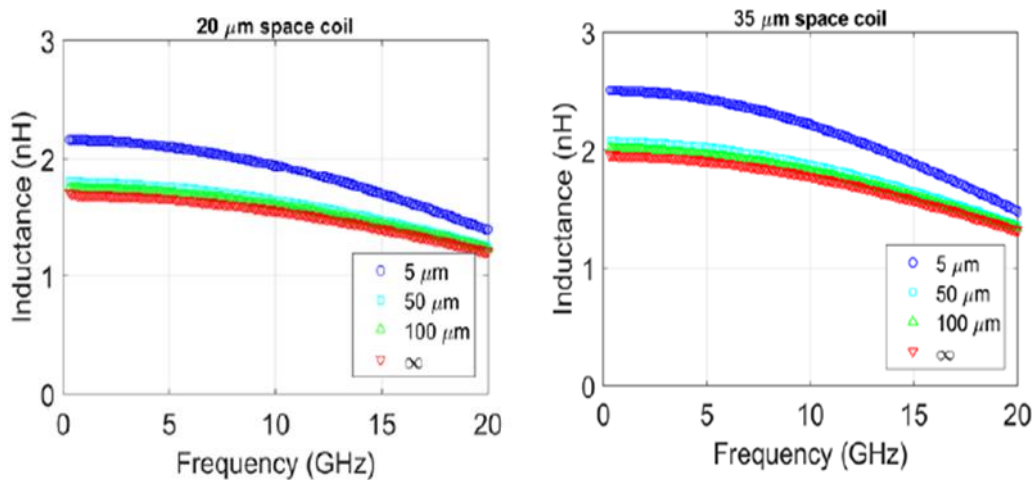
Picture 16 – Inductance & Q factor Vs Frequency

The inductance and Q factor of the zigzag coil are plotted in the above picture 16 with the measurement frequency ranging from 0.5GHz to 20GHz. With more turns, the inductance rises from 0.38nH to 0.42nH, increasing the mutual and self-inductance. However, because resistance is rising more quickly, the Q factor also falls at the same time.



Picture 17 – Inductance & Q factor Vs Frequency for our proposed design

Now we are going to investigate the experimental result of our proposed design. The inductance and Q factor of the newly proposed coil are plotted in the above pic 17 with the measurement frequency ranging from 0.5GHz to 20GHz. With more turns, the inductance rises from 0.24nH to 0.36nH, increasing the mutual and self-inductance. However, because resistance is rising more quickly, the Q factor also increases at the same time.



Picture 18 – Inductance Versus Frequency for different space between two turn

Finally we have also investigated our proposed designed with respect to the frequency considering different spacing between the two successive turns of the coil. From the above picture 18, it has been observed that, with the increment of frequency the inductance falls in a almost linear fashion which is the another aspect of the proposed design.

### Conclusion

In this research work, two distinct configurations of a 3D inductor were proposed and tested via simulation. Due to its distinctive non-parallel structures, the zigzag configuration always offers the highest mutual-inductance, and it also increases considerably more quickly than other arrangements. When more than 55 zigzag turns are employed in the inductors, the inductance of zigzag coils can reach 20nH, with the exception of self-inductance. Only 3nH of additional inductance may be obtained for 55 turn inductors in the other configurations. On the other hand, due to the unexpected resistance the simulation of the triangular 3D inductors demon-

strates that more turns result in higher inductance and worse quality factor. As a result, both the zigzag coils and triangular coil shows lowest quality factor. In this article, two unique inductor types have been produced. Only a little modification has been made to the same-layer triangular 3D inductor model. As a result, the design demonstrates the phase transition properties. There are different techniques to make a 3D inductor, however in our concept; a circuit switch made of a thin coating of vanadium dioxide on a bar is used before a full spiral inductor coil is made. The experimental result is validated through simulation, which makes use of a trustworthy software tool. The experiment caused only a 29% change in inductance value with high Q value.

### References

1. Assadsangabi,B. ,Ali,M.S.M., Takahata,K (2013). “Planar variable inductor controlled by ferrofluid actuation,” *IEEE Trans. Magn.*, vol. 49, no. 4, pp. 1402–1406.
2. Banerjee, K.; Souri, S.J.; Kapur, P.; Saraswat, K.C. (2001). “3-D ICs: A novel chip design for improving deep-submicrometer interconnect performance and systems-on-chip integration. Proc.” *IEEE*, 89,pp-602–633.
3. Chow,E.M.; Chandrasekaran,V.; Partridge,A.; Nishida,T.; Sheplak,M.; Quate, C.F.; Kenny, T.W. (2002). “Process compatible polysilicon-based electrical through-wafer interconnects in silicon substrates.” *J. Microelectromech. Syst.*, 11, 631–640.
4. Choi,E.H.; Lee,Y.S.; Rha,S.K., (2012).“Effects of Current Density and Organic Additives on via Copper Electroplating for 3D Packaging” Published in *Korean J. Mater. Res.* 22, 374–378.
5. Chuang,H.C.; Li,H.F.; Lin,Y.S.; Lin,Y.H.; Huang, C.S. (2013). “The development of an atom chip with through silicon vias for an ultra-high-vacuum cell”. *J. Micromech. Microeng.* 23, 085004.
6. Domann,J.P.; Chen,C.; Sepulveda,A.E.; Candler,R.N.; Carman,G.P. (2018). “Micro-Motors with Deterministic Single Input Control”, arXiv:1802.09420.
7. Gambino,J.P.; Adderly,S.A.; Knickerbocker,J.U. (2015). *An Overview of Through-Silicon-Via Technology and Manufacturing Challenges*; Elsevier Science Ltd.: Amsterdam, The Netherlands,
8. Gutmann,R.J.; Lu,J.Q.; Devarajan,S.; Zeng,A.Y.; Rose,K. (2004) “Wafer-level three-dimensional monolithic integration for heterogeneous silicon ICs. In *Proceedings of the Topical Meeting on Silicon Monolithic Integrated Circuits in RF Systems*, Atlanta, GA,USA, 8–10 September; pp. 45–48.
9. Gallé,W.P. (2012) “MEMS-Based Fabrication of Power Electronics Components for Advanced Power Converters; Georgia Institute of Technology: Atlanta, GA, USA,
10. Huang,C. (2015)“High Performance Through-Silicon-Via in 3D Interconnection (TSV)”; Tsinghua University: Beijing,China,
11. Wang,Z.;Wang,H.; Cheng,P.; Ding,G.; Zhao,X. (2014). “Simultaneous filling of through silicon vias (TSVs) with different aspect ratios using multi-step direct current density. *J. Micromech. Microeng.*, 24, 085013.
12. Kettner,P.; Kim,B.; Pargfrieder,S.; Zhu,S. (2008). “New Technologies for advanced high density 3D packaging by using TSV process.” In *Proceedings of the Electronic Packaging Technology & High Density Packaging*, Shanghai, China, 8–31 July; pp. 43–45.
13. Li,H. , Liu,J., Xu,T. , Xia,J., Tan,x. (2018). “Fabrication and Optimization of High Aspect Ratio Through Silicon vias Electroplating foe 3D Inductor” ,Published in *MDPI*, Vol :3 , pp - 528
14. Lu,J.-Q. (2009). “3-D hyper integration and packaging technologies for micronano systems.” *Proc. IEEE*, 97, 18–30.
15. Lai,X.H.; Ding,F.; Xu,Z.G.; Wu,W.G.; Xu,J.; Hao,Y.L. (2008). “Suspended nanoscale solenoid metal inductor with tens-nH level inductance.” In *Proceedings of the International Conference on MICRO Electro Mechanical Systems*,Wuhan, China, 13–17 January; pp. 1000–1003.

16. Lee,J.; Lee, J.; Bae, J.; Bang,W.; Hong,K.; Lee,M.H.; Pyo,S.G.; Kim,S.; Kim,J.G. (2006). “An Approach to the Development of Organic Additives for Electro-deposition of Narrow Copper Interconnects.” *Surgery*, 74, 562–569.
17. Li,Y.; Cao,H.; Feng,X.; Ling,H.; Li,M.; Sun,J. (2013). “Effect of different pretreatments on through silicon via copper filling.” In *Proceedings of the International Conference on Electronic Packaging Technology*, Dalian, China, 11–14 August; pp. 169–172.
18. Meng,W.; Guan,Y.; Zeng,Q.; Chen,J.; Jin,Y. (2016). “Fabrication process of a triple-layer stacked TSV interposer for switch matrix consisting of eight RF chips.” In *Proceedings of the Electronics Packaging Technology Conference*, Singapore, 30 November–3 December; pp. 666–669.
19. Moffat,T.P.; Wheeler,D.; Huber,W.H.; Josell,D. (2001). “Superconformal Electro-deposition of Copper[*Electrochemical and Solid-State Letters*, 4, C26 (2001)]. *Electrochem. Solid-State Lett.*, 4, L5.
20. Roh,M.H.; Lee,J.H.; Kim,W.; Pil Jung,J.Cu (2013). filling of TSV using various current forms for three-dimensional packaging application. *Solder. Surf. Mt. Technol.*, 25, 898–912.
21. Sun,J.J.; Kondo,K.; Okamura,T. (2009) “High-Aspect-Ratio Copper Via Filling Used for Three-Dimensional Chip Stacking.” In *Proceedings of the Electronic Components and Technology Conference*, San Diego, CA, USA, 26–29 May; pp. 658–662.
22. Tenno,R.; Pohjoranta,A. (2008). “An ALE Model for Prediction and Control of the Microvia Fill Process with two Additives.” *J. Electrochem. Soc.*, 155, D383–D388.
23. Tian,Q.; Cai,J.; Zheng,J.; Zhou,C.; Li,J.; Zhu,W. (2017). “Copper Pulse-Reverse Current Electro-deposition to fill Blind Vias for 3-D TSV Integration.” *IEEE Trans. Compon. Packag. Manuf. Technol.*, 6, 1899–1904.
24. Wang,F.; Zeng,P.; Wang,Y.; Ren,X.; Xiao,H.; Zhu,W. (2017). “High-speed and high-quality TSV filling with the direct ultrasonic agitation for copper electrodeposition. *Microelectron. Eng.*, 180, 30–34.
25. Wei,H.; Shi,K. (2014). “Numerical study of TSV Copper Deposition with Multi-additives. *Electron. Process. Technol.*,4, 239–241.
26. Wu,H., (2013). “The Study on Copper Electro-Deposition in Through Silicon Vias; Dalian University of Technology” : Dalian, China.
27. Wang,Z.;Wang,H.; Cheng,P.; Ding,G.; Zhao,X. (2014). “Simultaneous filling of through silicon vias (TSVs) with different aspect ratios using multi-step direct current density”. *J. Micromech. Microeng.*, 24, 085013.
28. Xu,L.; Dixit,P.; Miao,J.; Pang,J.H.; Zhang,X.; Tu,K.N.; Preisser,R. (2007). “Through-wafer electroplated copper interconnect with ultrafine grains and high density of nanotwins” . *Appl. Phys. Lett.*, 90, 5743.
29. Xu,C.; Wang,X.; Wang,Y.; Xu,M.; Hu,C.; Liu,S. (2012). Void free filling of TSV vias by bottom up copper electroplating for wafer level MEMS vacuum packaging. In *Proceedings of the 2012 International Conference on Electronic Packaging Technology & High Packaging*, Guilin, China, pp. 64–67.
30. Xiao,H.;Wang,F.;Wang,Y.; He,H.; Zhu,W. (2017). “Effect of Ultrasound on Copper Filling of High Aspect Ratio Through-Silicon Via (TSV).” *J. Electrochem. Soc.*, 164, D126–D129.
31. Yi’nan,L.I.; Jian,C.A.I.; Dejun,W.A.N.G.; Qian,W.A.N.G.; Tiwei, W.E.I. (2012). “Optimizing Copper Filling Process For Through Silicon Via (TSV).” *Equip. Electron. Prod. Maruf.*, 41, 6–10.



## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА АНАЛИЗА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТОВ И ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА БАЗЕ МЕТОДОЛОГИИ ДОКАЗАТЕЛЬНОЙ МЕДИЦИНЫ

Крюков А.В., Купчик Б.М., Новиков А.А., Суриков К.Э., Коровин Е.В., Купчик М.Б.

ООО «ФармФрейм»  
г. Москва, Россия, kupchikbm@pharmframe.ru

**Аннотация.** Разработана автоматизированная система, позволяющая на базе доказательной медицины, анализировать эффективность использования известных лекарственных препаратов, выявлять препараты с низким уровнем доказанной эффективности и подбирать им высокоэффективную замену. Имеющийся в составе предложенной системы модуль межлекарственного взаимодействия дает возможность избежать потенциальных нежелательных реакций при выборе терапии.

**Ключевые слова:** доказательная медицина, фармакоэкономический анализ, ABC/VEN анализ, PharmFrame.

**Abstract.** According to evidence-based medicine methodology, an automated system was developed. It allows to analyze drugs' efficacy, to identify drugs with a low level of proven efficacy and to select a highly effective replacement for it. Drug-to-drug interaction module included in the proposed system makes it possible to avoid potential adverse events when prescribing a therapy.

**Keywords:** evidence-based medicine, pharmaco-economical analysis, ABC/VEN analysis, PharmFrame.

Согласно указу Президента РФ [1] обеспечение доступности, эффективности и безопасности медицинской помощи является важнейшей задачей. Развитие и внедрение инновационных методов диагностики, профилактики и лечения, а также основ персонализированной медицины; совершенствование процессов организации медицинской помощи на основе внедрения информационных технологий выступают в качестве приоритетных проектов [2]. В настоящее время решение вопросов оптимизации затрат бюджетов всех уровней, выделяемых на медикаментозное лечение, повышения безопасности лечения невозможно реализовать без создания и применения на практике эффективных автоматизированных систем анализа закупаемых лекарственных препаратов (ЛП).

Ведущим инструментом аналитики, фокус которого направлен на обеспечение помощи в принятии решений в сфере финансирования и менеджмента фармацевтической продукции, выступает фармакоэкономическая оценка [3]. По имеющимся данным [4] в 2020 и 2021 годах на ЛП, не входящие в перечень жизненно необходимых и важнейших лекарственных препаратов (ЖНВЛП) или не зарегистрированные в Государственном реестре лекарственных средств (ГРЛС), было затрачено 30,7% и 37,9% от стоимости всех ЛП, соответственно. Использование в клинической практике ЛП с недостаточными доказательствами их эффективности может существенно снижать качество оказываемой медицинской помощи, а также проводить к неэффективному использованию бюджетных средств. Ярким примером широкого использования в клинической практике ЛП с низким уровнем доказательной базы служит применение ноотропных средств. По результатам обзора исследований сравнения стандартной терапии и терапии с добавлением ноотропных препаратов при ишемическом инсульте, проведенного Кокрейн, сделаны выводы, что добавление ноотропов никак не повлияло на риск смерти после инсульта в сравнении с группой, получавшей стандартную терапию, но увеличило количество нежелательных реакций (НР) [5]. Результаты проведенного VEN-анализа закупаемых лекарственных средств в Дальневосточном регионе показали, что в группу препаратов с недоказанной эффективностью вошло 29% лекарственных препаратов, что составило 3% от общих затрат на ЛП.

Полипрагмазия также повышает риск межлекарственных взаимодействий. Потенциально опасные сочетания лекарственных средств приводят к серьезным клиническим и экономическим проблемам системы здравоохранения в целом, поскольку вызывают не-

желательные реакции различной степени клинической значимости, вплоть до летального исхода.

Два приведенных фактора определяют неоптимальное обращение лекарственных средств в медицинских организациях [6], что может приводить к снижению эффективности и безопасности фармакотерапии, а также к увеличению затрат на оказание медицинской помощи и закупку лекарственных препаратов.

Клинико-экономический анализ - один из основополагающих аспектов повышения качества медицинской обслуживания, для чего первостепенным является оптимизация структуры приобретения и применения ЛП, повышение их качества и ассортимента, что в общей сложности будет способствовать повышению качества медицинской помощи. Тщательный мониторинг рациональности закупок, количества и качества используемых для терапии ЛП, целесообразность их назначений, лекарственных взаимодействий и развития нежелательных реакций (НР), проведение ABC/VEN и DDD-анализа, которые включены в функциональные обязанности врачей – клинических фармакологов, влияют на качество и безопасность лечебных мероприятий. На сегодняшний день ABC/VEN-анализ является наиболее известным инструментом, позволяющим дать оценку эффективности использования материальных и финансовых ресурсов [7]. Он рекомендован к применению Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) и используется в практике здравоохранения во всем мире с 1981 года. VEN-анализ осуществляется путем распределения ЛП специалистами внутри медицинского учреждения: V (Vital) – жизненно необходимые ЛП; E (Essential) – ЛП, применяемые для терапии эффективные при лечении менее опасных, но «серьезных» заболеваний; N (Non-essential) – препараты с сомнительной эффективностью, дорогостоящие с симптоматическими показаниями. ABC-анализ, как метод оценки структуры расходов, представляет собой распределение лекарственных препаратов по трем классам (А, В и С) в зависимости от объемов их потребления на протяжении какого-либо определенного периода. Объем потребления определяется как произведение стоимости единицы препарата на количество отпущенных упаковок. ABC-анализ позволяет рассмотреть потребление ЛС в экономической перспективе, свести к минимуму необоснованные затраты и устранить возможные нарушения в сфере логистики. При этом группа А – это доля препаратов, на которые расходуется 80% от финансирования на ЛП; группа В – 15 % от затрат на ЛП; класс С – 5% затрат на ЛП.

Именно эти методы, а также экспертный анализ, положены в основу применяемых в настоящее время систем поддержки принятия решений (СППР). К сожалению, существующие процессы оценки медицинских технологий непрозрачны и даже ошибочны, требуют больших временных затрат на этапе формирования клинических рекомендаций и при последующем принятии решений медицинскими работниками и организаторами здравоохранения.

Для создания объективно точной и прозрачной автоматизированной системы поддержки принятия решений в клинической практике предлагается использовать методологию и принципы доказанной эффективности ЛП. Система базируется на наиболее полном перечне международных исследований высшего уровня доказательности. Синтезированные алгоритмы и программное обеспечение PharFrame производят автоматический анализ всех опубликованных статей с результатами рандомизированных клинических исследований, мета-анализов, подтверждающих наличие доказанной эффективности лекарственных препаратов, зарегистрированных в РФ. Система PharmFrame запатентована [8], программное обеспечение (ПО) внесено в реестр российского ПО [9].

Основной задачей PharmFrame является оптимизация закупок лекарственных препаратов при помощи фармакоэкономического анализа и запатентованной системы скоринга. PharmFrame включает в свой состав модули анализа:

1. ABC/VEN анализа на основании системы скоринга лекарственных средств. Это позволяет перераспределить средства бюджета с лекарственных средств с недоказанной эффективностью на более эффективные препараты;

2. взаимозаменяемости препаратов по международной классификации АТХ. Это позволяет пользователю сравнивать препараты между собой из одной и той же фармакологической группы;
3. рекомендаций лекарственных средств (рекомендован/не рекомендован/включен), включенных в международные клинические рекомендации. Это позволяет пользователю принимать решение о назначении ЛП, базируясь на международном опыте;
4. взаимозаменяемости лекарственных средств, рекомендованных национальными клиническими рекомендациями. Это позволяет пользователю анализировать применимость лекарственных препаратов по различным показаниям/нозологиям;
5. межлекарственных взаимодействий. Это позволяет подбирать лекарственную терапию с меньшей вероятностью возникновения нежелательных реакций, связанных с возможным взаимодействием двух препаратов между собой.

После авторизации в ПО PharmFrame пользователь получает возможность задать торговые наименования ЛП или действующие вещества, планируемый или фактический объем закупок. Система автоматически формирует отчет с фармакоэкономическим анализом, рисунок 1.

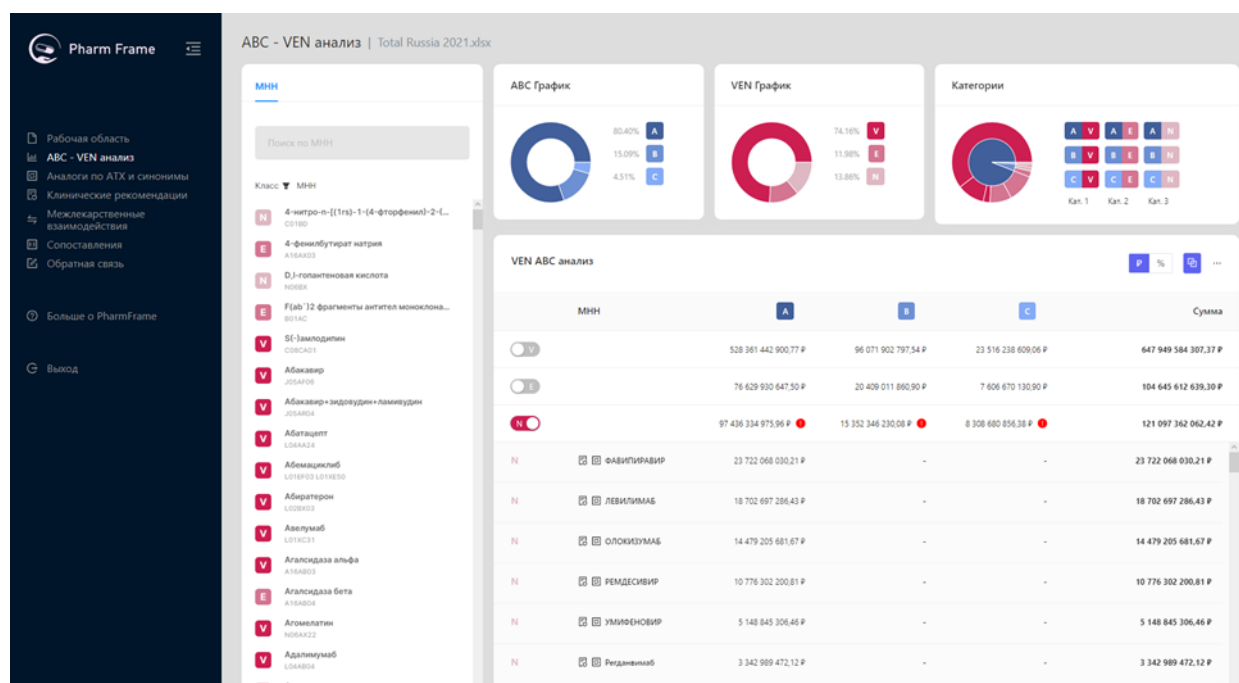


Рисунок 1 – ABC/VEN анализ

Программа позволяет осуществлять поиск анализируемого действующего вещества, определить категорию (А, В, С, V, E и N) и формировать последующие отчеты о долях анализируемого препарата в общем объеме закупок пользователя (модуль 1). После завершения работы модуля 2 система рекомендует перечень ЛП на замену выявленных в ходе анализа в модуле 1 препаратов с низким уровнем доказанной эффективности. При желании пользователь может вывести на экран обоснование присвоенной категории V, E или N, рисунок 2. Каждая ссылка активна и позволяет развернуть полный текст статьи с результатами клинических исследований анализируемого ЛП.

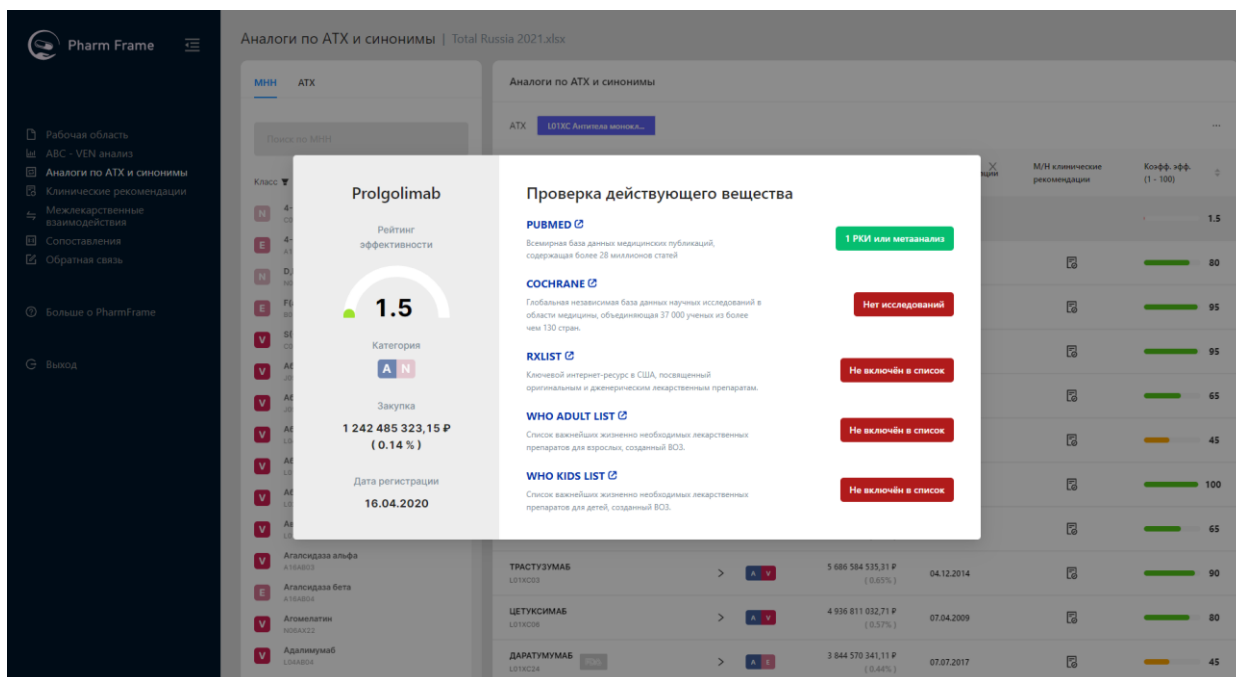


Рисунок 2 – Карточка препарата

В рамках реализации модуля 3 система автоматически формирует отчет о вхождении анализируемого ЛП в международные клинические рекомендации, рисунок 3. Каждая рекомендация подкреплена соответствующей ссылкой на официальный опубликованный источник клинической рекомендации.

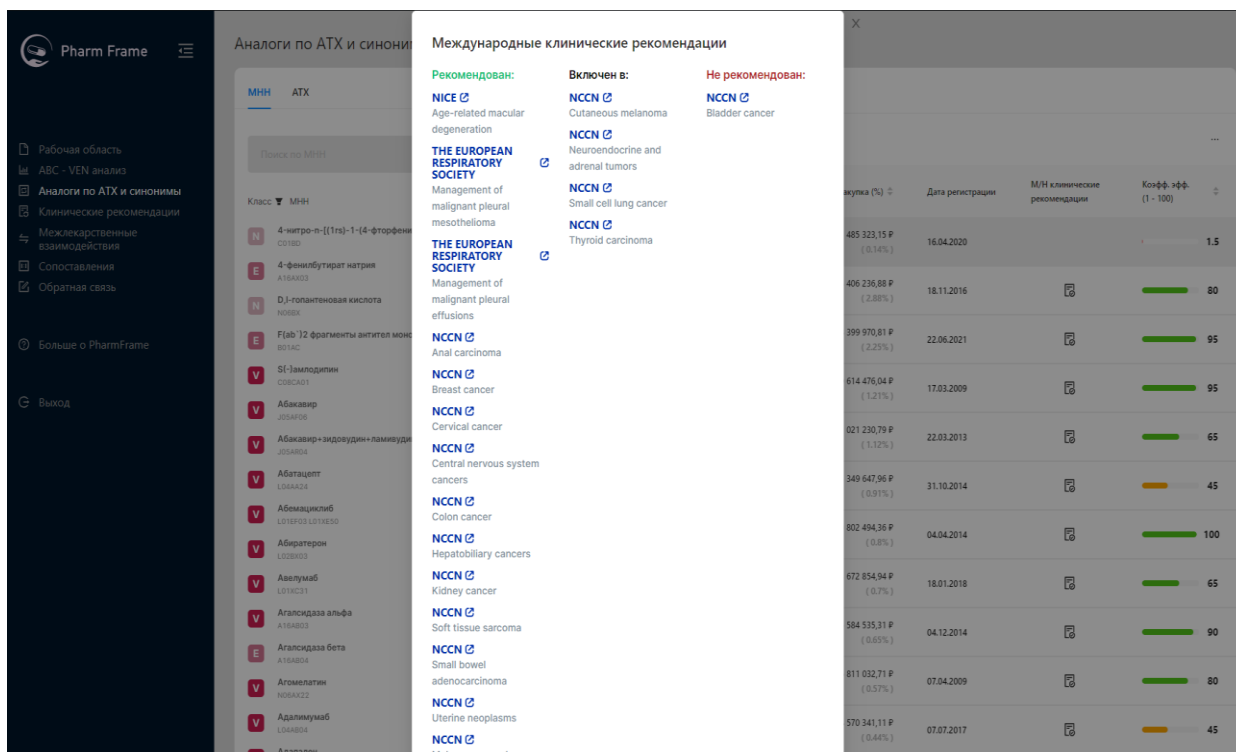


Рисунок 3 – Международные клинические рекомендации

При исполнении алгоритма модуля 4 PharmFrame позволяет сформировать отчеты о перечне клинических рекомендаций по применению анализируемого ЛП и перечню ле-

карственных средств, рекомендованных для терапии той же нозологии, что и у анализируемого препарата, рисунок 4.

МНН	Категория	Закупка (%)	Дата регистрации	М/Н клинические рекомендации	Коэфф. эфф. (1 - 100)
ОКСАЛИПЛАТИН	L01XA03	1 612 296 106,44 P (0,18%)	02.03.2007		100
ДЕКСАМЕТАЗОН-НЕОМИЦИН-ПОЛИМИКСИН	S02CA06, H02AB02, S01BA01, S01CA01, S03CA01	0,00 P (0%)	17.08.2007		100
ТЕМОЗОЛОМИД	L01XA03	197 601 626,74 P (0,02%)	09.07.2010		85
ЦИКЛОФОСАМИД	L01XA01	169 940 186,53 P (0,02%)	30.07.1985		100
МЕСНА	V03AF01	53 908 248,28 P (0,1%)	04.05.2008		80
ЦИСПЛАТИН	L01XA01	143 646 240,69 P (0,02%)	01.07.2008		100
МЕТОТРЕКСАТ	L01BA01	893 327 228,87 P (0,1%)	10.05.1977		100
МИТОКСАНТРОН		27 355 016,20 P	07.09.2007		85

Рисунок 4 – Перечень взаимозаменяемых ЛП

По выбору пользователя конкретного ЛП в модуле 5 система формирует список препаратов, имеющих разного уровня взаимодействия с исследуемым лекарством. Для каждого выявленного взаимодействия алгоритм автоматически формирует описание выявленного влияния на организм человека, рисунок 5.

**Сильное** rituximab ↔ adalimumab

**Торговые наименования**

**Автоматическое описание:**

**MONITOR CLOSELY:** The use of tumor necrosis factor (TNF) blockers with other immunosuppressive or myelosuppressive agents may increase the risk of infections. Serious infections and sepsis, including fatalities, have been reported with the use of TNF blockers, particularly in patients on concomitant immunosuppressive therapy. Agents that may be significantly myelo- or immunosuppressive include antineoplastic agents, radiation, zidovudine, lincoloid, some antirheumatic agents, high dosages of corticosteroids or adrenocorticotropic agents (greater than 10 mg/day to 1 mg/kg/day, whichever is less, of prednisone or equivalent for more than 2 weeks), and long-term topical or inhaled corticosteroids. Concomitant use of TNF blockers with other immunosuppressants such as azathioprine or mercaptopurine may also increase the risk of a rare and often fatal cancer of white blood cells known as hepatosplenic T-Cell lymphoma (HSSTCL), which has primarily been reported in adolescent and young adult males receiving treatment for Crohn's disease or ulcerative colitis. Cases of HSSTCL have also occurred during use of these agents alone. Because individuals with rheumatoid arthritis, Crohn's disease, ankylosing spondylitis, psoriatic arthritis, or plaque psoriasis may be more likely to develop lymphoma than the general population, it is difficult to assess the added risk of TNF blockers, azathioprine, and/or mercaptopurine.

**MANAGEMENT:** Patients receiving a TNF blocker alone or with other immunosuppressive or myelosuppressive agents should be monitored closely for the development of infections. TNF blocker therapy should be discontinued if a serious infection or sepsis occurs. Close monitoring for signs and symptoms of HSSTCL (e.g., splenomegaly, hepatomegaly, abdominal pain, persistent fever, night sweats, weight loss) is also recommended during use of TNF blockers, particularly in combination with other immunosuppressants such as azathioprine and mercaptopurine.

**Источники:**

1. "Product Information, Remicade (infliximab)," Centocor Inc (2001);
2. "Product Information, Enbrel (etanercept)," Wyeth-Ayerst Laboratories (2001);
3. "Product Information, Humira (adalimumab)," Abbott Pharmaceutical (2003);
4. "Product Information, Cimzia (certolizumab)," UCB Pharma Inc (2008);

Рисунок 5 – Межлекарственное взаимодействие

Практическое применение системы PharmFrame приводит к:

– повышению качества оказываемых услуг в здравоохранении и, как следствие, улучшению уровня здоровья населения;

– снижению нагрузки на специалистов, отвечающих за формирование закупок лекарственных средств в лечебных учреждениях и департаментах здравоохранения;

– своевременному формированию плана закупок, что позволяет избежать рисков отсутствия необходимых лекарственных средств в лечебном учреждении;

– отказу или снижению объема закупок препаратов с низким уровнем доказательной эффективности, а также переходу на более дешёвые аналоги препаратов (не уступающие по уровню эффективности). Это ведет к экономии от 5 до 13% бюджета на закупки лекарственных средств. Оптимизация расходов на основании алгоритма PharmFrame может включать в себя ограничение закупок второстепенных препаратов либо замену на дженерические препараты/биосимиляры, либо замену на препараты из той же клинико-фармакологической группы.

Созданная система автоматически проверяет наличие доказанной эффективности любых ЛС в различных базах данных клинических исследований на основе рандомизированных клинических исследований и мета-анализов. База данных содержит результаты анализа доказанной эффективности всех препаратов, зарегистрированных в РФ. Таким образом, пользователь получает мощный инструмент для анализа и оптимизации бюджетных средств закупаемых препаратов. Результаты анализа визуализируются в специально разработанном интерфейсе PharmFrame.

#### Библиографический список

1. Указ Президента РФ от 06.06.2019 г. №254 “О стратегии развития здравоохранения в Российской Федерации на период до 2025 года”, [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/44326>
2. Государственная программа РФ “Развитие здравоохранения”, [Электронный ресурс]. – URL: <http://government.ru/rugovclassifier/855/events/>
3. Pharmacoeconomic Guidelines Around The World, [Электронный ресурс]. – URL: <https://web.archive.org/web/20161002064949/http://www.ispor.org/peguidelines/index.asp>
4. М.Г. Малаев. Анализ эффективности использования финансовых средств при закупках лекарственных препаратов для государственных нужд // Качественная клиническая практика. – 2021. - №4. – С. 75-79.
5. Зиганшина Л.Е., Абакумова Т., Хоиль Ц. Церебролизин при остром ишемическом инсульте, [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.cochrane.org/ru/CD007026/STROKE\\_cerebroлизин-pri-ostrom-ishemicheskom-insulte](https://www.cochrane.org/ru/CD007026/STROKE_cerebroлизин-pri-ostrom-ishemicheskom-insulte)
6. Создание информационной системы поддержки принятия врачебных решений на основе методов доказательной медицины / Г.С. Лебедев [и др.], [Электронный ресурс]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sozдание-informatsionnoy-sistemy-podderzhki-prinyatiya-vrachebnyh-resheniy-na-osnove/viewer>
7. М.Ю. Фролов, О.Н. Барканова, О.В. Шаталова. Методика проведения ABC/VEN-анализа // Лекарственный вестник. – 2020. - №6. – С. 3-6.
8. Патент Программа ЭВМ "ФармФрейм". Свидетельство №2022664610 от 02.08.2022
9. Реестр российского программного обеспечения - «Система оптимизации закупок лекарственных средств "PharmFrame"».

## Секция 2. Моделирование и наукоемкие информационные технологии в промышленности, науке и образовании

УДК 621.7

### ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС «АЛЮМИНЩИК» ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ МИКСЕРЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Мартусевич Е.А., Рыбенко И.А., Буинцев В.Н.

*ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»  
г. Новокузнецк, Россия, program.pro666@yandex.ru*

***Аннотация.** В статье представлена структура программного комплекса «Алюминщик», который разработан на языке программирования высокого уровня C# с использованием объектно-ориентированного подхода и предназначен для моделирования и оптимизации технологических режимов процесса формирования алюминиевых сплавов в электрическом миксере сопротивления.*

***Ключевые слова:** алюминиевые сплавы, электрический миксер сопротивления, математическая модель, программный комплекс, высокоуровневый язык программирования, компоненты среды разработки.*

В настоящее время одной из стратегически важных и ресурсоемких отраслей промышленности является цветная металлургия, в частности производство алюминиевых сплавов. Так, за 2021 год выпущено более 67 млн. т первичного алюминия, а за последние десять лет в мире произведено более 1 млрд. т различных алюминиевых сплавов. Алюминиевые сплавы являются одними из основных конструкционных материалов, применяемых в промышленности, так как отличаются легкостью, высокой прочностью, коррозионной стойкостью и обладают рядом других важных эксплуатационных свойств.

Процесс производства алюминиевых сплавов осуществляется в литейном отделении промышленного предприятия в миксерах электрического сопротивления. Приготовление алюминиевого расплава с заданным химическим составом соответствующей марки происходит путем порционного смешивания алюминия-сырца из литейных ковшей, доставленных из электролизного цеха с использованием легирующих добавок и солей флюсов [1]. Формирование заданного химического состава алюминиевого расплава достигается за счет последовательного приближения текущего химического состава расплава к заданным показателям установленной марки сплава. Это происходит в связи с тем, что химический состав алюминиевой руды имеет разное качество и соответственно различное количество вредных примесей [2].

В результате процесс формирования алюминиевых сплавов в миксере литейного отделения всецело зависит от уровня квалификации технологического персонала, что приводит к увеличению количества корректировок химического состава и времени приготовления расплава, снижению производительности миксера сопротивления и повышению затрат на единицу готовой продукции [3].

Следовательно, совершенствование технологии и разработка оптимальных ресурсосберегающих режимов формирования алюминиевого расплава в электрических миксерах сопротивления является актуальной задачей [4]. Для решения этой задачи разработана программный комплекс «Алюминщик».

Структуру реализованной программы «Алюминщик» можно представить в виде блоков (рисунок 1), позволяющих в интерактивном режиме вводить исходные данные по расходам, температуре, химическому составу материалов и технологическим параметрам процесса, рассчитывать материальный и тепловой балансы и оптимальные параметры смешивания металла в миксере.

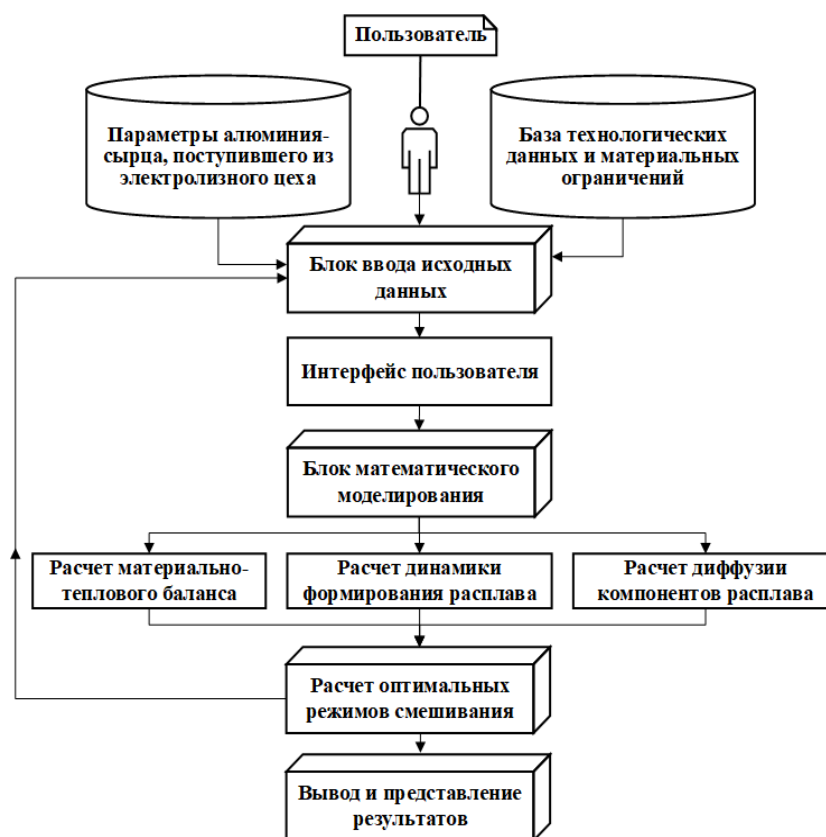


Рисунок 1 – Схема взаимодействия основных компонентов программного комплекса «Алюминщик»

Реализация программного комплекса «Алюминщик» осуществлена на языке объектно-ориентированного программирования высокого уровня C# с использованием среды разработки Microsoft Visual Studio в редакции Community (рисунок 2) [5]. Высокоуровневый язык программирования C# повышает стабильность и безопасность программного продукта за счет применения скомпилированного набора функций, позволяющих осуществлять автоматическое управление внутренними ресурсами исполняемого кода. Такое решение положительно влияет на скорость разработки, снижая количество неявных ошибок программирования и отладки [6, 7].

Принцип программной реализации заключается в описании основных классов объектов. Каждый класс характеризует объект технологического процесса в установленном виде. Экземпляры классов хранят первичную информацию об объектах и производят корректирующую обработку данных, передаваемых в конструктор класса. Важным требованием при реализации решения является беспрепятственное взаимодействие классов программы между собой и другими структурами данных [8].

В разработанном программном комплексе «Алюминщик» используются три основных класса: Form (Форма), Mixer (Миксер) и Bucket (Ковш), которые являются основополагающими структурными единицами [9, 10] и непосредственно взаимодействуют между собой (рисунок 3).

Класс Form является системным и обеспечивает отрисовку визуальных компонентов интерфейса. Также класс Form обеспечивает хранение множества полей и методов, обеспечивающих работоспособность программы с момента запуска.



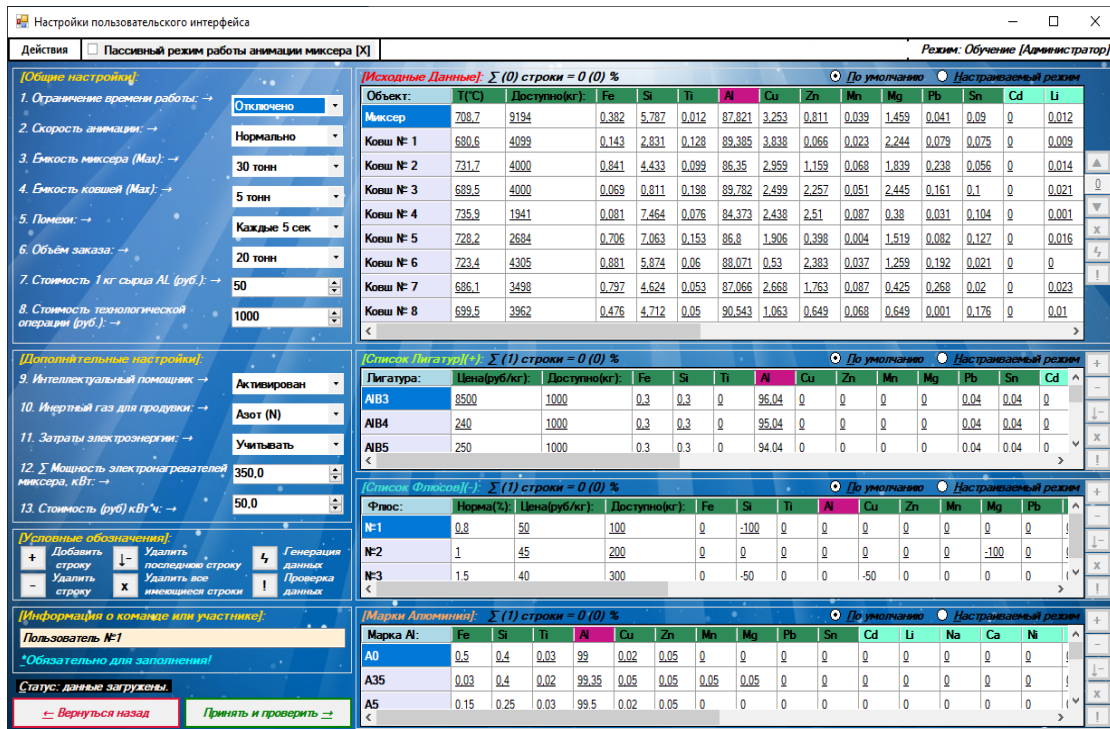


Рисунок 2 – Главное окно настройки исходных данных системы «Алюминщик»

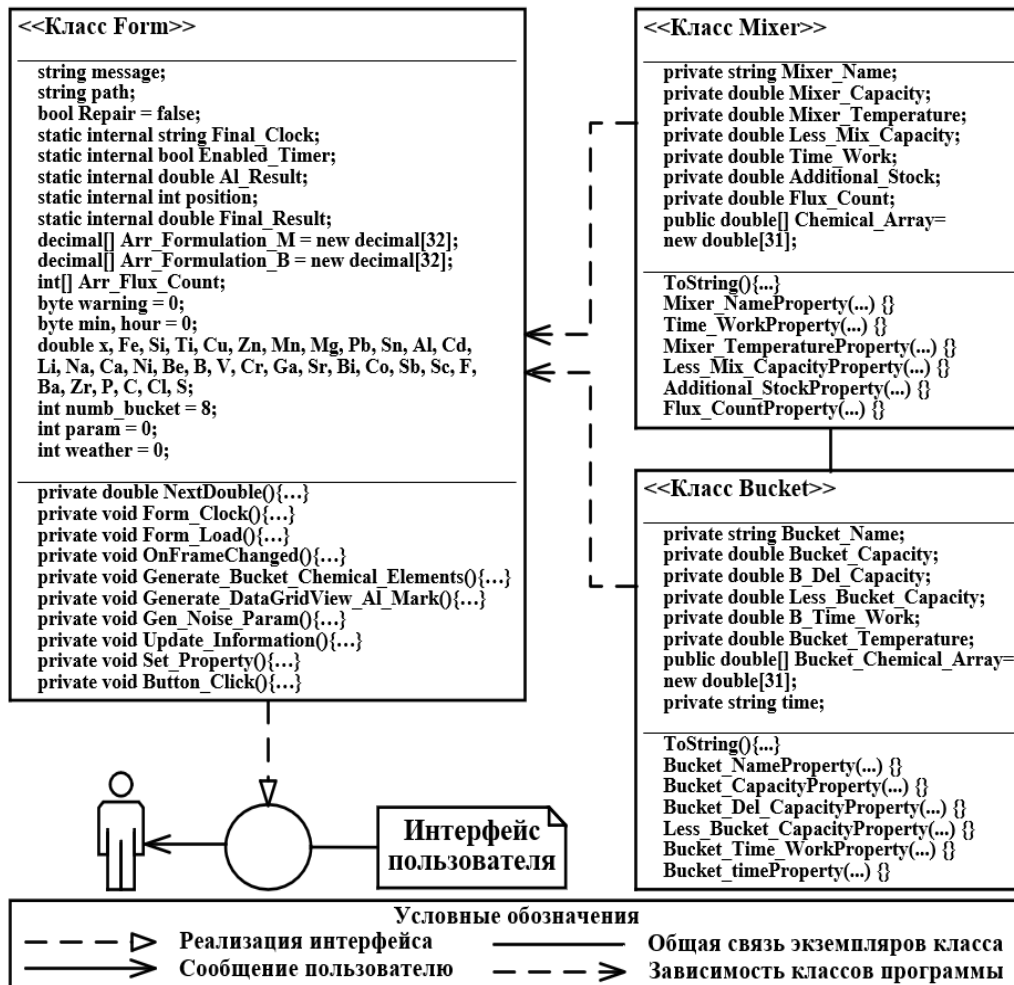


Рисунок 3 – Диаграмма основных классов системы «Алюминщик»

Класс Form представлен следующим набором полей, которые определяют:

- системные методы и сообщения;
- информацию о времени работы пользователя;
- время завершения очередной технологической операции;
- итоговую стоимость всех технологических операций;
- процент выполнения текущего заказа;
- промежуточные данные вычислительных действий;
- набор заданных химических элементов для визуализации и анализа;
- генерацию технологических помех;
- журнал истории последовательных этапов шихтовки расплава в миксере;
- набор информации о взятых пробах из расплава в миксере;
- взаимодействие классов и обмен информацией между диалоговыми окнами.

Также класс Form обеспечивает взаимосвязь всех информационных потоков в программе и определяет интерфейс диалоговых окон, располагая множеством скрытых системных функций и правил.

Класс Mixer служит для хранения и обработки данных о технических характеристиках миксера и содержит детальное описание следующего набора полей:

- идентификационное наименование миксера;
- настраиваемый объем полезной емкости миксера;
- отметка о статусе использования;
- температура в миксере;
- объем осадка на стенках миксера;
- масса добавляемых шихтовых материалов в расплав миксера;
- масса добавляемых сухих флюсовых порошков в расплав миксера;
- набор данных о химическом составе расплава в миксере.

Класс Bucket предназначен для хранения и обработки данных о доступных литейных ковшах и содержит описание следующего набора полей:

- идентификационное наименование литейного ковша;
- текущий объем полезной емкости литейного ковша;
- расчетный объем переливаемой массы расплава из литейного ковша;
- объем осадка на стенках выбранного литейного ковша;
- отметка о статусе использования литейного ковша;
- температура алюминия-сырца в литейном ковше;
- набор данных о химическом составе алюминия-сырца в литейном ковше.

Центральными структурами данных при разработке системы «Алюминщик» стали стандартные компоненты и средства разработки среды Microsoft Visual Studio (рисунок 4).

Таким образом, основе объектно-ориентированного подхода с использованием высокоуровневого языка программирования C# разработан программный комплекс «Алюминщик», предназначенный для проведения вычислительных экспериментов, оптимизации и исследования процесса формирования алюминиевого расплава в миксере.

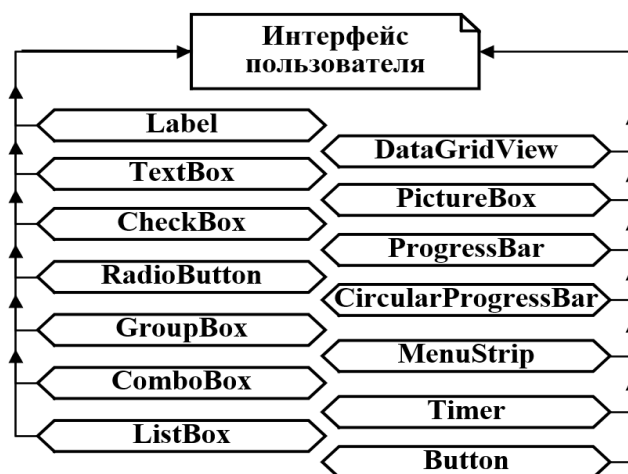


Рисунок 4 – Схема используемых компонентов в Microsoft Visual Studio

### Библиографический список

1. Белецкий, В. М. Алюминиевые сплавы. Состав, свойства, технология, применение / В. М. Белецкий, Г. А. Кривов. – К.: Изд-во «КОМИНТЕХ». – 2005. – 365 с.
2. Рахманов, М. Л. Добыча алюминиевого сырья / М. Л. Рахманов, О. С. Ежова // Развитие технологий добычи полезных ископаемых. – М.: Изд-во «ЦЭПП». – 2019. – С. 129 – 162.
3. Галевский, Г. В. Технологические и конструктивные измерения и расчеты в производстве алюминия / Г. В. Галевский, М. Я. Минцис, В. В. Руднева. – М.: Изд-во «ФЛИНТА». – 2017. – 218 с.
4. Горенский, Б. М. Информационные технологии в металлургии / Б. М. Горенский, О. В. Кирякова, Г. Б. Даныкина. – Красноярск: Изд-во «ИЦМиЗ СФУ». – 2007. – 118 с.
5. Калашников, С. Н. Проектирование и реализация комплекса программ для моделирования технологического процесса формирования алюминиевых сплавов на основе объектно-ориентированного подхода / С. Н. Калашников, Е. А. Мартусевич, Е. В. Мартусевич, И. А. Рыбенко, В. Н. Буинцев // Вестник томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2021. – №57. – С. 1 – 9.
6. Троелсен, Э. Библиотека программиста: C# и платформа .NET / Э. Троелсен. – СПб.: Изд-во «Питер». – 2017. – 800 с.
7. Албахари, Д. Полное описание языка C#: справочник по руководству пользования / Д. Албахари, Б. Албахари. – М.: Изд-во «Вильямс». – 2017. – 1040 с.
8. Касперски, К. Техника отладки программ без исходных текстов / К. Касперски. – СПб.: Изд-во «БХВ-Петербург». – 2005. – 832 с.
9. Виссер, Дж. Разработка обслуживаемых программ на языке C# / Дж. Виссер. – М.: Изд-во «Пресс». – 2017. – 192 с.
10. Вайсфельд, М. Объектно-ориентированное мышление / М. Вайсфельд. – СПб.: Изд-во «Питер». – 2014. – 304 с.

## РАЗРАБОТКА И ИНТЕГРАЦИЯ МОДУЛЯ «ЭНЕРГЕТИКА» ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В РАМКАХ СИСТЕМЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НА АО «ЕВРАЗ ЗСМК»

Леонтьев А.С.<sup>1</sup>, Ушакова Д.Е.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ООО «ЕВРАЗХОЛДИНГ»

г. Новокузнецк, Россия, [Aleksey.Leontiev@evraz.com](mailto:Aleksey.Leontiev@evraz.com)

<sup>2</sup>ООО «ДФС»

г. Пермь, Россия

**Аннотация.** На ЕВРАЗ ЗСМК с 2017г. разрабатывается и эксплуатируется математическая модель, охватывающая все переделы от добычи руды до конечной продукции. Модель применяется для расчетов технических кейсов, планов, паритетных цен по ЖРС и углю и ее использование принесло только за 2020г более 200 миллионов рублей экономического эффекта. С 2022г. разрабатывается модуль «Энергетика». В статье описывается опыт моделирования энергокомплекса на АО «ЕВРАЗ ЗСМК».

**Ключевые слова:** металлургия, моделирование, планирование, энергетика.

**Abstract.** Since 2017, a mathematical model covering all processing stages from ore to final products has been developed and operated at EVRAZ ZSMK steel plant. The model is used to calculate technical cases, plans, parity prices for iron ore and coal and has brought more than 200 million rubles of economic effect in 2020 alone. Since 2022, the module «Energy» is being developed. The article describes the experience of modeling the EVRAZ ZSMK energy complex.

**Keywords:** metallurgy, modeling, planning, energy.

### Введение

Металлургия – это одна из самых ресурсоемких и энергоемких отраслей промышленности [1, 2]. Для снижения себестоимости металлургической продукции обычно проводятся инвестиционные (затратные) мероприятия. Одним из самых эффективных и малозатратных способов является планирование, заключающееся в оптимальном распределении дорогостоящих покупных и дефицитных собственных ресурсов для максимизации прибыли. При этом главной сложностью планирования является то, что шихта каждого из агрегатов может состоять из сотен различных компонентов в различных допустимых комбинациях, например, металлургический комбинат АО «ЕВРАЗ ЗСМК» г. Новокузнецк выбирает материалов более чем из 110 компонентов шихты для производства чугуна на постоянной основе [3].

В связи с возросшей сложностью планирования в начале 2019 г. была представлена система математического моделирования «ЕВРАЗ ЗСМК». Система отличается дружелюбным интерфейсом и в ней заложен принцип сценарного планирования. В качестве входных и выходных форм представлено более 40 отчетов по всем переделам комбината. Все формы и отчеты адаптированы к существующим EXCEL документам для удобства пользователей. В состав модели входят все переделы от добычи руды до прокатного производства.

Основной задачей системы был переход на новый уровень математического моделирования и планирования с учетом современных систем, обладающих следующими особенностями:

- формирование с учетом общего критерия оптимизации – прибыль через все переделы (оптимальной производственной программы переделов комбината, плана закупок сырья, плана управления складскими запасами, плана продаж);
- анализ целесообразности использования новых видов сырья, с учетом сквозного планирования через все переделы;
- нахождение оптимальной цены закупки с учетом текущей конъюнктуры рынка сырья, для более эффективной работы с поставщиками.

Цель проекта – разработка программной системы, направленной на комплексную оптимизацию всех переделов металлургического производства с учетом текущих рыночных факторов. Критерий оптимизации – максимизация сквозной EBITDA комбината.

Включенные в систему переделы:

- рудники (добыча руды);
- обогатительная фабрика (обогащение руды);
- аглофабрика;
- коксохимическое производство (обогащение угля, производства кокса);
- доменный цех;
- сталеплавильное производство (Кислородно-конвертерные цеха № 1 и № 2);
- электросталеплавильный цех;
- прокатный цех (на рельсовой и строительной площадках).

В качестве базового программного обеспечения при разработке системы была выбрана Аналитическая платформа Форсайт «Prognoz Platform 8.2» [4] и среда математического моделирования GAMS, рабочее окно программы приведено на рисунке 1.



Рисунок 1 – Главное окно программы

Система себя положительно зарекомендовала как для расчета плановой шихты, так и для расчета экономических кейсов, когда делается несколько расчетов и выбирается оптимальный вариант шихты. Изначально система разрабатывалась, как инструмент оптимизации только металлургического передела от «руды до гвоздей». В процессе эксплуатации системы было отмечено множество производственных кейсов на стыке между металлургическим и энергетическим переделом, например, внедрены следующие экономические кейсы:

- работа на остаточном давлении газа в трубопроводах при ежегодных ремонтах на трубопроводе природного газа. Экономический эффект от инициативы от 50 до 100 млн. руб. в зависимости от рыночной стоимости дополнительных полуфабрикатов;
- перенос ремонта воздуходелительной установки с производством азота и, как следствие, дополнительное вдувание пылеугольного топлива в доменные печи для экономии кокса.

Как видно из предложенных кейсов энергетический передел может быть узким местом и ограничивать металлургический передел. В таком случае требуется приоритизация дефицитных энергоресурсов между металлургическими полуфабрикатами для получения максимальной прибыли.

Отдельным потенциалом обладает внутренняя оптимизация энергооборудования. Например, для ЕВРАЗ ЗСМК ввиду большого количества основных агрегатов и режимов работы каждого агрегата возможно до 5000 вариантов работы оборудования ежедневно. Быстрый эксперимент по сравнению плана в EXCEL модели с оптимизацией показал потенциал до 30 млн. руб. в месяц на экономии покупных ресурсов.

Также и состав доменной шихты влияет на производительность доменной печи, что в свою очередь оказывает влияние на плановые потребности энергетики:

- баланс кислорода на дутье;
- выход доменного газа;
- потребности в доменном дутье.

Для корректного учета экономики всего комбината требуется учет и энергетики комбината, в связи с этим в 2022 году стартовала разработка модуля «энергетика».

### **Общая информация об энергокомплексе ЕВРАЗ ЗСМК**

Основные энергетические нужды АО «ЕВРАЗ ЗСМК» обеспечивают Паровоздушная станция (далее ПВС) и «Западно-Сибирская ТЭЦ».

ПВС состоит из трех цехов: котельного, турбинного и химического. Котельный цех предназначен для выработки пара. В котельном цехе установлено 7 котлоагрегатов (6 котлоагрегатов с совместным сжиганием топлива, 1 – газовый), генерирующие пар в общий «резервуар». Вырабатываемый пар используются:

- в турбокомпрессорах ПВС (производство сжатого воздуха);
- в качестве теплоэнергии для нужд комбината;
- в турбогенераторе ПВС выработки электроэнергии (производство электроэнергии).

В качестве топлива в котлоагрегатах применяется смесь из доменного, коксового, природного газов, а также собственный промпродукт углеобогатительного цеха. Доменный и коксовый газы, а также промпродукт вырабатываются в цехах комбината (в доменном, коксовом, и углеобогатительном цехах, соответственно). Таким образом, модель ПВС должна интегрироваться с соответствующими переделами в части получения составляющих топлива.

Турбинный цех предназначен для производства сжатого воздуха:

- на доменное дутье;
- на блоки разделения воздуха (БРВ) кислородного отделения № 1 (8 ата);
- на блюминг (3 ата).

Кроме того, в турбинном цехе осуществляется производство электроэнергии.

Процесс производства сжатого воздуха обеспечивают 8 турбокомпрессоров (ТК) и 3 электрокомпрессора (ЭК), производство электроэнергии – 1 турбогенератор.

Кислородное производство в АО «ЕВРАЗ ЗСМК» состоит из двух отделений: кислородное отделение № 1 (КО-1) и кислородное отделение № 2 (КО-2). КЦ-2 планируется к закрытию из-за появления стороннего провайдера кислорода. Задачей кислородного производства (КП) является выработка продуктов воздухоразделения (кислород, азот, аргон и другие редкие газы) и обеспечение ими потребителей с требуемыми параметрами.

### **Выбор метода моделирования**

#### **Нормативный метод**

В практике моделирования котельных агрегатов используется довольно сложный тепловой расчет котлов (нормативный метод), разработанный совместно РАО «ЕЭС РОССИИ» и НПО ЦКТП им. И.И. Ползунова. «Тепловой расчет котлов» [5] содержит методические указания, справочные материалы, расчетные формулы и номограммы, необ-

ходимые для выполнения поверочного и конструктивного (проектного) тепловых расчетов котлов.

В поверочном тепловом расчете по принятой конструкции и размерам котла для заданных нагрузки и вида топлива определяют температуру воды, пара, воздуха и газов на границах между отдельными поверхностями нагрева, коэффициент полезного действия, расход топлива, расход и скорости пара, воздуха и дымовых газов.

Проверочный расчет производят для оценки показателей экономичности и надежности котла при работе на заданном топливе, выявления необходимых реконструктивных мероприятий, выбора вспомогательного оборудования и получения исходных материалов для проведения расчетов: аэродинамического, гидравлического, температуры металла и прочности труб, интенсивности эолового износа труб, коррозии и др.

В конструктивном тепловом расчете определяют размеры топки и поверхностей нагрева котла, необходимых для обеспечения номинальной (наибольшей) производительности в длительной эксплуатации при номинальных величинах параметров пара и питательной воды, принятых показателях экономичности и характеристиках топлива.

Результаты конструктивного расчета используются для выбора вспомогательного оборудования и оценки аэродинамических, гидравлических, прочностных и других характеристик надежности котла.

Задание для поверочного теплового расчета котла должно содержать следующие данные:

- чертежи котла и сведения о конструкции и размерах топки, поверхностей нагрева и газоходов, необходимые для определения конструктивных характеристик, используемых в расчете, схемы движения теплоносителей;
- характеристики топлива;
- производительность котла, давление и температура питательной воды и перегретого пара перед главной паровой задвижкой;
- расход и параметры вторичного пара на входе и выходе из промежуточных перегревателей (при их наличии);
- расход насыщенного пара (при отборе пара из барабана котла);
- величину непрерывной продувки;
- места отбора и сброса впрысков, байпасов, рециркуляции рабочих сред, их количества;
- для котлов на твердом топливе данные расчета системы пылеприготовления: количество аэросмеси, первичного воздуха и топочных газов, отбираемых на сушку, количество присосанного воздуха в системе пылеприготовления, влажность и температуру пыли.

При конструктивном (проектном) тепловом расчете задание должно содержать сведения о компоновке котла, системе пылеприготовления, типе топочного устройства.

Как видно из описания метода он является достаточно точным, но при этом ввиду его сложности больше подходит при проектировании нового оборудования либо разработки сложных моделей оперативного управления агрегатами.

### **Регрессионный метод**

На втором этапе была исследована корреляция между потребляемыми газами и паропроизводительностью с помощью линейной регрессии. В качестве объекта моделирования был выбран котельный агрегат № 7 ПВС ЕВРАЗ ЗСМК. Данный котел является модифицированной версией и может потреблять только газообразное топливо: доменный газ, коксовый газ, природный газ и не может потреблять твердое топливо, что повышает точность замеров и упрощает процесс моделирования. На рисунке 2 показана предсказанная и фактическая паропроизводительность.

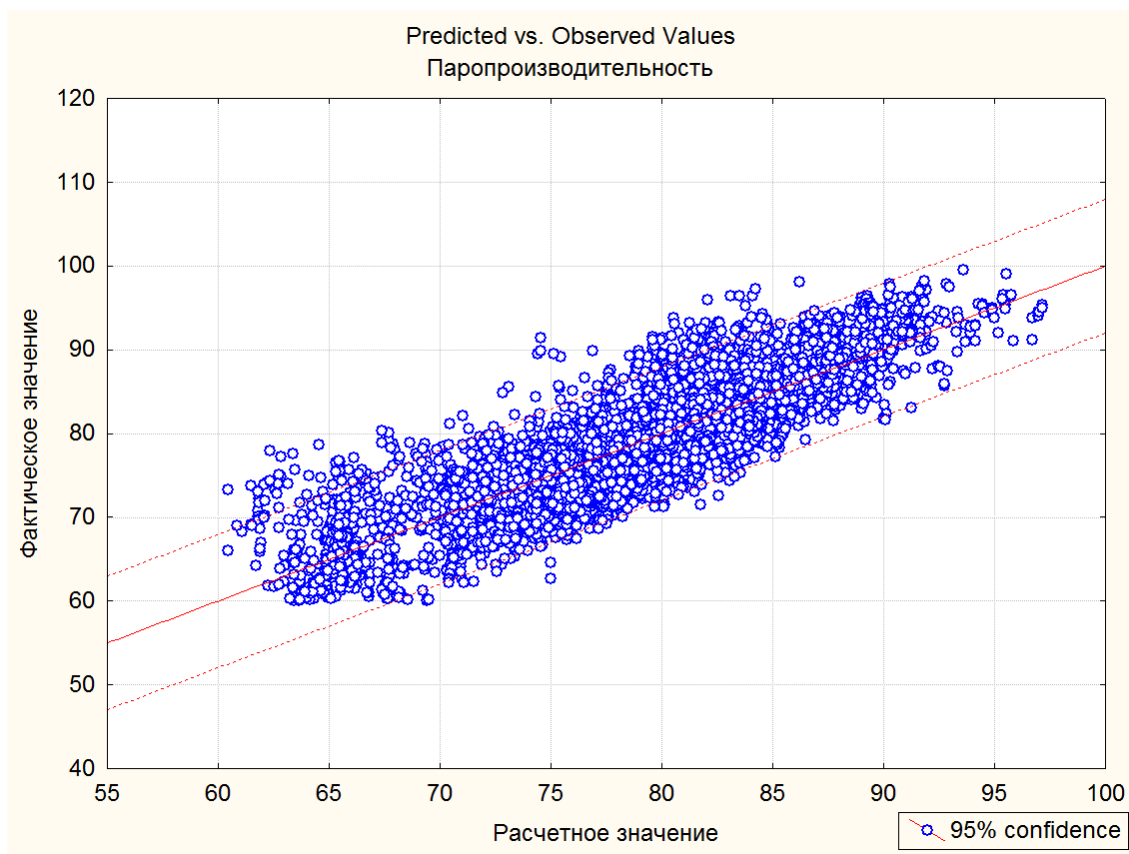


Рисунок 2 – Сравнение предиктивной способности модели с фактическими данными

Модель показала неплохую точность на котельном агрегате без потребления твердого топлива, но на котлах с твердым топливом точность падала ниже 50 % из-за отсутствия корректных замеров по твердому топливу.

#### **Моделирование по режимным картам**

В практике эксплуатации энергооборудования производятся обязательные режимно-наладочные работы с составлением режимных карт.

Основная цель режимных карт обеспечить в регулировочном Диапазоне нагрузок надежную и экономичную работу котла с минимальными выбросами в атмосферу вредных веществ (окислов азота), на которые можно влиять режимом работы топки. Эти требования часто вступают в противоречие между собой и с величиной регулировочного диапазона нагрузок. Поэтому режимные указания предполагают наличие некоторых компромиссов. Однако приоритет должен быть отдан надежности, под которой понимается пожаро- и взрывобезопасность, выдерживание приемлемых температур пара и металла поверхностей нагрева, отсутствие интенсивного шлакования поверхностей нагрева или затруднений с выходом жидкого шлака, отсутствие интенсивной коррозии воздухоподогревателя, обеспечение желаемого диапазона нагрузок с минимальным использованием в дополнение к твердому топливу газа или мазута. Ограничения, обусловленные этими обстоятельствами, должны быть указаны в режимной карте [6].

Режимные карты составляются опытными специалистами – наладчиками и обязательно включают в себя следующие параметры котлов:

- потребление газообразного и твердого топлива;
- паропроизводительность;
- КПД котельной установки;
- удельный расход условного топлива;
- экологические показатели;



– прочие технологические параметры (температура перегретого пара, давление пара).

На рисунке 3 приведен пример режимной карты котлоагрегатов ПВС.

№ п/п	Наименование показателей	Услов. обозначение	Размерность	ВИДЫ СЖИГАЕМОГО ТОПЛИВА												
				Доменный - коксовый - природный газы									Доменный-природный газы			
1	Паропроизводительность	$D_{пп}$	т/час	90 - 100	72 - 75	90 - 92	83 - 85	92 - 96	76 - 78*	78 - 81**	94 - 96	84 - 86	88 - 92	77 - 80		
2	Давление перегретого пара	$P_{пп}$	кгс/см <sup>2</sup>	88 - 90	90 - 92	88 - 89	90	88 - 90	88	87 - 88	88 - 89	90	88 - 90	89 - 90		
3	Температура перегретого пара	$T_{пп}$	°С	530 - 533	530	530 - 532	530 - 537	530 - 535	533 - 540	533 - 536	533 - 536	534 - 535	530 - 535	533 - 538		
4	Расход доменного газа	$V_{дг}$	тыс.м <sup>3</sup> /ч	8 - 10	47 - 50	39 - 41	50 - 51	30 - 32	28 - 30	15 - 16	24 - 26	49 - 50	29 - 30	39 - 41		
5	Расход коксового газа	$V_{кг}$	тыс.м <sup>3</sup> /ч	3,0 - 3,5	1,9 - 2,1	2,0 - 2,3	1,2 - 1,4	1,9 - 2,1	2,4 - 2,6	2,4 - 2,6	2,3 - 2,5	0	0	0		
6	Расход природного газа	$V_{пр.г}$	тыс.м <sup>3</sup> /ч	6,0	1,4	3,5 - 3,6	2,0 - 2,2	4,2	2,8	3,7	4,6	2,4	5,0 - 5,1	3,2		
7	Давление доменного газа	$P_{дг}$	кгс/м <sup>2</sup>	490 - 640	660 - 760	770 - 795	720 - 730	840 - 850	800 - 900	840 - 900	820 - 850	670 - 700	650 - 700	650 - 700		
8	Давление коксового газа	$P_{кг}$	кгс/м <sup>2</sup>	320	120 - 135	150 - 160	135 - 155	120 - 130	125 - 150	115 - 125	120 - 140	-	-	-		
9	Давление природного газа	$P_{пр.г}$	кгс/см <sup>2</sup>	0,72	0,82	0,82	0,79	0,56	0,79	0,81	0,80	0,85	0,82	0,81		
10	Калорийность смеси газов	$Q_{см}^p$	ккал/м <sup>3</sup>	3848	1040	1510	1163	1791	1632	2573	2074	1144	1820	1361		
11	Температура воздуха за 2-ой ступенью В.П.	слева справа	$T_{вп}$	°С	353	320	320	318	300	295	305	295	320	323	315	
					363	345	340	340	345	-	310	340	340	345	340	
12	Давление возд. за Д.В.	А Б	$P_{дв}$	кгс/м <sup>2</sup>	60 - 75	45 - 55	50 - 60	55 - 65	70 - 75	50 - 60	40 - 45	70 - 75	55 - 65	60 - 65	45 - 50	
					60 - 75	45 - 55	50 - 60	55 - 65	70 - 75	-	40 - 45	70 - 75	55 - 65	60 - 65	45 - 50	
13	Сопrotивление В.П.	$\Delta P_{вп}$	кгс/м <sup>2</sup>	52 - 65	37 - 45	45 - 50	40 - 50	57 - 61	-	30 - 35	57 - 60	45 - 53	50 - 55	37 - 40		
14	Давление воздуха за 2-ой ступенью В.П.	слева справа	$P_{вп}$	кгс/м <sup>2</sup>	8 - 10	8 - 10	5 - 10	11 - 14	13 - 14	5 - 10	5 - 10	13 - 15	10 - 12	10 - 15	8 - 10	
					8 - 10	8 - 10	5 - 10	11 - 14	13 - 14	-	5 - 10	13 - 15	10 - 12	10 - 15	8 - 10	
15	Разрежение сверху топки	$S_{в.т.}$	кгс/м <sup>2</sup>	2 - 4	2 - 3	2 - 4	2 - 3	2 - 3	2 - 4	2 - 3	2 - 3	2 - 3	2 - 4	2 - 3		
16	Разрежение перед скруб.	$S_{скр.}$	кгс/м <sup>2</sup>	180 - 194	244 - 272	250 - 255	245 - 250	230 - 235	223 - 225	192 - 195	232 - 235	250 - 260	255 - 257	258 - 262		
17	Разрежение перед дымососом	$S_{дс.}$	кгс/м <sup>2</sup>	200 - 220	285 - 290	280 - 290	270 - 285	260 - 270	240 - 245	210 - 217	255 - 270	275 - 295	280 - 290	285 - 290		
18	Содержание RO <sub>2</sub> за паропер.	$RO_2^{пн}$	%	14,9	21,03	20,69	20,85	18,75	20,11	17,75	19,21	21,10	20,31	20,59		
19	Содержание O <sub>2</sub> за паропер.	$O_2^{пн}$	%	3,1	2,1	1,8	2,3	3,3	2,0	2,3	2,3	2,1	2,2	2,5		
20	Козф изб. возд. за паропер.	$L^{пн}$	-	1,27	1,11	1,09	1,12	1,19	1,11	1,12	1,12	1,12	1,12	1,14		
21	Содержание RO <sub>2</sub> перед скруб.	$RO_2^{срб.}$	%	10,2	13,58	13,37	14,28	13,56	14,08	12,06	13,35	14,56	14,60	14,14		
22	Содержание O <sub>2</sub> перед скруб.	$O_2^{срб.}$	%	9,2	8,8	8,6	8,2	8,2	7,7	8,3	8,0	8,1	7,9	8,3		
23	Содержание NOx перед скруб.		%	112	47,0	67,0	72,0	100,0	50,0	72,0	105,0	70,0	50,0	62		
24	Козф изб. возд. перед скруб.	$L^{срб.}$	-	1,88	1,72	1,69	1,64	1,64	1,58	1,65	1,62	1,63	1,60	1,65		
25	Температура уходящих газов	$T_{уг}$	°С	135	173	174	160	153	168	150	147	158	155	156		
26	К ПД котельной установки	$\eta^{6p}$	%	91,5	86,70	87,84	88,19	89,97	88,61	90,35	90,53	88,29	90,7	88,99		
27	Уд. расход условного топлива	$B_{уд}$	кг у.т./Гкал	156,0	164,8	162,8	162,0	158,8	161,2	158,1	156,9	161,7	158,6	160,5		

Рисунок 3 – Режимная карта котельного агрегата

На рисунке 4 показан алгоритм выбора оптимального режима котлоагрегата. На первом шаге выбирается первый режим с паропроизводительностью 90 – 100 т пара в час и расходом газов:

- доменный газ 8 – 10 тыс.м<sup>3</sup>/час;
- коксовый газ 3,0 – 3,5 тыс.м<sup>3</sup>/час;
- природный газ 6 тыс. м<sup>3</sup>/час;
- твердое топливо 0 т.

На втором шаге выбирается второй режим с паропроизводительностью 72 – 75 т пара в час и расходом газов:

- доменный газ 47-50 тыс.м<sup>3</sup>/час;
- коксовый газ 1,9-2,1 тыс.м<sup>3</sup>/час;
- природный газ 1,4 тыс.м<sup>3</sup>/час;
- твердое топливо 0 т.

№ п/п	Наименование показателей	Услов. обозначение	Размерность	ВИДЫ СЖИГАЕМОГО ТОПЛИВА								
				Доменный - коксовый - природный газы								
				90 - 100	72 - 75	90 - 92	83 - 85	92 - 96	76 - 78*	78 - 81**	94 - 96	
1	Паропроизводительность	D <sub>пн</sub>	т/час	90 - 100	72 - 75	90 - 92	83 - 85	92 - 96	76 - 78*	78 - 81**	94 - 96	
2	Давление перегретого пара	P <sub>пн</sub>	кгс/см <sup>2</sup>	88 - 90	90 - 92	88 - 89	90	88 - 90	88	87 - 88	88 - 89	
3	Температура перегретого пара	T <sub>пн</sub>	°C	530 - 533	530	530 - 532	530 - 537	530 - 535	533 - 540	533 - 536	533 - 536	
4	Расход доменного газа	V <sub>дг</sub>	тыс.нм <sup>3</sup> /ч	8 - 10	47 - 50	39 - 41	50 - 51	30 - 32	28 - 30	15 - 16	24 - 26	
5	Расход коксового газа	V <sub>кг</sub>	тыс.нм <sup>3</sup> /ч	3,0 - 3,5	1,9 - 2,1	2,0 - 2,3	1,2 - 1,4	1,9 - 2,1	2,4 - 2,6	2,4 - 2,6	2,3 - 2,5	
6	Расход природного газа	V <sub>пр.г</sub>	тыс.нм <sup>3</sup> /ч	6,0	1,4	3,5 - 3,6	2,0 - 2,2	4,2	2,8	3,7	4,6	
7	Давление доменного газа	P <sub>дг</sub>	кгс/м <sup>2</sup>	490 - 640	660 - 760	770 - 795	720 - 730	840 - 850	800 - 900	840 - 900	820 - 850	
8	Давление коксового газа	P <sub>кг</sub>	кгс/м <sup>2</sup>	320	120 - 135	150 - 160	135 - 155	120 - 130	125 - 150	115 - 125	120 - 140	
9	Давление природного газа	P <sub>пр.г</sub>	кгс/см <sup>2</sup>	0,72	0,82	0,82	0,79	0,56	0,79	0,81	0,80	
10	Калорийность смеси газов	Q <sub>г</sub> <sup>р</sup>	ккал/м <sup>3</sup>	3848	1040	1510	1163	1791	1632	2573	2074	
11	Температура воздуха за 2-ой ступенью В.П.	слева справа	T <sub>вп</sub>	°C	353	320	320	318	300	295	305	295
					363	345	340	340	345	-	310	340
12	Давление возд. за Д.В.	А Б	P <sub>дв</sub>	кгс/м <sup>2</sup>	60 - 75	45 - 55	50 - 60	55 - 65	70 - 75	50 - 60	40 - 45	70 - 75
					60 - 75	45 - 55	50 - 60	55 - 65	70 - 75	-	40 - 45	70 - 75
13	Соппротивление В.П.		ΔP <sub>вп</sub>	кгс/м <sup>2</sup>	52 - 65	37 - 45	45 - 50	40 - 50	57 - 61		30 - 35	57 - 60
14	Давление воздуха за 2-ой ступенью В.П.	слева справа	P <sub>вп</sub>	кгс/м <sup>2</sup>	8 - 10	8 - 10	5 - 10	11 - 14	13 - 14	5 - 10	5 - 10	13 - 15
					8 - 10	8 - 10	5 - 10	11 - 14	13 - 14	-	5 - 10	13 - 15
15	Разрежение сверху топки		S <sub>в.т.</sub>	кгс/м <sup>2</sup>	2 - 4	2 - 3	2 - 4	2 - 3	2 - 3	2 - 4	2 - 3	2 - 3
16	Разрежение перед скруб.		S <sub>скр</sub>	кгс/м <sup>2</sup>	180 - 194	244 - 272	250 - 255	245 - 250	230 - 235	223 - 225	192 - 195	232 - 235
17	Разрежение перед дымососом		S <sub>дс</sub>	кгс/м <sup>2</sup>	200 - 220	285 - 290	280 - 290	270 - 285	260 - 270	240 - 245	210 - 217	255 - 270
18	Содержание RO <sub>2</sub> за паропер.		RO <sub>2</sub> <sup>пн</sup>	%	14,9	21,03	20,69	20,85	18,75	20,11	17,75	19,21
19	Содержание O <sub>2</sub> за паропер.		O <sub>2</sub> <sup>пн</sup>	%	3,1	2,1	1,8	2,3	3,3	2,0	2,3	2,3
20	Козф изб. возд. за паропер.		L <sup>пн</sup>	-	1,27	1,11	1,09	1,12	1,19	1,11	1,12	1,12
21	Содержание RO <sub>2</sub> перед скруб.		RO <sub>2</sub> <sup>скр</sup>	%	10,2	13,58	13,37	14,28	13,56	14,08	12,06	13,35
22	Содержание O <sub>2</sub> перед скруб.		O <sub>2</sub> <sup>скр</sup>	%	9,2	8,8	8,6	8,2	8,2	7,7	8,3	8,0
23	Содержание NOx перед скруб.			%	112	47,0	67,0	72,0	100,0	50,0	72,0	105,0
24	Козф изб. возд. перед скруб.		L <sup>скр</sup>	-	1,88	1,72	1,69	1,64	1,64	1,58	1,65	1,62
25	Температура уходящих газов		T <sub>ух</sub>	°C	135	173	174	160	153	168	150	147
26	К П Д котельной установки		η <sup>бр</sup>	%	91,5	86,70	87,84	88,19	89,97	88,61	90,35	90,53
27	Уд. расход условного топлива		V <sub>уд</sub>	кг у.т./Гкал	156,0	164,8	162,8	162,0	158,8	161,2	158,1	156,9

Рисунок 4 – Алгоритм выбора оптимального режима котельного агрегата по картам

Алгоритм перебирает каждый режим котельного агрегата и находит глобальный оптимум. Для большей гибкости модели для каждого режима строится дополнительная линейная регрессия, например для 1 режима строится линейная регрессия, где 90 т пара в час соответствует расход газов 8; 3; 6 тыс. м<sup>3</sup>/час, а для 100 т пара в час соответствует расход газов 10; 3,5; 6 тыс. м<sup>3</sup>/час.

В качестве критерия оптимизации должна использоваться целевая функция, обеспечивающая минимизацию затрат на производство переделов, взятых в расчет:

$$\Psi = costs_{ПВС} + costs_{КП} + costs_{ТЭЦ} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $costs_{ПВС}$ ,  $costs_{КП}$ ,  $costs_{ТЭЦ}$  – затраты на производство соответствующих переделов.

### Характеристики математической модели Подсистемы

Математическая модель Подсистемы должна учитывать параметры работы отдельно взятых экземпляров оборудования рассматриваемых переделов. Вследствие этого математическая постановка задачи оптимизации производства сегмента «Энергетика» должна содержать бинарные переменные управления. Количество таких переменных зависит от общего числа взятых в модель наименований оборудования.

Модель должна обеспечивать минимально возможное количество включений и выключений агрегатов в течение рассчитываемого горизонта планирования. Данное требование можно обеспечить за счет добавления в модель дополнительных бинарных переменных, «отслеживающих» факт переключения соответствующих наименований оборудования из рабочего состояния в отключенное и наоборот. Таким образом, для учета указанной особенности математическая постановка модели Подсистемы должна содержать

модифицированную целевую функцию (по отношению к выражению (1)), включающую штрафы за переключения:

$$\Psi_{\text{calc}} = \text{costs}_{\text{ПВС}} + \text{costs}_{\text{КП}} + \text{costs}_{\text{ТЭЦ}} + M \cdot \sum_{\text{equip}} \text{equip\_on\_off}_{\text{equip}} \rightarrow \min, \quad (2)$$

где  $\text{equip\_on\_off}_{\text{equip}}$  – бинарный признак переключения конкретного агрегата;  
 $M$  – большое число.

Суммирование ведется по всем рассматриваемым наименованиям оборудования. Все, перечисленные далее, зависимости между ключевыми параметрами производства переделов должны иметь линейный характер:

#### 1. ПВС:

- зависимость производства пара от потребления топлива котлоагрегатами на основе режимных карт;
- производство сжатого воздуха (доменное дутье, 8 ата) турбокомпрессорами от потребления ими пара;
- производство электроэнергии турбогенератором от потребления им пара;
- расход пара через редуционно-охладительные установки (расход на выходе от расхода на входе);
- производство сжатого воздуха электрокомпрессорами от потребления ими электроэнергии;

#### 2. КП:

- производство кислорода блоками разделения воздуха от потребления ими сжатого воздуха;
- производство кислорода блоками разделения воздуха от потребления ими электроэнергии;

#### 3. ТЭЦ:

- производство пара от потребления топлива котлоагрегатами;
- производство электроэнергии турбогенераторами от потребления ими пара.

Линейный характер зависимости между приведенными параметрами в совокупности с линейным видом целевой функции (2) сведет соответствующую проблему оптимизации к задаче линейного программирования, что, в свою очередь, должно обеспечивать быструю реализацию всех вычислительных процедур искомой математической постановки.

Вместе с тем наличие бинарных переменных переводит рассматриваемую задачу оптимизации в класс задач целочисленного программирования (MIP). Это усложняет процесс поиска решения и оценку длительности нахождения оптимума. По предварительным результатам проведения вычислительных экспериментов длительность расчета моделей аналогичных размерностей не превышает 5 минут и зависит от совокупной сложности задачи (параметров ограничений, области поиска решений, установленной точности решения и т.д.).

### **Выводы**

Система математического моделирования – это сложный комплекс, который включает в себя несколько взаимосвязанных программ. Стоит отметить, что его недостаточно один раз разработать и использовать, его нужно постоянно актуализировать, исправлять ошибки и расширять. Основываясь на опыте АО «ЕВРАЗ ЗСМК», при соответствующем вложении ресурсов, системы достаточно быстро окупают себя. Для примера, применение системы только в 2020 г. Позволило получить более 200 млн. руб. экономического эффекта за счет оптимизации шихты на коксование и агломерацию. В 2019 г. эффект достигал миллиард рублей.

В текущих экономических условиях целесообразно оптимизировать не только отдельно металлургический передел, но и его связку с энергетикой и энергетикой внутри.

Оптимальным вариантом является моделирование по режимным картам с помощью бинарных переменных. Современные системы оптимизации позволяют находить оптимум за приемлемое время.

### Библиографический список

1. Лисиенко, В. Г. Альтернативная металлургия: проблема легирования, модельные оценки эффективности / В. Г. Лисиенко, Н. В. Соловьева, О. Г. Трофимова. – М. : Изд. Теплотехник, 2007. – 440 с.
2. Протопопов, Е. В. Сталеплавильное производство: современное состояние и направления развития / Е. В. Протопопов, А. Н. Калиногорский, А. А. Ганзер // Металлургия: технологии, инновации, качество: тр. XX междунар. науч.-практ. конф. : в 2 ч. Ч. 1 / Сиб. гос. индустр. ун-т ; под ред. Е. В. Протопопова. – Новокузнецк, 2019. – С. 9 – 14.
3. Опыт разработки и применения системы математического моделирования на «ЕВРАЗ ЗСМК» / А. С. Леонтьев, И. А. Рыбенко, А. С. Борисов, И. В. Волкова // Моделирование и наукоемкие информационные технологии в технических и социально-экономических системах: тр. V всерос. науч.-практ. конф. с международным участием : под общ. ред. И. А. Рыбенко, Т. В. Киселевой. – Новокузнецк, 2021. – С. 250 – 255.
4. Аналитическая платформа прогноз платформ//Сайт компании Форсайт [Электронный ресурс] URL: <https://www.fsight.ru/>
5. НПО ЦКТИ - ВТИ Тепловой расчет котлов (Нормативный метод). - 3-е, переработанное и дополненное изд. - СПб.: НПО ЦКТИ, 1998. - 256 с.
6. Левит Г.Т. Методические указания по составлению режимных карт котельных установок и оптимизации управления ими. - 1-е изд. - М.: РАО «ЕЭС России», 1998
7. Система оптимизации металлургического производства// Сайт компании N-Side [Электронный ресурс]. URL: <https://www.n-side.com/solution/integrated-value-chain-optimization-of-steel-operation/>

УДК 519.85

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ В АЛГОРИТМЕ ОБРАТНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОШИБКИ НА ПРИМЕРЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА ГРАДИЕНТНОГО СПУСКА

Губанов Н.В.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»  
г. Новокузнецк, Россия, [ragecapricorn@gmail.com](mailto:ragecapricorn@gmail.com)

**Аннотация.** В данном докладе рассмотрено применение численных методов для обучения нейронной сети на примере использования метода оптимизации, в виде градиентного спуска для минимизации ошибки нейронной сети в алгоритме обратного распространения ошибки. Представлено обучение нейронной сети как задачи минимизации ошибки. Рассмотрена итерация алгоритма обратного распространения ошибки как одного шага метода градиентного спуска.

**Ключевые слова:** нейронные сети, распознавание образов, численные методы, оптимизация, метод Градиентного спуска, алгоритм обратного распространения ошибки.

**Abstract.** This report considers the use of numerical methods for training a neural network on the example of using the optimization method, in the form of gradient descent, to minimize the neural network error in the backpropagation algorithm. The training of a neural network as an error minimization problem is presented. An iteration of the error backpropagation algorithm as one step of the gradient descent method is considered.

**Keywords:** neural networks, pattern recognition, numerical methods, optimization, Gradient Descent method, error backpropagation algorithm.

Рассмотрим математическую модель нейронной сети на примере задачи распознавания образов, а именно, цифр.

Данная модель представляет собой по классификации нейронную сеть с учителем.

При обучении с учителем предполагается, что есть внешняя среда, которая предоставляет обучающие примеры (значения входов и соответствующие им значения выходов) на этапе обучения или оценивает правильность функционирования нейронной сети и в соответствии со своими критериями меняет состояние нейронной сети или поощряет (наказывает) нейронную сеть, запуская тем самым механизм изменения ее состояния. При обучении без учителя примеры подаются без выходных значений, из-за чего нейронная сеть при распознавании определяет лишь конкретную группу, без обозначения того, что эта группа из себя представляет [1,2].

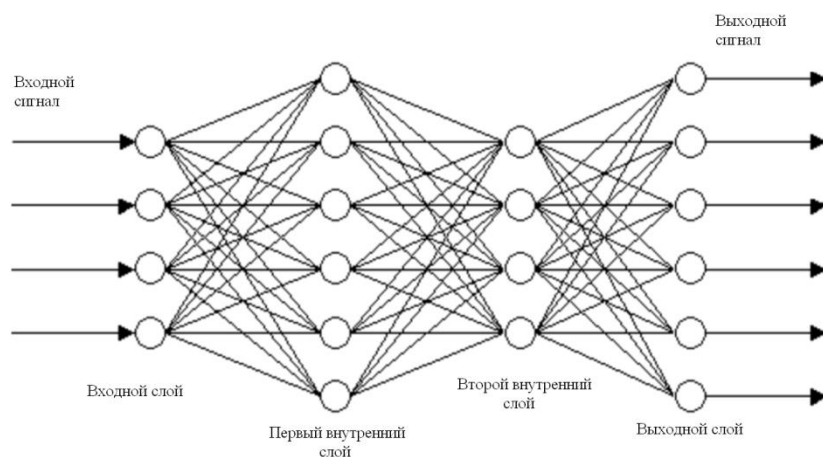


Рисунок 1 – Пример структуры нейронной сети

Распознавание иероглифической черты в китайском иероглифе осуществляется посредством обученной нейронной сети.

Нейронная сеть – это одно из направлений научных исследований в области создания искусственного интеллекта, в основе которого лежит стремление имитировать нервную систему человека [2,3].

Нейронная сеть представляет собой нейроны, связанные между собой синапсами.

Нейрон является [4] составной частью нейронной сети. Он состоит из элементов трех типов: умножителей (синапсов), сумматора и функции насыщения. Синапсы осуществляют связь между нейронами и являются результатом умножения входного сигнала на вес синапса (число, характеризующее силу связи). Сумматор выполняет сложение сигналов, поступающих по синаптическим связям других нейронов, и внешних входных сигналов. Функция активации реализует нелинейную функцию одного аргумента – выхода сумматора. Эта функция называется функцией активации, насыщения или передаточной функцией нейрона [5].

В общем случае входной сигнал, весовые коэффициенты и смещение могут принимать действительные значения, а во многих практических задачах – лишь некоторые фиксированные значения. Выход определяется видом функций активации и может быть как действительным, так и целым. Синаптические связи с положительными весами называют возбуждающими, с отрицательными весами – тормозящими [6].

Математическая модель нейрона имеет вид:

$$S = \sum_{i=1}^n w_i x_i + b, \quad (1)$$

$$y = f(s), \quad (2)$$

где  $x_i$  – компонент входного вектора (входной сигнал),  $i = 1 \dots n$ ;  
 $w_i$  – вес (weight) синапса,  $i = 1 \dots n$ ;  
 $b$  – значение смещения (bias);  
 $n$  – число входов нейрона;  
 $s$  – результат суммирования (sum);  
 $f$  – нелинейное преобразование (функция активации);  
 $y$  – выходной сигнал нейрона.

На входной сигнал нелинейный преобразователь отвечает выходным сигналом  $f(s)$ , который представляет собой выход  $y$  нейрона.

Нейронная сеть состоит из трех видов слоев нейронов:

- входной слой;
- внутренний слой;
- выходной слой.

При объяснении и использовании нейронной сети зачастую скрытые слои (внутренние) представляются как «черный ящик», а количество скрытых слоев и количество нейронов на них либо принимают как произвольные значения, либо высчитывают по общепринятым формулам, не вдаваясь в логический смысл внутренних слоев, ссылаясь лишь на математические формулы. Черный ящик – это термин, использующийся для обозначения системы, сложность которой очень высока, либо механизм работы данной системы не важен [7 – 9].

Входной слой представляет собой входные данные, например, для распознавания иероглифической черты (или иероглифа), введенная в виде изображения черта рассматривается попиксельно, каждый пиксель изображения оценивается числом от 0 до 1, в зависимости от цвета пикселя, где 0 – это белый цвет, а 1 – это черный цвет. Для идентификации иероглифической черты требуется найти все значения на внутренних слоях нейронной сети, для данной модели изображение выбрано размером  $x * y$  пикселей, нейронная сеть имеет  $n$ -внутренних слоев, каждый слой имеет собственное количество нейронов.

Связи, веса нейронов показывают насколько яркость конкретного набора пикселей влияет на активацию нейрона в первом внутреннем слое, тогда каждый нейрон первого внутреннего слоя нейронной сети будет представлять собой небольшую группу пикселей, тогда активация нейронов на втором внутреннем слое будет напрямую зависеть от того, какие нейроны были активированы на первом слое, таким образом, каждый нейрон второго выходного слоя будет содержать группу групп пикселей, неся в себе информацию о большей части изображения.

Перед обучением нейронной сети все веса создаются случайно в заданном диапазоне.

Для распознавания иероглифической черты при получении изображения во входной слой системе потребуется найти значения нейронов на внутренних слоях, в результате чего получится значение на выходном слое, соответствующее идентификатору соответствующей иероглифической черты.

Для нахождения нейронов на первом внутреннем слое воспользуемся формулой:

$$\varphi_i^{(q)} = \sigma(\sum(w_i^q a_j) + b_i^q), \quad (3)$$

где  $\varphi_i^{(q)}$  – значение нейрона  $i$ -го нейрона в слое  $q$ ;  
 $\sigma$  – функция активации;  
 $a_j$  – значение яркости  $j$ -го пикселя;  
 $w_i^q$  – вес связи  $i$ -го нейрона  $q$ -го слоя;  
 $b$  – смещение  $i$ -го нейрона  $q$ -го слоя.

Формула функции активации  $\sigma$  вычисляется данным образом:

$$\sigma = f(S) = \frac{1}{1 - e^{-aS}}, \quad (4)$$

где  $a$  – константа;

$S$  – взвешенная сумма входных сигналов нейрона  $\varphi_i^{(q)}$ .

В результате вычисления значений каждого нейрона на первом внутреннем слое получается значение, зависящее от количества пикселей изображения, для придания значения нейрона в диапазоне от 0 до 1 используется функция активации.

Для нахождения значения нейронов на остальных внутренних слоях формула 3 приобретает вид:

$$\varphi_i^{(q)} = \sigma \left( \sum \left( w_i^q \varphi_i^{(q-1)} \right) + b_i^q \right), \quad (5)$$

где  $\varphi_i^{(q)}$  – значение  $i$ -го нейрона в слое  $q$ ;

$\sigma$  – функция активации;

$\varphi_i^{(q-1)}$  – значение  $i$ -го нейрона  $(q-1)$ -го внутреннего слоя;

$w_i^q$  – вес связи  $i$ -го нейрона  $q$ -го слоя;

$b$  – смещение  $i$ -го нейрона  $q$ -го слоя.

Выходной слой содержит значения распознавания, например, для распознавания иероглифической черты выходной слой будет равен 29 нейронам, каждый нейрон соответствует конкретной иероглифической черте. Значение выходного слоя вычисляется по заданной формуле:

$$\varphi_i^{\text{ВЫХ}} = \sigma \left( \sum \left( w_i^{q_n} \varphi_i^{(q_n)} \right) + b_i^{\text{ВЫХ}} \right), \quad (6)$$

где  $\varphi_i^{\text{ВЫХ}}$  – значение  $i$ -го нейрона в выходном слое;

$\sigma$  – функция активации;

$\varphi_i^{(q_n)}$  – значение  $i$ -го нейрона последнего внутреннего слоя;

$w_i^{q_n}$  – вес связи  $i$ -го нейрона последнего внутреннего слоя;

$b$  – смещение  $i$ -го нейрона выходного слоя.

Например, подав изображение единицы и вычислив значение на выходном слое, если наибольшее значение нейрона у нейрона №8, значит система распознает цифру, как цифру 7.

Однако это совершенно не так, поскольку нейронная сеть не обучена. Обучение нейронной сети – это задача минимизации ошибки искусственной нейронной сети  $E(w)$  (ИНС):

$$(w) = \frac{1}{2} (1 - \partial_i^{\text{ВЫХ}})^2. \quad (7)$$

Значение ошибки ИНС задается изначально и является условием остановки обучения нейронной сети. Если значение ошибки превышает требуемый порог, система считается необученной, значит, обучение должно продолжаться.

Для нахождения ошибки воспользуемся многомерным методом оптимизации – методом градиентного спуска.

Процесс сдвигения значения на отрицательный градиент – и есть градиентный спуск – это способ приблизиться к локальному минимуму функции ошибки.

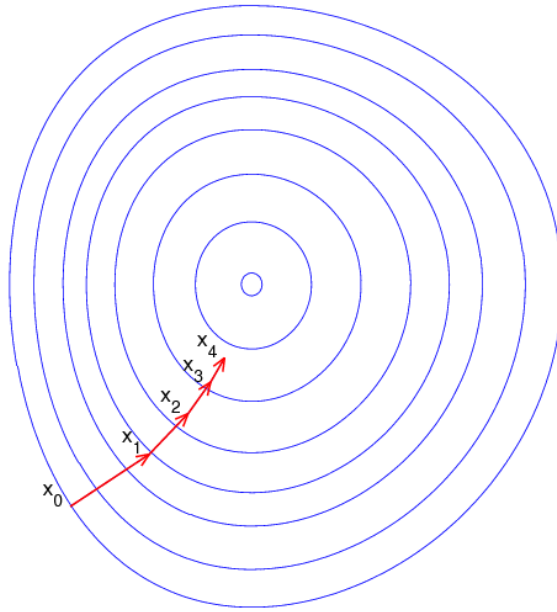


Рисунок 2 – Пример работы метода Градиентного спуска

Минимизация методом градиентного спуска обеспечивает подстройку весовых коэффициентов следующим образом:

$$\Delta w_{ij}(q) = \eta \frac{\partial E}{\partial w_{ij}}, \quad (8)$$

где  $\Delta w_{ij}^{(q)}$  – величина изменения веса связи, соединяющей  $i$ -й нейрон  $(q-1)$  слоя с  $j$ -м нейроном слоя  $q$ ;

$\eta$  – коэффициент скорости обучения,  $0 < \eta < 1$ .

Таким образом, вес связи изменяется пропорционально её вкладу в значение ошибки нейрона, для которого эта связь является входной, т.к. частная производная по весу  $\frac{\partial E}{\partial w_{ij}}$  показывает зависимость скорости изменения функции ошибки  $E$  от изменения этого веса. Опустим преобразования формулы (4) и представим сразу конечный результат (9). Изменение веса связи определяется следующим образом:

$$\Delta w_{ij}(q) = \eta \delta_j x_i, \quad (9)$$

где  $\delta_j$  – значение ошибки  $j$ -го нейрона в слое  $q$ ;

$x_i$  – значение  $i$ -го входного сигнала для  $j$ -го нейрона слоя  $q$ .

Данная формула применима и для настройки смещений нейронов, только вместо  $x_i$  необходимо подставить «1».

Отметим, что значение ошибки нейрона определяется в зависимости от его положения в сети.

Для нейронов выходного слоя:

$$\partial_i = (f_{i,k}(S))' (f_{i,k} - y_{i,k}), \quad (10)$$

где  $y_{i,k}$  – требуемое значение выходного сигнала  $k$ -го нейрона для  $i$ -го набора данных из обучающей выборки;

$f_{i,k}$  – фактическое значение выходного сигнала  $k$ -го нейрона для  $i$ -го набора данных из обучающей выборки;



$(f_{i,k}(S))'$  – значение производной активационной функции  $k$ -го нейрона для  $i$ -го набора обучающих данных.

Если нейрон принадлежит одному из скрытых слоев, то:

$$\partial_i^{(q)} = \left( f_i^{(q)}(S) \right)' \sum_j w_{ij} \partial_j^{(q+1)}, \quad (11)$$

где  $\delta_i^{(q)}$  – ошибка  $i$ -го нейрона в слое  $q$ ;  
 $\delta_j^{(q+1)}$  – ошибка  $j$ -го нейрона в  $(q+1)$  слое;  
 $w_{ij}$  – вес связи, соединяющей эти нейроны;  
 $(f_{i,k}(S))'$  – значение производной активационной функции  $i$ -го нейрона слоя  $q$ .

Таким образом, значение ошибки нейрона пропорционально его «влиянию» на величины ошибок нейронов следующего слоя, а также скорости изменения его выходного сигнала для  $k$ -го набора обучающих данных.

Рассмотрим ИНС с нейронами с лог-сигмоидными функциями активации:

$$f(S) = \frac{1}{1 + e^{-aS}}, \quad (12)$$

где  $a$  – константа;  
 $S$  – взвешенная сумма входных сигналов нейрона.

Тогда формула будет иметь вид:

$$f'(S) = af(S)(1 - f(S)), \quad (13)$$

и формулы (10), (11) соответственно примут вид:

$$\partial_i = af_{i,k}(1 - f_{i,k})(f_{i,k} - y_{i,k}), \quad (14)$$

$$\partial_i^{(q)} = af_i(1 - f_i) \sum_j w_{i,j} \partial_j^{(q+1)}. \quad (15)$$

После чего, находится ошибка на выходном слое  $\partial_{\text{вых}}$ :

$$\partial_{\text{вых}} = \varphi_i^{\text{вых}}(1 - \varphi_i^{\text{вых}}) * (\varphi_i^{\text{вых}} - 1). \quad (16)$$

Ошибка выходного слоя несет в себе информацию о том, насколько наша система неправильно распознала черту или иероглиф, от нее зависит то, насколько сильно нужно корректировать веса и смещения нейронной сети.

На основе ошибки выходного слоя находим ошибки последнего( $q$ -го) внутреннего слоя:

$$\partial_{\text{посл}} = \varphi_i^q(1 - \varphi_i^q) * \partial_i^{\text{вых}} * w_i^q, \quad (17)$$

и ошибки остальных внутренних слоев:

$$\partial_q = \varphi_i^{q+1}(1 - \varphi_i^{q+1}) * (\varphi_i^{(q)} + w_i^q * \partial_i^{q+1}). \quad (18)$$

Зная ошибки значений нейронов на слоях, можно провести корректировку весов и смещений нейронной сети

Изменение веса между выходным значением и значением значения нейрона на последнем внутреннем слое вычисляется следующим образом:

$$w_i^{\text{вых}} = -0.1 * \partial_{\text{вых}} * \varphi_i^q + w_i^{\text{вых}}. \quad (19)$$

Корректировка смещения для всех слоев вычисляется по формуле:

$$b^q = b^q - 0.1 * \varphi_i^q * 1). \quad (20)$$

Изменение веса между остальными слоями:

$$w_i^q = -0.1 * \partial^{q+1} * \varphi_i^q + w_i^q). \quad (21)$$

После завершения корректировки весов и смещений считается, что произошло обучение нейронной сети на одном примере, обучение происходит до тех пор, пока ошибка ИНС по формуле 13 не станет меньше заданной.

### Библиографический список

1. Рейнгольд Э. Комбинаторные алгоритмы. Теория и практика [Текст] / Э. Рейнгольд, Ю. Нивергельт, Н. Део. – М. : Мир, 1980. – 476 с.
2. Левитин А.В. Алгоритмы: введение в разработку и анализ [Текст] / А. В. Левитин – М. : Издательский дом «Вильямс», 2006. – 576 с.
3. 3. ComputerWorld :History of deep machine learning [Electronic resource] : electronic journal. – Access mode: <http://www.computerworld.ru/articles/Istoriya-glubinnogo-mashinnogo-obucheniya>, free (date of the application 17.06.18).
4. 4. MachineLearning.ru: Professional information and analytical resource dedicated to machine learning, pattern recognition and data mining [Electronic resource] :electronic encyclopedia. Access mode: <http://www.machinelearning.ru>, free (date of the application 13.06.17).
5. Gorbachevskaya E. N. Classification of neural networks [Text] / E. N. Gorbachevskaya// V.N. Tatishchev Volga University Bulletin. – 2012. – № 2. – p. 128–134.
6. Kruglov V. V. Artificial neural networks. Theory and practice [Text] / B. B. Kruglov, V. V. Borisov. – 2-edition. // Hot line – Telecom. – Moscow. – 2002.–382 p. –ISBN 5-93517-031-0.
7. The Elements of Statistical Learning. DataMining, Inference, and Prediction [Text] / TrevorHastie, RobertTibshirani, JeromeFriedman //Springer. – 2009. – 764p. - ISBN-10: 0387848576.
8. Lagunov N.A. Application of convolutional neural networks in problems of recognition of multiparameter objects [Text] / N. A. Lagunov. // Space and time – Moscow. – Institute of Philosophy RAS. – 2013. – №3 – p. 194–197.
9. An Overview of Convolutional Neural Networks for Image Classification Problem [Text] / made. : Sikorsky O.S. //Bauman Moscow State Technical University – 7p.
10. Adam: A Method for Stochastic Optimization [Text] / Diederik P. Kingma, Jimmy Lei Ba // The International Conference on Learning Representations.–San Diego. – 2015. – 15 p.

## ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОССТАНОВЛЕНИЯ МАРГАНЦА ИЗ МОНОФАЗНОГО МАТЕРИАЛА

Голодова М.А., Рыбенко И.А., Рожихина И.Д., Нохрина О.И.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»

г. Новокузнецк, Россия, golodova\_ma@mail.ru

**Аннотация.** Методом термодинамического моделирования с применением программного комплекса «Терра» выполнены расчеты параметров равновесного состояния процессов восстановления марганца из монофазного материала углеродом и кремнием. Расчеты реализованы как отдельно для каждого типа восстановителя так и совместно. Построены зависимости параметров процесса от расходов восстановителей. Проведен анализ полученных результатов.

**Ключевые слова:** марганец, восстановление, термодинамическое моделирование, соединения марганца.

**Abstract.** Calculations of equilibrium state parameters of manganese reduction processes monophasic material from with carbon and silicon were made using the thermodynamic modeling method using the Terra software complex. Calculations are implemented both separately for each type of reducing agent and jointly. Dependencies of process parameters on recoverers costs are built. The results were analyzed.

**Keywords:** manganese, reduction, thermodynamic modeling, manganese compounds.

Улучшение технико-экономических показателей производства марганцевых сплавов в электропечах, в том числе снижение удельного расхода электроэнергии и повышение коэффициента извлечения марганца, возможно при использовании в составе шихтовых материалов марганцевого концентрата, полученного в результате гидрометаллургического обогащения железо-марганцевых руд. Такие концентраты также могут быть использованы для прямого легирования марганцем при обработке стали на агрегате печь - ковш.

В результате экспериментальных исследований установлено, что в концентратах гидрометаллургического обогащения марганец присутствует в виде соединений  $(Ca, Mg)Mn_2O_4$  (марокит) и  $(Ca, Mg)MnO_3$  (монофазный материал) [1, 2]. При использовании этих материалов процесс металлургического восстановления марганца значительно ускоряется, но в связи с высокой стоимостью такого восстановителя как алюминий актуальным является вопрос о замене его на имеющие меньшую стоимость углерод и кремний.

Так как ранее в основном исследовалось восстановление марганца из его оксидов и марокита [3, 4], то процесс совместного восстановления марганца из монофазного материала углеродом и кремнием представляет значительный интерес.

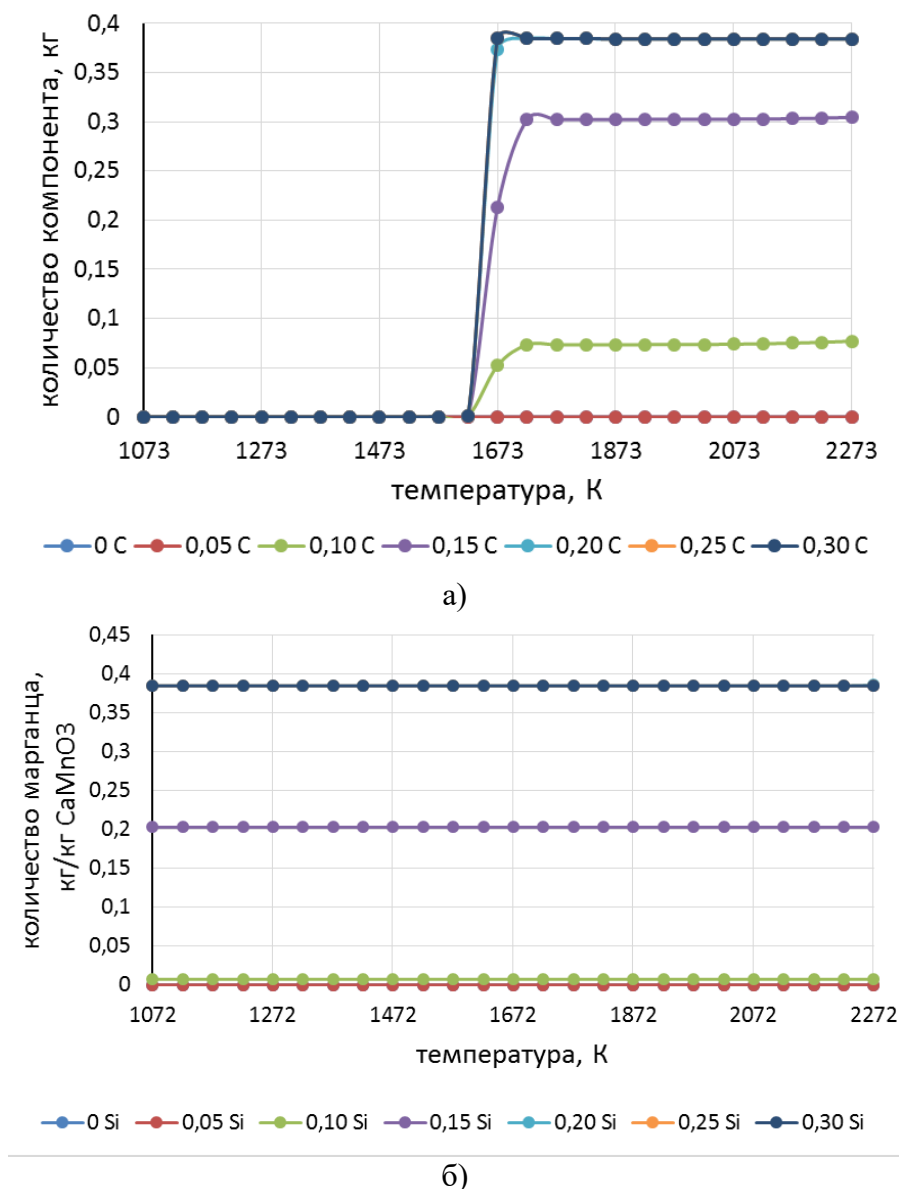
Термодинамическое моделирование производилось с использованием программного комплекса «Терра», показавшего свою эффективность при исследовании восстановления железа и других металлов из оксидных фаз [5].

Расчеты были выполнены для 1 кг монофазного материала  $(CaMnO_3)$ , диапазон изменения количества восстановителей (углерода и кремния) от 0,00 до 0,30 кг/кг монофазного материала при температуре от 1273К до 2273К.

В результате термодинамического моделирования выявлено, что в составе продуктов восстановления присутствуют марганец в конденсированном и газообразном состоянии, карбид марганца, оксид кальция, диоксид кремния, силикаты кальция, карбиды и силициды (при высоких температурах).

Термодинамическое моделирование процесса показало, что при использовании в качестве восстановителя углерода восстановление начинается при температуре 1623К и расходе углерода более 0,10 кг/кг монофазного материала и заканчивается при температуре 1723К (рисунок 1, а). При восстановлении монофазного материала кремнием процесс от температуры в заданном диапазоне не зависит (рисунок 1, б) и протекает при рас-

ходе кремния более 0,15 кг/кг монофазного материала. При температурах сталеплавильных процессов процесс восстановления марганца зависит только от расхода восстановителя.



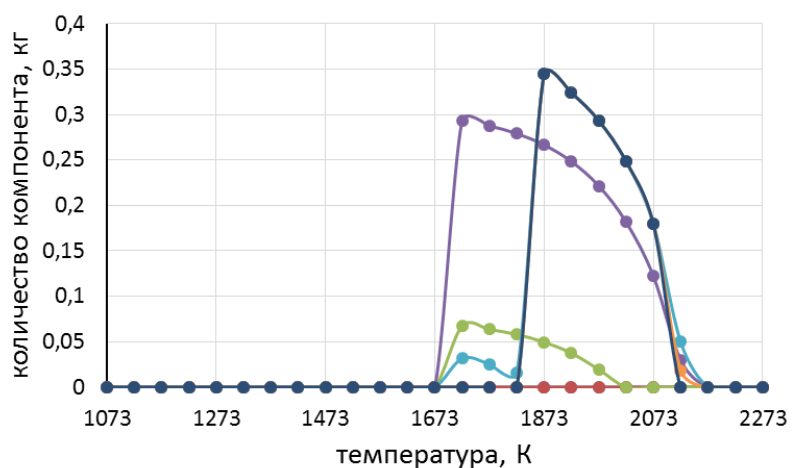
а – восстановление углеродом, б – восстановление кремнием

Рисунок 1 – Зависимость количества восстановленного марганца от температуры и количества восстановителя, кг/кг  $\text{CaMnO}_3$

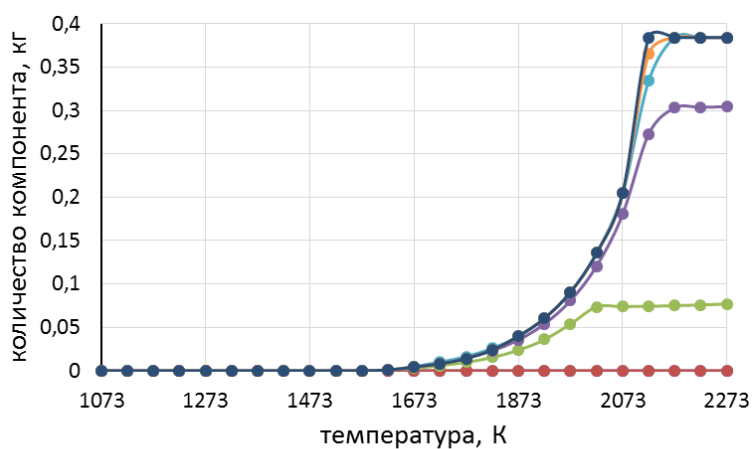
Распределение марганца между отдельными фазами при восстановлении углеродом приведено на рисунке 2.

Количество марганца в конденсированной фазе увеличивается с ростом температуры (рисунок 2, а), а затем снижается, при температуре 2173К весь марганец переходит в газовую фазу (рисунок 2, б). Карбид марганца присутствует в интервале температур от 1623К до 1873К.

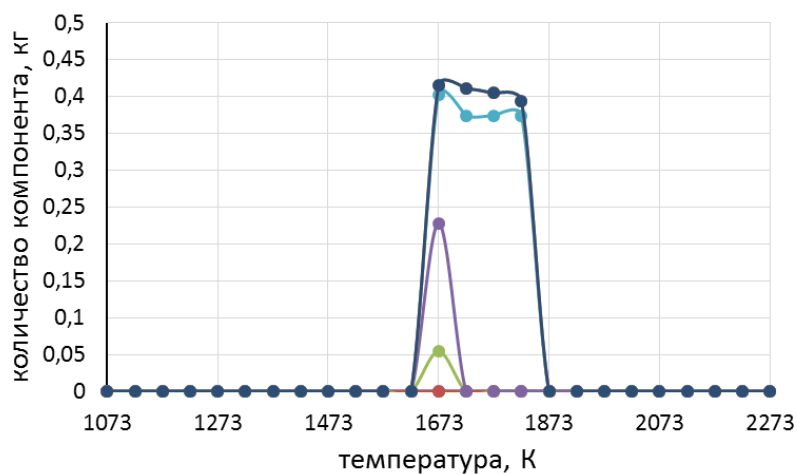
Распределение марганца между отдельными фазами при восстановлении кремнием приведено на рисунке 3.



— 0 C — 0,05 C — 0,10 C — 0,15 C — 0,20 C — 0,25 C — 0,30 C



— 0 C — 0,05 C — 0,10 C — 0,15 C — 0,20 C — 0,25 C — 0,30 C

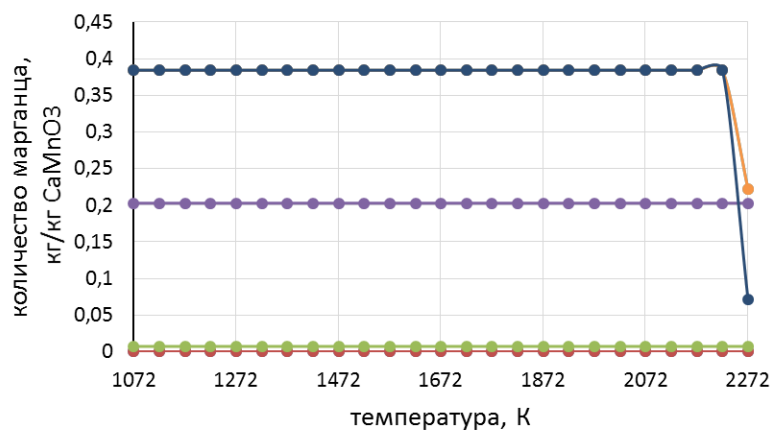


— 0 C — 0,05 C — 0,10 C — 0,15 C — 0,20 C — 0,25 C — 0,30 C

в)

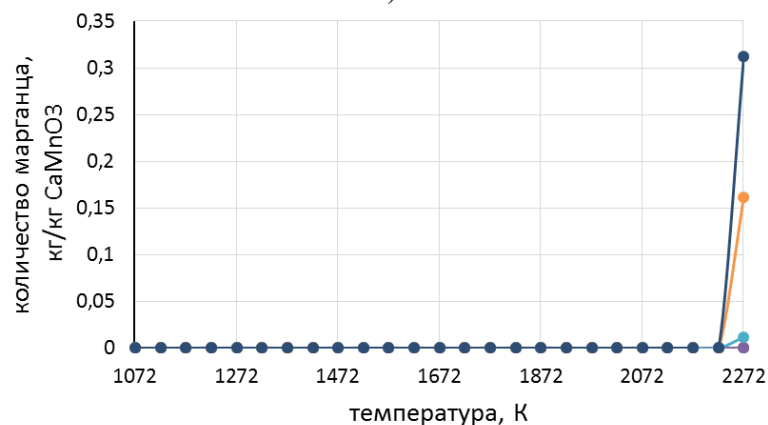
а – марганец металлический, б – марганец в газовой фазе, в – карбид марганца

Рисунок 2 – Распределение восстановленного марганца между отдельными фазами при восстановлении углеродом, кг/кг  $\text{CaMnO}_3$



— 0 Si — 0,05 Si — 0,10 Si — 0,15 Si — 0,20 Si — 0,25 Si — 0,30 Si

а)



— 0 Si — 0,05 Si — 0,10 Si — 0,15 Si — 0,20 Si — 0,25 Si — 0,30 Si

б)

а – марганец металлический, б – марганец в газовой фазе

Рисунок 3 – Распределение восстановленного марганца между отдельными фазами при восстановлении кремнием, кг/кг  $\text{CaMnO}_3$

Количество марганца в конденсированной фазе снижается при температуре выше 2073К (рисунок 3, а), большая часть марганца переходит в газовую фазу (рисунок 3, б). Наличие в продуктах восстановления силицидов марганца расчет не показал.

Были также рассчитаны коэффициенты извлечения марганца из исходного соединения при температурах сталеплавильного процесса от расходов углерода и кремния (рисунок 4). Из полученной зависимости следует, что при средней температуре 1923К процесс восстановления марганца из монофазного материала заканчивается при расходе углерода 0,2 кг и при расходе кремния 0,2 кг.

При совместном восстановлении монофазного материала углеродом и кремнием при температурах сталеплавильных процессов марганец находится в виде марганца металлического в конденсированной и газовой фазах, карбид марганца отсутствует.

Шлаковая фаза при совместном восстановлении представлена силикатами ( $\text{CaSiO}_3$  и  $\text{Ca}_3\text{Si}_2\text{O}_7$ ) и оксидом кальция, последний присутствует в системе при расходах кремния менее 0,15 кг/кг монофазного материала. Зависимости количества силикатов от расхода восстановителей представлены на рисунке 5.

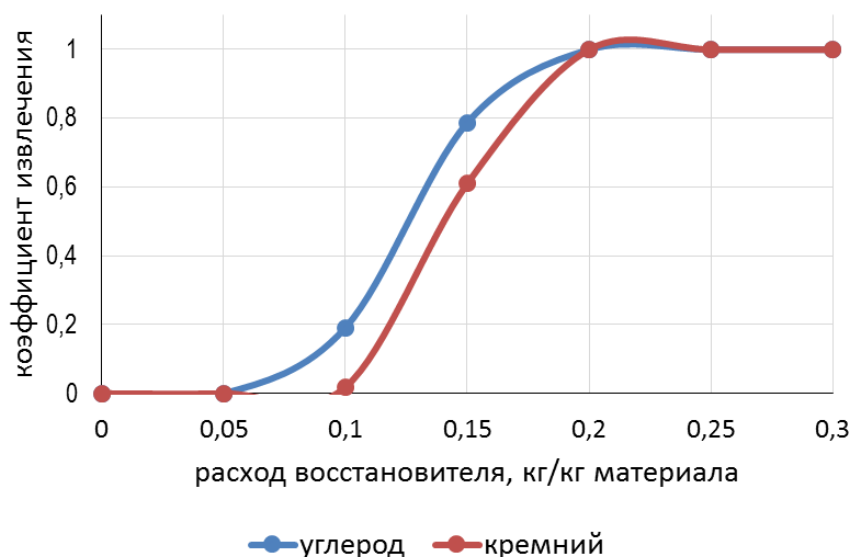


Рисунок 4 – Коэффициент извлечения марганца при восстановлении углеродом и кремнием

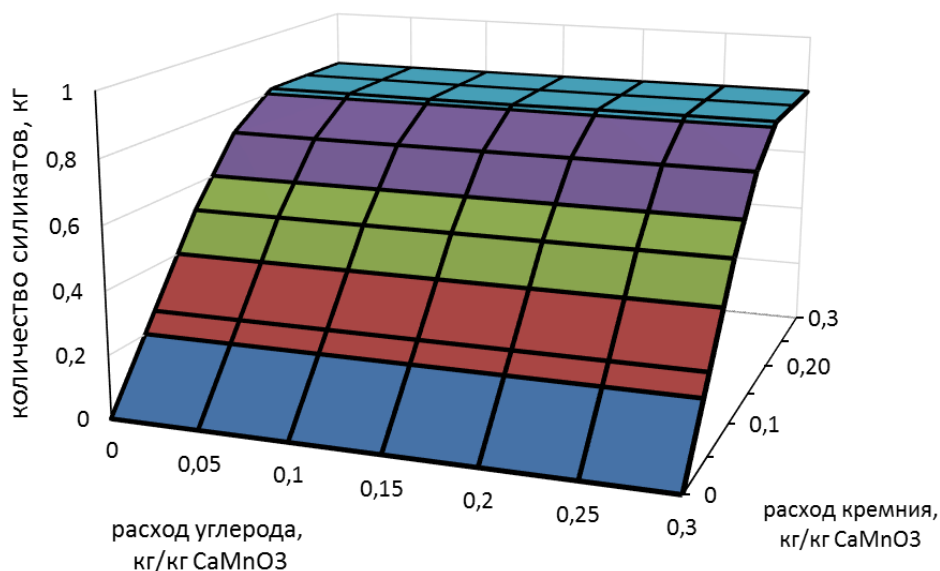


Рисунок 5 – Зависимость количества силикатов от расходов восстановителей

Представленная на рисунке 6 зависимость коэффициента извлечения марганца от расходов углерода и кремния показывает, что при расходах восстановителей более 0,2 кг/кг монофазного материала марганец восстанавливается полностью.

Полученные данные позволили определить зависимость между расходами восстановителей при совместном восстановлении монофазного материала углеродом и кремнием (рисунок 7). Эту зависимость в диапазоне расходов до 0,2 кг/кг  $\text{CaMnO}_3$  можно описать уравнением

$$y = -x + 0,2,$$

с коэффициентом достоверности  $R^2=1$ .

Проведенные термодинамические исследования позволили определить расходы восстановителей, необходимые для полного восстановления марганца из монофазного

материала, а также соотношение между ними, обеспечивающее максимальный коэффициент извлечения.

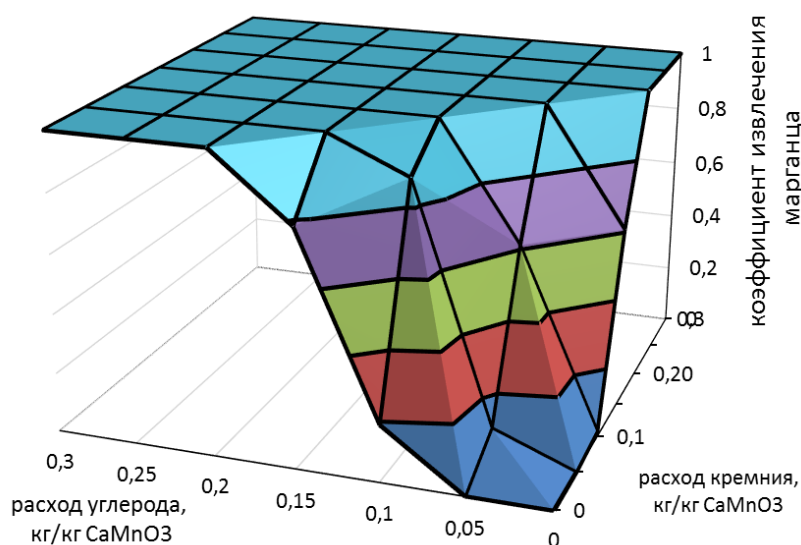


Рисунок 6 - Коэффициент извлечения марганца при совместном восстановлении кремнием и углеродом

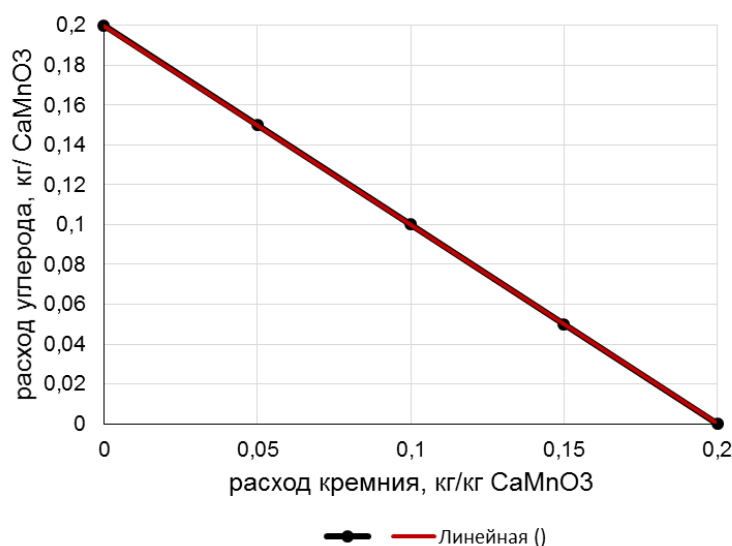


Рисунок 7 – Зависимость между расходами восстановителей

### Библиографический список

1. Рожихина И. Д. Исследование процесса синтеза кальциймарганецсодержащих материалов / И.Д. Рожихина, О.И. Нохрина, Г.М. Тираков, Г.Л. Борщевская // Изв. вузов. Черная металлургия. – 2008. – № 10. – С. 27 – 31.
2. Нохрина, О. И. Получение и использование высококачественных концентратов из марганецсодержащего сырья : монография / О. И. Нохрина, И. Д. Рожихина, И. Е. Прошунин ; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк : Издательский центр СибГИУ, 2019.
3. Рыбенко, И. А. Моделирование условий восстановления марганца углеродом, кремнием и алюминием / И. А. Рыбенко, О. И. Нохрина, И. Д. Рожихина, И. Е. Прошунин, М. А. Голодова // Металлургия: технологии, инновации, качество. Металлургия -



- 2019 : труды XXI Международной научно-практической конференции, 23-24 октября 2019 г. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2019. – Ч. 2. - С. 93-100.
4. Использование методов термодинамического моделирования для описания процессов восстановления элементов из чистых оксидных систем [текст] / М. А. Голодова, И. Д. Рожихина, О. И. Нохрина, И. А. Рыбенко // Моделирование и наукоемкие информационные технологии в технических и социально-экономических системах: тр. IV все-росс. науч.-практ. конф. с межд. участием. В 2 ч. Ч. I. ; под общ. ред. В. П. Цымбала, Т. В. Киселевой. – Новокузнецк : Изд. СибГИУ, 2016. – С. 117 – 123.
  5. Трусов, Б. Г. Программная система ТЕРРА для моделирования фазовых и химических равновесий при высоких температурах [текст] / Б. Г. Трусов // III межд. симпозиум «Горение и плазмохимия». 24 – 26 августа 2005. Алматы, Казахстан. – Алматы : Казак университеті, 2005. – С. 52 – 57.

УДК 519.6

## ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРА РЕЛАКСАЦИИ НА СКОРОСТЬ СХОДИМОСТИ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ T-ENERGY

Сеченов П.А.

*ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»  
г. Новокузнецк, Россия, pavesa89@mail.ru*

**Аннотация.** В статье рассмотрено решение проблемы определения равновесного состояния сложной многокомпонентной термодинамической системы на основе принципа максимума энтропии. Представлен пример нахождения максимума энтропии с последовательным применением методов: Лагранжа, Ньютона-Рафсона и Гаусса и рассмотрены особенности задания системы ограничений. С использованием этих методов реализована и протестирована программа нахождения равновесного состава сложной многокомпонентной термодинамической системы.

**Ключевые слова:** численный метод, программный комплекс, максимум энтальпии, парадокс Гиббса, метод Ньютона-Рафсона.

**Abstract.** The article considers the solution of the problem of determining the equilibrium state of a complex multicomponent thermodynamic system based on the principle of maximum entropy. An example of finding the entropy maximum with the successive application of the methods: Lagrange, Newton-Raphson and Gauss is presented, and the features of specifying a system of restrictions are considered. Using these methods, a program for finding the equilibrium composition of a complex multicomponent thermodynamic system was implemented and tested.

**Keywords:** numerical method, software package, enthalpy maximum, Gibbs paradox, Newton-Raphson method.

Основными достоинствами методики расчета термодинамического равновесия, основанной на принципе максимума энтропии [1], является возможность расчета высоко-температурного равновесного состояния любой сложной многомерной гетерогенной системы на основании одних фундаментальных законов термодинамики независимо от условий и способов достижения равновесия при минимуме информации о системе.

Данный подход при моделировании сложных многокомпонентных термодинамических систем реализован в инструментальной системе T-Energy [2]. Программа содержит обширную базу данных по термодинамическим свойствам индивидуальных веществ [3], модуль расчета термодинамических функций химических реакций [4] и модуль расчета равновесного состояния термодинамической системы на основе принципа максимума энтропии.

В общем случае энтропию системы можно представить в виде суммы энтропии составляющих компонентов [5]:

$$s = \sum_{k=1}^K s_k^{(p_k)} n_k + \sum_{q=1}^Q s_q n_q = \sum_{k=1}^K \left( s_k^0 - R_0 \ln \frac{R_0 T n_k}{V} \right) n_k + \sum_{q=1}^Q s_q^0 n_q \quad (1)$$

где  $s_k^{(p_k)}$  – энтропия  $i$ -ой компоненты газовой фазы, кДж/моль·К;  
 $p_k$  – парциальное давление, мПа;  
 $s_k$  – энтропия  $k$ -й компоненты газовой фазы при температуре  $T$  и нормальном атмосферном давлении, кДж/моль·К;  
 $R_0$  – универсальная газовая постоянная;  
 $K$  – количество компонент в газовой фазе;  
 $Q$  – количество компонент в конденсированной фазе;  
 $n$  – концентрации компонент соответствующей фазы в относительных единицах.

Решая уравнение (1) относительного полного приведенного изобарно-изотермического потенциала Гиббса

$$F = s - I / T, \quad (2)$$

где  $I$  – полная энтальпия, получаем уравнение для приведенной энергии Гиббса:

$$F = \sum_{k=1}^K F_k^0 n_k - \sum_{k=1}^K n_k \cdot \ln \left( \sum_{k=1}^K n_k \right) + \sum_{k=1}^K (n_k \cdot \ln(n_k)) + \sum_{q=1}^Q F_q^0 n_q \quad (3)$$

Это уравнение является нелинейным из-за газовой составляющей. При смешении идеальных газов, возникает парадокс Гиббса [5], который отражается в выражении (3) в виде логарифмических составляющих.

Для решения задачи поиска экстремума приведенной энергии Гиббса разработан численный метод, основанный на применении методов Лагранжа [6, 7], Ньютона-Рафсона [8, 9] и Гаусса [10].

Метод Лагранжа используется для математической записи задачи в виде нелинейных уравнений, для решения которых применяется метод Ньютона-Рафсона, на каждой итерации которого используется метод Гаусса для нахождения экстремума по каждой переменной.

Представим термодинамическую систему в виде смеси индивидуальных веществ, взаимодействующих между собой, в результате этого взаимодействия система приходит в конечное равновесное состояние. Ограничения на количество вещества по каждому компоненту системы представлены уравнениями (4):

$$\begin{cases} n_{in,1} = \sum_{u=1}^U m_{u,1} \cdot n_{u,1} \\ \dots \\ n_{in,R} = \sum_{u=1}^U m_{u,R} \cdot n_{u,R} \end{cases} \quad (4)$$

где  $n_{in,1}$  – исходное количество 1-го вещества в термодинамической системе, моль;  
 $R$  – количество исходных веществ;  
 $U$  – количество возможных веществ в равновесном состоянии системы;  
 $m_{u,r}$  – максимально возможное количество вещества в системе;  
 $n_{u,r}$  – количество  $u$ -го вещества в конечном равновесном состоянии, моль.

После включения ограничений (4) в целевую функцию в виде функции Лагранжа, получаем следующее уравнение для приведенной энергии Гиббса:

$$F = \sum_{k=1}^K F_k^0 n_k - \sum_{k=1}^K n_k \cdot \ln \left( \sum_{k=1}^K n_k \right) + \sum_{k=1}^K (n_k \cdot \ln(n_k)) + \sum_{q=1}^Q F_q^0 n_q + \sum_{r=1}^R l_r \cdot \left( \sum_{u=1}^U m_{u,r} \cdot n_{u,r} - n_{in,r} \right). \quad (5)$$

Продифференцировав целевую функцию (5) по количеству веществ (от  $q$  до  $Q$  для твердых веществ) и (от  $k$  до  $K$  для газов), а также по неопределенным множителям Лагранжа  $l$  (от  $r$  до  $R$ ), получаем систему нелинейных уравнений.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial F}{\partial n_q} = F_q + \sum_{r=1}^R m_{q,r} \cdot l_r = 0; \\ \dots \\ \frac{\partial F}{\partial n_Q} = F_Q + \sum_{r=1}^R m_{Q,r} \cdot l_r = 0; \\ \frac{\partial F}{\partial n_k} = F_k + \sum_{r=1}^R m_{k,r} \cdot l_r - \ln(n_k) + \ln \left( \sum_{k=1}^K n_k \right) = 0; \\ \dots \\ \frac{\partial F}{\partial n_K} = F_K + \sum_{r=1}^R m_{K,r} \cdot l_r - \ln(n_K) + \ln \left( \sum_{k=1}^K n_k \right) = 0; \\ \frac{\partial F}{\partial l_r} = \sum_{u=1}^U m_{u,r} \cdot n_{u,r} - n_{in,r} = 0; \\ \dots \\ \frac{\partial F}{\partial l_R} = \sum_{u=1}^U m_{u,R} \cdot n_{u,R} - n_{in,R} = 0. \end{array} \right. \quad (6)$$

Для решения системы нелинейных уравнений (6) использовали метод Ньютона-Рафсона. Проблема сходимости метода Ньютона-Рафсона решена, благодаря введению новых неизвестных и замене  $n_i = z_i^2$  в уравнении (5).

Систему уравнений (4) с учетом замены можно представить в следующем виде:

$$\left\{ \begin{array}{l}
\frac{\partial F}{\partial z_q} = 2 \cdot z_q \cdot \left( F_q + \sum_{r=1}^R m_{q,r} \cdot l_r \right) = 0; \\
\dots \\
\frac{\partial F}{\partial z_Q} = 2 \cdot z_Q \cdot \left( F_Q + \sum_{r=1}^R m_{Q,R} \cdot l_r \right) = 0; \\
\dots \\
\frac{\partial F}{\partial z_k} = 2 \cdot z_k \cdot \left( F_k + \sum_{r=1}^R m_{k,r} \cdot l_r - 2 \cdot \ln(z_k) + \ln\left(\sum_{k=1}^K z_k^2\right) \right) = 0; \\
\dots \\
\frac{\partial F}{\partial z_K} = 2 \cdot z_K \cdot \left( F_K + \sum_{r=1}^R m_{K,r} \cdot l_r - 2 \cdot \ln(z_K) + \ln\left(\sum_{k=1}^K z_k^2\right) \right) = 0; \\
\dots \\
\frac{\partial F}{\partial l_r} = \sum_{u=1}^U m_{u,r} \cdot n_{u,r}^2 - n_{m,r} = 0; \\
\dots \\
\frac{\partial F}{\partial l_R} = \sum_{u=1}^U m_{u,R} \cdot n_{u,R}^2 - n_{m,R} = 0.
\end{array} \right. \quad (7)$$

Значения производных в системе уравнений (7) обозначим, как вектор  $F(\bar{z}, \bar{l})$ . В общем виде метод Ньютона для системы нелинейных уравнений представлен уравнением:

$$F(\bar{z}, \bar{l}) \approx F(\bar{z}^{(0)}, \bar{l}^{(0)}) + H(\bar{z}^{(0)}, \bar{l}^{(0)}) \cdot g(\Delta\bar{z}, \Delta\bar{l}),$$

где  $F(\bar{z}^{(0)}, \bar{l}^{(0)})$  – вектор начальных значений;

$H(\bar{z}^{(0)}, \bar{l}^{(0)})$  – Гессиан;

$g(\Delta\bar{z}, \Delta\bar{l})$  – вектор приращения значений.

Матрица Гессе (Гессиан) функции  $F$  имеет вид:

$$H(\bar{z}, \bar{l}) = \begin{pmatrix}
\frac{\partial^2 F}{\partial z_1^2} & \dots & \frac{\partial^2 F}{\partial z_1 \partial z_{K+Q}} & \frac{\partial^2 F}{\partial z_1 \partial z_{K+Q+r}} & \dots & \frac{\partial^2 F}{\partial z_1 \partial z_{K+Q+R}} \\
\dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
\frac{\partial^2 F}{\partial z_{K+Q} \partial z_1} & \dots & \frac{\partial^2 F}{\partial z_{K+Q}^2} & \frac{\partial^2 F}{\partial z_{K+Q} \partial z_{K+Q+r}} & \dots & \frac{\partial^2 F}{\partial z_{K+Q} \partial z_{K+Q+R}} \\
\frac{\partial^2 F}{\partial z_{K+Q+r} \partial z_1} & \dots & \frac{\partial^2 F}{\partial z_{K+Q+r} \partial z_{K+Q}} & \frac{\partial^2 F}{\partial z_{K+Q+r}^2} & \dots & \frac{\partial^2 F}{\partial z_{K+Q+r} \partial z_{K+Q+R}} \\
\dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
\frac{\partial^2 F}{\partial z_{K+Q+R} \partial z_1} & \dots & \frac{\partial^2 F}{\partial z_{K+Q+R} \partial z_{K+Q}} & \frac{\partial^2 F}{\partial z_{K+Q+R} \partial z_{K+Q+r}} & \dots & \frac{\partial^2 F}{\partial z_{K+Q+R}^2}
\end{pmatrix}. \quad (8)$$

Определив производные, можно выделить области с однотипными значениями и значениями равными нулю.

$$H(\bar{z}, \bar{l}) = \begin{pmatrix} D_1 & \cdots & G_{1,K+Q} & V_{1,K+Q+r} & \cdots & V_{1,K+Q+R} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ G_{K+Q,1} & \cdots & D_{K+Q} & V_{K+Q,K+Q+r} & \cdots & V_{K+Q,K+Q+R} \\ V_{K+Q+r,1} & \cdots & V_{K+Q+r,K+Q} & 0 & 0 & 0 \\ \cdots & \cdots & \cdots & 0 & 0 & 0 \\ V_{K+Q+R,1} & \cdots & V_{K+Q+R,K+Q} & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}. \quad (9)$$

Элементы главной диагонали  $D_i$  вычисляются с помощью следующего соотношения:

$$D_j = \begin{cases} 2 \cdot \left( F_j + \sum_{q=1}^Q m_{j,r} \cdot l_r \right), & \text{если фаза конденсированная} \\ 2 \cdot \left( F_j + \sum_{k=1}^K m_{j,k} \cdot l_k + 2 \cdot \ln(z_j) - \ln\left(\sum_{k=1}^K z_k^2\right) + 2 - \frac{2 \cdot z_j}{\sum_{k=1}^K z_k^2} \right), & \text{если фаза газообразная} \end{cases} \quad (10)$$

При этом индекс  $k$  в  $z_k$  соответствует газообразным веществам. Вторые производные по ограничениям имеют общую формулу:

$$V_{ij} = \begin{cases} V_{K+Q+r,u} = m_{ru} \cdot (2 \cdot z_r), & \text{если номер строки} > \text{номера столбца} \\ V_{u,K+Q+r} = m_{ur} \cdot (2 \cdot z_r), & \text{если номер строки} < \text{номера столбца} \end{cases} \quad (11)$$

При этом  $V_{ij} = V_{ji}$ , где  $i = 1+U, \dots, R+U$ ;  $j = 1, \dots, U$ , где  $R$  – количество реагентов,  $U$  – количество продуктов реакций.

Для газовых веществ получается общая формула:

$$G_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{если фаза конденсированная} \\ \frac{-4 \cdot z_i \cdot z_j}{\sum_{j=1}^K z_j^2}, & \text{если фаза газообразная} \end{cases}, \quad (12)$$

где  $i$  – номер столбца;  
 $j$  – номер строки.

Следующим этапом является нахождение изменения по искомым переменным с помощью метода Гаусса.

Каждый элемент матрицы (9) по столбцам умножается на изменение по координате (вектор приращений):

$$H(\bar{z}^{(0)}, \bar{l}^{(0)}) \cdot g(\Delta \bar{z}^{(1)}, \Delta \bar{l}^{(1)}) = -F(\bar{z}^{(0)}, \bar{l}^{(0)}), \quad (13)$$

где  $\Delta \bar{z} = \bar{z}^{(i+1)} - \bar{z}^{(i)}$ ,  $\Delta \bar{l} = \bar{l}^{(i+1)} - \bar{l}^{(i)}$ .

Методом Гаусса (система из уравнений становится линейной) определяются такие изменения  $\Delta \bar{z}$  и  $\Delta \bar{l}$ , при которых значение невязки по каждой строке из формулы (7) и сумма по строке из матрицы (9) равнялись бы нулю.

Значение  $\bar{z}^{(i+1)}$  на новом шаге для химических элементов вычисляются по формуле

$$\bar{z}^{(i+1)} = \bar{z}^{(i)} + \Delta \bar{z}^{(i)} \cdot \bar{w}^{(i)}, \quad (14)$$

где  $i$  – номер итерации;

$w^{(i)}$  – коэффициент, учитывающий ограничения по значению переменной, таким образом, что компонента  $z^{(i+1)}$  не могла бы быть меньше или равна нулю и не могла быть больше максимального значения  $z_{\max}^{(i)}$ .

Если новое значение больше нуля и меньше максимально допустимого, то

$$0 < z^{(i+1)} \leq z_{\max}^{(i)}, \text{ то } w^{(i)} = 0,1.$$

Если новое значение меньше нуля, то  $z^{(i+1)} \leq 0$ , то  $w^{(i)} = -z^{(i)} / \Delta z^{(i)} \cdot 0,97$ .

Если новое значение больше максимально допустимого:  $z^{(i+1)} > z_{\max}^{(i)}$ , то  $w^{(i)} = (z_{\max}^{(i)} - z^{(i)}) / \Delta z^{(i)} \cdot 0,97$ .

В случае, когда метод Ньютона-Рафсона расходится, то есть получаются бесконечно большие или бесконечно малые значения, применяется Симплекс метод.

Разработанные математическая модель и численные методы реализованы в программном комплексе T-Energy и позволяет рассчитать равновесное состояние сложных многокомпонентных гетерогенных систем [2, 3].

Разработанный алгоритм был протестирован для 50-ти исходных наборов из двух и трех исходных веществ при трех различных температурах. Результаты тестирования показали полное совпадение с расчетами, проведенными с использованием известного программного продукта Terra [1].

### Библиографический список

1. Белов Г.В. Термодинамическое моделирование: методы, алгоритмы, программы. – М.: Научный Мир, 2002. – 184 с.
2. Рыбенко И.А., Сеченов П.А. Инструментальная система расчета термодинамических функций индивидуальных веществ, химических реакций и сложной многокомпонентной гетерогенной системы // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2022. – № 3 (41). – С. 18-27.
3. Сеченов П.А., Рыбенко И.А. База данных и программа для определения термодинамических свойств индивидуальных веществ // Информатика и системы управления. – 2022. – № 1 (71). – С. 17 – 26. DOI: 10.22250/18142400\_2022\_71\_1\_17
4. Сеченов П.А., Рыбенко И.А. Программа расчета термодинамических свойств химических реакций // Южно-Сибирский научный вестник. – 2022. – № 1 (41). – С. 60 – 64. DOI 10.25699/SSSB.2022.41.1.009
5. Игнатович В. Н. Парадокс Гиббса с точки зрения математика: Монография. – Киев: АТОПОЛ, 2010. – 80 с.
6. Макаркин В.М., Апайчева Л.А. Метод Лагранжа решения экстремальной задачи // Международный студенческий научный вестник. – 2016. – № 3-3. – С. 337 – 338.
7. Исмаилов Р.Т. Повышение эффективности использования резервов активной части основных производственных фондов в строительстве // Вестник Дагестанского госу-

- дарственного технического университета. Технические науки. – 2017. – Т. 44. – № 1. – С. 186-195. <https://doi.org/10.21822/2073-6185-2017-44-1-186-195>
8. Шабалин Г.С., Паздерин А.В., Чусовитин П.В., Банных П.Ю., Тащилин В.А. Анализ статической устойчивости с использованием квадратичной целевой функции и обобщенного метода Ньютона // Материалы международной научно-технической конференции. – Иваново: ИГЭУ. – 2015. – С. 249 – 254.
  9. Журтов А.В., Хежев Т.А., Хаджишалапов Г.Н., Карданов А.А., Шогенцуков М.А. Напряженно-деформированное состояние двухслойных армоцементных оболочек в условиях пожара // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2022. – Т. 49. – № 1. – С. 112-121. <https://doi.org/10.21822/2073-6185-2022-49-1-112-121>
  10. Соколова М.А. Система линейных уравнений, основные понятия. Метод Гаусса // Аллея науки. – 2018. – Т. 6. – № 6 (22). – С. 297 –301.

УДК 519.6

## ИССЛЕДОВАНИЕ СХОДИМОСТИ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ ПРИ РАСЧЕТЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО РАВНОВЕСИЯ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ T-ENERGY

Сеченов П.А., Рыбенко И.А.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»  
г. Новокузнецк, Россия, [pavesa89@mail.ru](mailto:pavesa89@mail.ru)

**Аннотация.** В статье рассматривается применение численных методов для решения задачи нахождения равновесного состава сложной многокомпонентной гетерогенной системы. Рассматриваются стратегии применения коэффициента сходимости численных методов для повышения скорости расчетов термодинамического равновесия. Приведены экспериментальные данные для решения системы из 89 и 224 неизвестных. Показано, что наилучшие результаты достигаются при постоянном значении коэффициента сходимости 0.5 и 0.9 соответственно, при которых решение задачи занимает менее 0.7 с.

**Ключевые слова:** численный метод, параметр релаксации, программный комплекс, время решения задачи.

**Abstract.** The article considers the application of numerical methods for solving the problem of finding the equilibrium composition of a complex multicomponent heterogeneous system. Strategies for applying the coefficient of convergence of numerical methods to increase the speed of thermodynamic equilibrium calculations are considered. Experimental data are presented for solving a system of 89 and 224 unknowns. It is shown that the best results are achieved at a constant value of the coefficient of convergence of 0.5 and 0.9, respectively, at which the solution of the problem takes less than 0.7 s.

**Keywords:** numerical method, relaxation parameter, software package, problem solution time.

Для определения термодинамических параметров сложных многокомпонентных систем разработан программный комплекс T-ENERGY, для реализации которого были созданы база данных индивидуальных веществ [1] и химических реакций [2], с использованием которых можно рассчитывать термодинамические функции: энтропию, энтальпию, приведенную энергию Гиббса и удельную теплоемкость. Применение расчетов термодинамических функций химических реакций для металлургического процесса рассмотрено в статье [3]. Наиболее интересным и сложным модулем программного комплекса T-ENERGY является расчет равновесного состава сложной многокомпонентной гетерогенной системы. Для решения такой задачи требуется применение численных методов и составление программных кодов. При этом пользователю важно получить решение задачи как можно скорее. В работе проведено исследование влияния коэффициента сходимости численных методов и применения различных стратегий его изменения во время расчета.

На рисунке 1 представлен общий вид алгоритма применения численных методов Лагранжа, Ньютона-Рафсона и Гаусса для нахождения равновесного состава сложной гетерогенной системы.

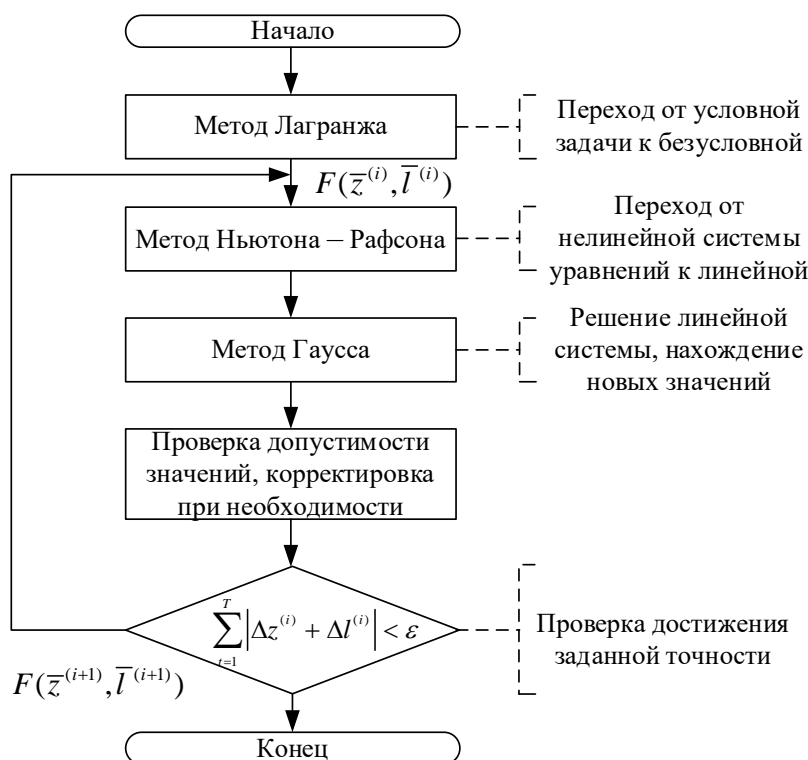


Рисунок 1 – Алгоритм применения численных методов в математической модели нахождения равновесного состава термодинамической системы

В общем виде метод Ньютона для системы нелинейных уравнений представлен уравнением:

$$F(\bar{z}, \bar{l}) \approx F(\bar{z}^{(0)}, \bar{l}^{(0)}) + H(\bar{z}^{(0)}, \bar{l}^{(0)}) \cdot g(\Delta\bar{z}, \Delta\bar{l}),$$

где  $F(\bar{z}^{(0)}, \bar{l}^{(0)})$  – вектор начальных значений;  
 $H(\bar{z}^{(0)}, \bar{l}^{(0)})$  – Гессиан;  
 $g(\Delta\bar{z}, \Delta\bar{l})$  – вектор приращения значений.

Значение  $\bar{z}^{(i+1)}$  на новом шаге для химических элементов вычисляются по формуле

$$\bar{z}^{(i+1)} = \bar{z}^{(i)} + \Delta\bar{z}^{(i)} \cdot w^{(i)}$$

где  $i$  – номер итерации;  
 $w^{(i)}$  – коэффициент, учитывающий ограничения по значению переменной, таким образом, что компонента  $z^{(i+1)}$  не могла бы быть меньше или равна нулю и не могла быть больше максимального значения  $z_{\max}^{(i)}$ .

Коэффициент  $w^{(i)}$  – в методе Ньютона принят равным 1, а в методе Ньютона-Рафсона, когда исследуемая система плохо сходится – 0,1. Коэффициент  $w^{(i)}$  берется равным 0,1 или 1 при условии, что значение на новом шаге находится в допустимой области.



Для исследования скорости сходимости численных методов Лагранжа, Ньютона-Рафсона и Гаусса при поиске равновесного состава системы, рассмотрим следующие стратегии изменения релаксационного параметра в методе Ньютона-Рафсона:

1. постоянный коэффициент  $w^{(i)}$  от 0,1, 0,2, 0,3 ... 1;
2. при достижении сходимости метода  $\sum \Delta \bar{z}^{(i)} < 0.1$  изменение коэффициента  $w^{(i)}$  по линейной зависимости от 0,1 до 1;
3. для каждой исследуемой величины  $w^{(i)}$  увеличивается на 0,1, если  $\Delta z^{(i)} > \Delta z^{(i+1)}$ , и уменьшается на 0,1 при  $\Delta z^{(i)} < \Delta z^{(i+1)}$  при этом  $w^{(i)}$  не может быть меньше 0,1 и не может быть больше 1;
4. ступенчатое изменение коэффициента  $w^{(i)}$  в зависимости от количества итераций или достижения сходимости метода  $\sum \Delta \bar{z}^{(i)}$ .

В качестве тестовой системы входных данных возьмем 10 веществ со следующими массовыми соотношениями (таблица 1).

Таблица 1 – Исходный состав модельной термодинамической системы

Вещество	C	Mn	Si	P	Fe	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	FeO
Масса, кг	4	0,7	0,7	0,3	94,3	1	0,3	2	5	1,7

Из десяти исходных веществ с использованием разработанной базы данных [1], возможно получить 79 веществ, находящихся в системе в состоянии термодинамического равновесия:

O, O<sub>2</sub>, P(c), P, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>, P<sub>4</sub>, PO, PO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, P<sub>3</sub>O<sub>6</sub>, P<sub>4</sub>O<sub>6</sub>, P<sub>4</sub>O<sub>7</sub>, P<sub>4</sub>O<sub>8</sub>, P<sub>4</sub>O<sub>9</sub>, P<sub>4</sub>O<sub>10</sub>(c), P<sub>4</sub>O<sub>10</sub>, C(c), C, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>, C<sub>5</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>O, C<sub>3</sub>O<sub>2</sub>, CP, Si(c), Si, Si<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>(c), SiO<sub>2</sub>, SiC(c), SiC, SiC<sub>2</sub>, Si<sub>2</sub>C, Si<sub>2</sub>C<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>C, Fe(c), Fe, FeO(c), FeO, FeO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(c), Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>(c), Fe<sub>3</sub>C(c), Fe<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>(c), O<sub>3</sub>, Mn(c), Mn, MnO(c), MnO, MnO<sub>2</sub>(c), MnO<sub>2</sub>, Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(c), Mn<sub>2</sub>O<sub>7</sub>(c), Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>(c), Mn<sub>3</sub>C(c), Mn<sub>7</sub>C<sub>3</sub>(c), Ca(c), Ca, Ca<sub>2</sub>, CaO(c), CaO, CaP<sub>2</sub>O<sub>6</sub>(c), Ca<sub>2</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub>(c), Ca<sub>3</sub>P<sub>2</sub>O<sub>8</sub>(c), CaC<sub>2</sub>(c), CaCO<sub>3</sub>(c), CaSiO<sub>3</sub>(c), Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>(c), Ca<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>(c), SiO, CaSi(c), CaSi<sub>2</sub>(c).

Аналитическое решение нахождения максимума энтропии для таких значений невозможно, т.к. потребуется слишком много времени: 1) с использованием метода Лагранжа [4] переход от 79 уравнений условной оптимизации, к 89 уравнениями безусловной оптимизации; 2) решение системы нелинейных уравнений с 89 неизвестными приближенным методом Ньютона-Рафсона [5, 6]; 3) решение системы линейных уравнений с 89 неизвестными точным методом Гаусса [7, 8]. На рисунке 2 показан пример составления матрицы для метода Ньютона-Рафсона размерностью 25 на 25.

Эталонный ответ при нахождении равновесного состава рассматриваемой системы приведен в таблице 2 для двух термодинамических параметров: температуры 1900 К и давления 0.1 Мпа, полученный с использованием программы расчета термодинамического равновесия Terra [9, 10].

Таблица 2 – Эталонные значения полученного равновесного состава

Вещество	Fe <sub>3</sub> C(c)	Fe(c)	Ca <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> (c)	Mn(c)	P <sub>2</sub>	CaO(c)	CaSi <sub>2</sub> (c)
Состав, %	59,848	69,513	6,998	1,472	0,931	0,649	0,471

Если полученные конечные значения при заданном коэффициенте шага будут отличаться от эталонных, значит система уравнений не сходится к точному решению.

↙	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE				
1																																			
2				O	O2	C(c)	C	C2	C3	C4	C5	CO	CO2	C2O	C3O2	O3	Mn(c)	Mn	MnO(c)	MnO	MnO2(c)	MnO2	MnO23(c)	Mn2O7(c)	Mn3O4(c)	Mn3C(c)	Mn7C3(c)								
3			C	2	0	0	1	1	2	3	4	5	1	1	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3							
4			O	2	1	2	0	0	0	0	0	1	2	1	2	3	0	0	1	1	2	2	3	7	4	0	0								
5			Mn	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	3	7							
6				0	9,303	-26,55	-1,523	65,92	73,76	69,72	90,06	88,5	-38,88	-75,69	3,971	-49,52	1,309	-5,674	11,96	-56,36	-11,01	-72,91	-32,58	-136	-140,1	-196	-17,47	-53,73							
7				Начальные значения																							C	O	Mn						
8				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	l1	l2	l3					
9				0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	1,5	37,7	18,8					
10							1,107										0,742	0,474													1,5	37,7	18,8		
11	Нев			x0	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	l1	l2	l3					
12	0	3,6912	x0	92,32	-0,267	0	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	0	-0,267	0	-0,267	0	-0,267	0	0	0	0	0	0	0	0,083	0				
13	1	3,845	x1	-0,267	96,01	0	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	0	-0,267	0	-0,267	0	-0,267	0	0	0	0	0	0	0	0,167	0				
14	2	-0,002	x2	0	0	-0,046	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,083	0	0					
15	3	5,3928	x3	-0,267	-0,267	0	133,2	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	0	-0,267	0	-0,267	0	-0,267	0	0	0	0	0	0,083	0	0					
16	4	6,1707	x4	-0,267	-0,267	0	-0,267	151,8	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	0	-0,267	0	-0,267	0	-0,267	0	0	0	0	0	0,167	0	0					
17	5	5,9597	x5	-0,267	-0,267	0	-0,267	-0,267	146,8	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	0	-0,267	0	-0,267	0	-0,267	0	0	0	0	0	0,25	0	0					
18	6	7,7795	x6	-0,267	-0,267	0	-0,267	-0,267	-0,267	190,4	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	0	-0,267	0	-0,267	0	-0,267	0	0	0	0	0	0,333	0	0					
19	7	7,7745	x7	-0,267	-0,267	0	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	190,3	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	0	-0,267	0	-0,267	0	-0,267	0	0	0	0	0	0,417	0	0					
20	8	-0,199	x8	-0,267	-0,267	0	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-1,045	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	0	-0,267	0	-0,267	0	-0,267	0	0	0	0	0,083	0,083	0						
21	9	-0,125	x9	-0,267	-0,267	0	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	0,74	-0,267	-0,267	-0,267	0	-0,267	0	-0,267	0	-0,267	0	0	0	0	0,083	0,167	0						
22	10	3,4969	10	-0,267	-0,267	0	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	87,66	-0,267	-0,267	0	-0,267	0	-0,267	0	-0,267	0	0	0	0	0,167	0,083	0						
23	11	2,3056	11	-0,267	-0,267	0	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	59,07	-0,267	-0,267	0	-0,267	0	-0,267	0	0	0	0	0,25	0,167	0						
24	12	9,3084	12	-0,267	-0,267	0	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	227,1	0	-0,267	0	-0,267	0	0	0	0	0	0	0,25	0						
25	13	1,0939	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,083	0				
26	14	2,3376	14	-0,267	-0,267	0	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	59,84	0	-0,267	0	-0,267	0	0	0	0	0	0	0	0	0,083	0				
27	15	0,0118	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,284	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,083	0,083					
28	16	3,5649	16	-0,267	-0,267	0	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	0	-0,267	0	89,29	-0,267	0	0	0	0	0	0	0,083	0,083						
29	17	1,7739	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42,57	0	0	0	0	0	0	0,167	0,083					
30	18	4,9091	18	-0,267	-0,267	0	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	-0,267	0	-0,267	0	-0,267	0	121,6	0	0	0	0	0	0,167	0,083						
31	19	1,2259	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29,42	0	0	0	0	0,25	0,167						
32	20	13,446	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	322,7	0	0	0	0,583	0,167						
33	21	0,9343	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22,42	0	0	0,333	0,25						
34	22	3,3688	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	80,85	0	0,083	0	0,25					
35	23	6,8642	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	381,9	0,25	0	0,583				
36	l1	-1,953	l1	0	0	0,083	0,083	0,167	0,25	0,333	0,417	0,083	0,083	0,167	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,083	0,25	0	0	0					
37	l2	-1,905	l2	0,083	0,167	0	0	0	0	0	0	0,083	0,167	0,083	0,167	0,25	0	0,083	0,083	0,167	0,167	0,25	0,583	0,333	0	0	0	0	0						
38	l3	-0,96	l3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,167	0,167	0,25	0,25	0,583	0	0						

Рисунок 2 – Пример составления матрицы размером 25 на 25 методом Ньютона-Рафсона

Результаты первой стратегии, когда используется один и тот же коэффициент  $w$  для всех 89 неизвестных приведены в таблице 3. Тестирование производилось на операционной 64-битной системе Windows 8.1. Для вычисления использовалось одно ядро процессора Intel Core I5-3450.

Таблица 3 – Влияние коэффициента  $w$  по первой стратегии на сходимость и время выполнения расчета

Значение $w$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Время решения, мс	385	257	255	245	56	77	184	162	95	120
Решение сходится	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да

Как видно из таблицы 3 при увеличении коэффициента  $w$  численный метод сходится на всем интервале менее, чем за 0,4 секунды, самое быстрое время расчета получилось при значении коэффициента  $w = 0,5$ .

Рассмотрим вторую стратегию для исходной системы уравнений, когда на всем интервале применяется постоянное значение коэффициента, равное минимальному шагу 0,1, а при сходимости решения по всем переменным при значении больше 0,1 начинает изменяться по линейному закону (таблица 4).

Таблица 4 – Влияние коэффициента  $w$  по первой стратегии на сходимость и время выполнения расчета

Значение $w$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Время решения, мс	393	261	252	253	64	80	200	161	98	122
Решение сходится	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да

Время выполнения расчетной операции в таблицах 3 – 4 практически совпадает, а разница во времени выполнения расчета при одинаковом значении коэффициента  $w$  находится в пределах погрешности.

Результаты третьей стратегии, когда по каждой из 89 неизвестных прибавляется 0,1, если по этой неизвестной значением невязки стало меньше по сравнению с предыдущим шагом, и уменьшается в противоположном случае. Такая стратегия не сработала, среднее время расчета составило 389 мс. Решение по времени выполнения, такое же как с использованием постоянного коэффициента  $w$  равного 0,1.

Четвертая стратегия с уменьшающимся шагом по мере уменьшения суммы невязок по модулю для всех переменных: 1) если сумма меньше 500, то  $w$  равно 0,5; 2) если сумма меньше 100, то  $w$  равно 0,7; 3) если сумма меньше 10, то  $w$  равно 1. Такая стратегия показала хороший результат, как и первая стратегия при  $w$  равным 0,5 60 мс.

Самыми успешными оказались стратегии: первая и четвертая. Эти стратегии были проверены при решении системы уравнений состоящей из 224 неизвестных, за счет добавления в систему дополнительного вещества – углерода (таблица 5). Таким образом, термодинамическая система представлена элементами: Si–P–O–Mn–H–Fe–Ca–C.

Таблица 5 – Влияние коэффициента  $w$  по первой стратегии на сходимость и время выполнения

Значение $w$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Время решения, мс	9208	5814	4166	3745	3310	2994	1099	779	660	1780
Решение сходится	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да

Из таблицы 5 видно, что при изменении значений  $w$  с 0,1 до 0,9 время сходимости уменьшается.

Для стратегии четыре, среднее время составило 3420 мс, в этой стратегии применялся следующий алгоритм: 1) если количество шагов меньше 10, то  $w$  равно 0,7; 2) иначе, если количество шагов меньше 30, то  $w$  равно 1; 3) иначе если количество шагов меньше 40, то  $w$  равно 0,5. Такая стратегия сработала лучше, а время расчета составило 1100 мс.

Таким образом, при постоянном коэффициенте сходимости  $w$  равным 0,9 время расчета составляет менее 1 секунды.

### Библиографический список

1. Сеченов П.А., Рыбенко И.А. База данных и программа для определения термодинамических свойств индивидуальных веществ // Информатика и системы управления. – 2022. – № 1 (71). – С. 17 – 26. DOI: 10.22250/18142400\_2022\_71\_1\_17
2. Сеченов П.А., Рыбенко И.А. Программа расчета термодинамических свойств химических реакций // Южно-Сибирский научный вестник. – 2022. – № 1 (41). – С. 60 – 64. DOI 10.25699/SSSB.2022.41.1.009
3. Рыбенко И.А., Сеченов П.А. Инструментальная система расчета термодинамических функций индивидуальных веществ, химических реакций и сложной многокомпонентной гетерогенной системы // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2022. – № 3 (41). – С. 18-27.
4. Макаркин В.М., Апайчева Л.А. Метод Лагранжа решения экстремальной задачи // Международный студенческий научный вестник. – 2016. – № 3-3. – С. 337 – 338.
5. Исмаилов Р.Т. Повышение эффективности использования резервов активной части основных производственных фондов в строительстве // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2017. – Т. 44. – № 1. – С. 186-195. <https://doi.org/10.21822/2073-6185-2017-44-1-186-195>
6. Шабалин Г.С., Паздерин А.В., Чусовитин П.В., Банных П.Ю., Тащилин В.А. Анализ статической устойчивости с использованием квадратичной целевой функции и обобщенного метода Ньютона // Материалы международной научно-технической конференции. – Иваново: ИГЭУ. – 2015. – С. 249 – 254. Журтов А.В., Хежев Т.А., Хаджишалапов Г.Н., Карданов А.А., Шогенцуков М.А. Напряженно-деформированное состояние двухслойных армоцементных оболочек в условиях пожара // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2022. – Т. 49. – № 1. – С. 112-121. <https://doi.org/10.21822/2073-6185-2022-49-1-112-121>
7. Соколова М.А. Система линейных уравнений, основные понятия. Метод Гаусса // Аллея науки. – 2018. – Т. 6. – № 6 (22). – С. 297 – 301.
8. Белов Г.В. Термодинамическое моделирование: методы, алгоритмы, программы. – М.: Научный Мир, 2002. – 184 с.
9. Белов Г.В., Трусов Б.Г. Термодинамическое моделирование химически реагирующих систем. – М.: МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2013. – 96 с.

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Фадеев Р.Н.

*Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых  
г. Владимир, Россия, fadeevroman.shua@gmail.com*

**Аннотация.** *Статья посвящена проблеме управления технологическим процессом с применением интеллектуальной системы анализа данных. Рассматриваются задачи, которые необходимо решить для использования адаптивных алгоритмов машинного обучения в управлении технологическими процессами.*

**Ключевые слова:** *технологический процесс, автоматизированные системы управления, интеллектуальная система анализа данных.*

**Abstract.** *The article is devoted to the problem of process control using an intelligent data analysis system. The tasks that need to be solved for the use of adaptive machine learning algorithms in process control are considered.*

**Keywords:** *technological process, automated control systems, intelligent data analysis system.*

В настоящее время цель внедрения автоматизированных систем управления технологическим процессом (АСУ ТП) – возможно более полное исключение человека и влияния «человеческого фактора» на производственные процессы. Новое направление в развитии АСУ ТП – включение элементов, способных обеспечить управление и принятие решений непосредственно применяемой системой с обеспечением контроля диспетчером [5, 6]. Перед разработчиками встала задача интеллектуализации АСУ ТП.

Современные АСУ ТП можно охарактеризовать как многоуровневые человеко-машинные системы управления [4]. Структуру АСУ ТП можно представить в виде трех уровней. Первый уровень образован контрольно-измерительными приборами, приборами автоматики, исполнительными устройствами управления, пультами сигнализации. Второй уровень представлен программируемыми логическими контроллерами (ПЛК). Третий уровень – автоматизированные рабочие места (АРМ), серверы баз данных.

Данные (о протекании технологических процессов с учётом действий диспетчерского персонала, параметров среды, состояний агрегатов и характеристик исходного сырья и т.п.) в процессе автоматизированного или автоматического контроля образуют большой массив, который включает информацию как о текущем состоянии того или иного агрегата, так и о начавшихся критических изменениях в его технических характеристиках и свойствах. Для того чтобы отследить неблагоприятные изменения в работе оборудования используют системы диспетчерского контроля и управления (SCADA). На многих предприятиях в основе таких систем лежит принцип объединения и визуализации данных из различных источников в формате доступном для проведения анализа. Анализ представленной информации остаётся за человеком. Подобный анализ не всегда позволяет учитывать многочисленные косвенные факторы и прогнозировать критическую ситуацию априори, анализ проводится с задержкой относительно режима реального времени. Поэтому актуальными становятся методы анализа данных с использованием экспертных систем, машинного обучения.

Разработчики решений для интеллектуального анализа технологических данных считают, что их внедрение способствует:

- значительному уменьшению времени простоя оборудования;
- более качественному планированию мероприятий по техническому обслуживанию;
- сокращению времени внепланового технического обслуживания;
- полноценному анализу причин отказов оборудования;

- накоплению более точной и полной информации о технологическом процессе;
- увеличению срока службы сложного технологического оборудования.

Небольшое количество решений в области индустриальной аналитики Д. А. Мурзагулов, А. В. Замятин [3] связывают со следующими обстоятельствами:

- нестационарность и быстрое изменение по времени параметров технологических процессов приводят к сложным математическим описаниям;
- данные могут иметь неоднородную структуру (вещественные значения, события, сообщения);
- уникальность каждого объекта управления, которая требует адаптивного подхода для каждого случая;
- изменения тренда технологического сигнала, ремонтные или иные регламентные процедуры могут быть причинами возникновения аномальных ситуаций.

Интеллектуальные системы анализа на основе адаптивных алгоритмов машинного обучения могут осуществлять контроль и оценку состояния сложных динамических объектов управления в условиях реального времени, формировать решения о воздействии на технологический процесс. Процесс адаптации продолжается, и система постоянно обучается, в ходе обработки данных расширяются имеющиеся знания. Объединение интеллектуальной системы с существующими на предприятии SCADA позволяет достигнуть автоматического и непрерывного функционирования управления технологическим процессом.

Использование адаптивных алгоритмов машинного обучения в управлении технологическими процессами требует решения ряда задач:

- *предварительная обработка сигналов.* Сигнал является единицей технологической информации и обычно поступает от различного типа измерительных преобразователей: давления, температуры, расхода и т. п. В сигналах могут присутствовать искажения различного характера (шумы, избыточная информация, пропуски значений и т.д.). До процесса построения модели это следует устранить или снизить степень их влияния [1];

- *классификация технологических сигналов.* Технологические сигналы могут быть разных типов от детерминированных до случайных. Для сигналов первого типа математический аппарат анализа будет отличаться от анализа случайных величин, где необходимо оперировать вероятностными характеристиками. Кроме этого технологические сигналы могут образовывать как отдельный класс, так и в случае более сложных процессов являться комбинацией классов. Классификация технологических сигналов сделает возможным применение своего метода анализа к каждому классу, облегчит в дальнейшем принятие решений;

- *разработка метрик оценки качества для обеспечения контролируемой точности алгоритмов и выбор модели прогнозирования.* Модель прогнозирования оказывает влияние на результат работы алгоритма машинного обучения. Для оценивания пригодности модели необходимо разработать подходящие метрики качества, которые наилучшим образом позволят учесть специфику технологических процессов;

- *анализ совокупности сигналов.* Многие реальные объекты характеризуется совокупностью сигналов. Для решения этой задачи могут быть применены методы поиска взаимных корреляций между независимыми параметрами и установления их степени влияния друг на друга;

- *разработка адаптивного алгоритма распознавания и прогнозирования внештатных ситуаций.* Необходимо создать модели, которые сопоставляют результаты мониторинга текущей ситуации с набором ретроспективных данных, с определённой долей вероятности предсказывают возникновение внештатной ситуации или необходимость внепланового технического обслуживания объекта. Постоянно контролируются отклонения прогнозного и фактического сигналов. Чтобы избежать ложных срабатываний в процессе установления вероятности отказа оборудования и внештатной ситуации, необходи-

мо определить пороговое значение максимально возможного отклонения и длительности отклонения сигналов. Адаптивность подхода состоит в том, что учитывается класса сигнала (определён на предыдущих этапах), когда отдается предпочтение модели для прогнозирования внештатных ситуаций. Возможно использование процедур бустинга и бэггинга – последовательное и параллельное построение комплекса алгоритмов для итеративной оптимизации [2];

– *разработка технологии динамического обучения.* Технологические процессы являются сложными объектами с изменяющимися во времени характеристиками, поэтому при эксплуатации интеллектуальной системы необходимо проводить дополнительное обучение модели. Сезонность, изменение производственного плана или ряд других факторов могут оказывать влияние на условия работы оборудования. Гибкий подход в зависимости от выбранной модели машинного обучения необходим и при решении данной проблемы;

– *программная реализация разработанных алгоритмов.* Интеллектуальная система анализа для оценки и контроля состояния технологических процессов должна отвечать требованиям производительности, совместимости и предоставлять удобный интерфейс пользователя для оперативной поддержки и принятия решений. При создании программного обеспечения возникает необходимость реализации совокупности математических моделей как семейства дополняющих друг друга решений.

#### **Библиографический список**

1. Айфичер Э., Джервис Б. Цифровая обработка сигналов. Практический подход. 2-е издание. М.: Вильямс, 2004. 992 с.
2. Замятин А. В. Интеллектуальный анализ данных. Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2020. 196 с.
3. Мурзагулов Д. А., Замятин А. В. Адаптивные алгоритмы машинного обучения в управлении технологическими процессами // Автоматизация. Современные технологии. 2018. № 8. С. 354–361.
4. Нестеров А. Л. Проектирование АСУ ТП. СПб.: Деан, 2009. 552 с.
5. Самойлова Е. М., Игнатъев А. А. Интеграция искусственного интеллекта в автоматизированные системы управления и проектирования технологических процессов // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2010. № 1. С. 127–132.
6. Фадеев Р. Н., Огурцова Е. Ю. Интеллектуальная система анализа технологических данных // Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2022: сборник трудов V международного научно-технического форума: в 10 т. Т. 6. Рязань: Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина. 2022. С. 139–143.

## ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ТРУБОПРОВОДА

Гатауллина И.М.

ФГБОУ ВО «КГЭУ»

г. Казань, Россия, ttolin@inbox.ru

**Аннотация.** В современных условиях повсеместного развития жилищно-коммунального комплекса необходимо повысить уровень безаварийной работы систем энергоснабжения, наиболее распространенными из которых являются энергопроводы, за счет неразрушающего контроля. Также неразрушающий контроль энергопроводов позволяет оценить остаточный ресурс, спрогнозировать сроки последующего ремонта или замены энергетических коммуникаций. Одним из важных этапов неразрушающего контроля является расчет собственных колебаний трубопроводов под нагрузкой.

**Ключевые слова:** техническая диагностика, неразрушающий контроль, математическое моделирование, колебание трубопровода.

**Abstract.** In the current conditions of the widespread development of the housing and communal complex, it is necessary to increase the level of trouble-free operation of energy delivery systems, the most common of which are energy pipelines, due to non-destructive testing. Also, non-destructive testing of energy pipelines allows you to assess the residual resource, predict the timing of subsequent repair or replacement of energy communications. One of the important Stages of non-destructive testing is the calculation of the intrinsic oscillations of pipelines under load.

**Keywords:** technical diagnostics, non-destructive testing, mathematical modeling, pipeline oscillation.

Применение технической диагностики энергетических трубопроводов позволяет провести с большой степенью достоверности оценку их технического состояния. Известно значительное количество способов контроля, из которых наиболее приемлемым является неразрушающий контроль. Основным преимуществом неразрушающего контроля является физическая целостность объекта исследования, при этом есть возможность оценить степень его годности [1].

Из всего многообразия методов неразрушающего контроля наиболее приемлемым является метод колебаний. При динамической нагрузке трубопровода в результате взаимодействия потока теплоносителя с неподвижными стенками трубопровода образуются механические колебания [2]. Параметры этих колебаний зависят не только от свойств трубопровода, но и его состояния. Так, имеется возможность оценить степень чистоты внутренней поверхности энергетического трубопровода, а также наличие внутренних механических дефектов [3].

С целью определения информативного частотного диапазона проводится построение математической модели процесса колебания трубопровода. Для расчета частот собственных колебаний применяется программный комплекс ANSYS. Это наиболее удобная программная среда с универсальной программой конечно-элементного анализа [4]. С помощью этого программного комплекса возможно решение линейных и нелинейных, стационарных и нестационарных пространственных задач деформации твердого тела с учетом теплопередачи, теплообмена и виброакустики [5].

С целью оценки влияния дефектов различного рода произведено математическое моделирование упругих колебаний стенок трубопровода. Модальный анализ проводился как на бездефектном трубопроводе, так и трубопроводе с различными механическими дефектами различных размеров.

Математическое моделирование проводилось на трубопроводе со следующими параметрами: диаметр трубопровода 72 мм, толщина стенок 4 мм. Результаты модального анализа собственных колебаний показаны в таблице 1. В этом случае моделирование дефекта не производилось, трубопровод считался условно исправным. Проведен расчет первых 50 собственных мод колебаний, в таблице показан наиболее информативный диапазон от 2867 Гц до 3148 Гц.



Таблица 1 – Результаты расчета частоты колебаний бездефектного трубопровода

Моды колебания	Частота, Гц.
19	2867,8
20	3037,5
21	3053,9
22	3083,
23	3105,
24	3148,5

На рисунке показана наиболее характерная мода колебания на частоте 3053 Гц (рисунок 1).

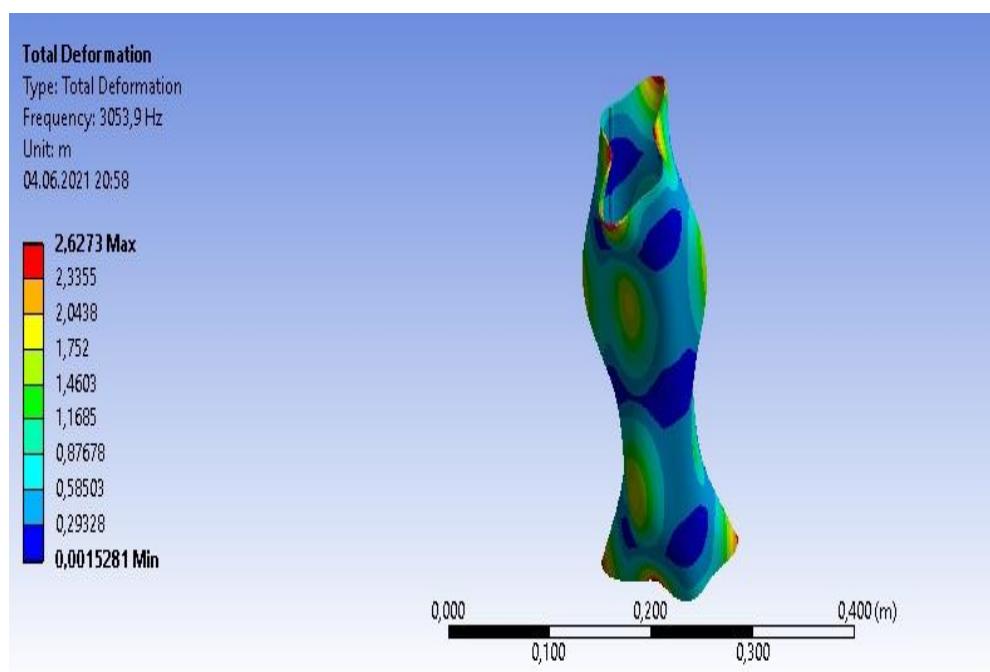


Рисунок 1 – Визуализация колебания 21 моды на частоте 3053 Гц.

Таким же образом проведен модальный анализ собственных колебаний исследуемого трубопровода диаметром 72 мм и толщиной стенки 4 мм, но с введенным дефектом. Дефект моделировался в виде продольной трещины длиной 5 мм, результаты показаны в таблице 2. Здесь также проведен расчет первых 50 собственных мод колебаний, в таблице показан наиболее информативный диапазон от 1605 Гц до 2798 Гц.

Таблица 2 – Результаты расчета частоты колебаний трубопровода с дефектом

Моды колебания	Частота, Гц.
18	1605,3
19	2225,
20	2230,
21	2693,4
22	2707,3
23	2709,4
24	2723,3
25	2798,3

На рисунке показана наиболее характерная мода колебания на частоте 2230 Гц (рисунок 2).

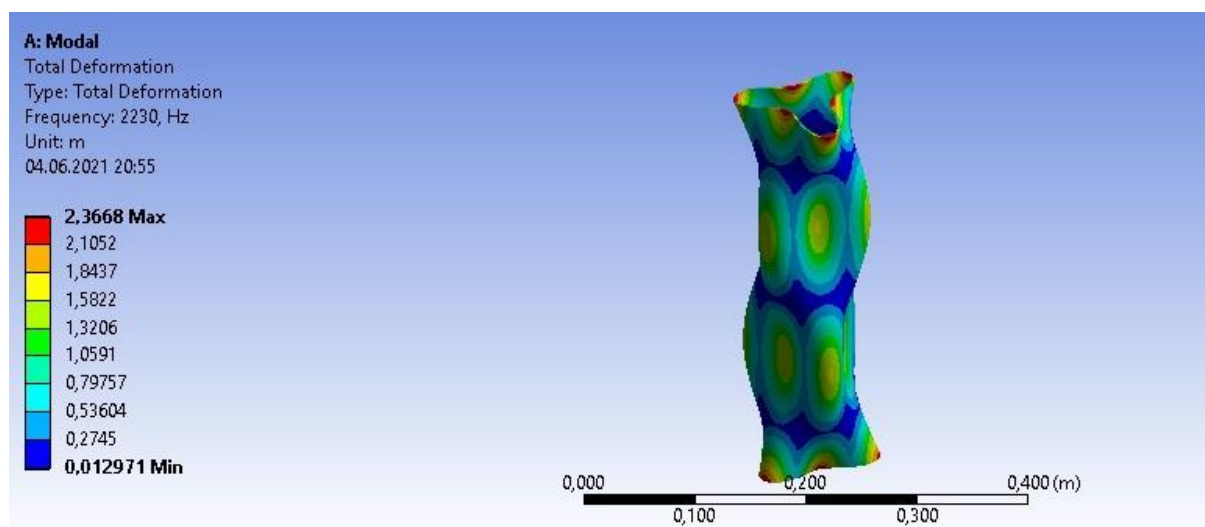


Рисунок 2 – Визуализация колебания 20 моды на частоте 2230 Гц.

Таким образом, для выбранного трубопровода рассчитана наиболее информативная частота колебаний, на основе которой возможно построение диагностической системы виброакустическим методом [6]. Сравнение частот колебаний дефектного и бездефектного трубопроводов позволяет сделать вывод, что основные моды колебания стенок исследуемого трубопровода при наличии дефекта смещаются в область более низких частот. При этом замечено, что снижение частотного диапазона напрямую связано с размером дефекта.

Для подтверждения расчетных данных проведены натурные измерения. Вибрационные колебания стенок энергетических трубопроводов регистрируются с помощью вибродатчика, установленного непосредственно на объекте контроля. Возможна установка нескольких датчиков на определенном расстоянии, обеспечивающем нормальное прохождение вибрационного сигнала по стенкам трубопровода. Здесь все необходимые параметры извлекается из зарегистрированного упругого колебания оболочки трубопровода, которое распространяется во всей длине объекта во время вибрационного воздействия. Таким образом обеспечивается достаточно протяженная область диагностики [7].

Регистрация параметров колебаний производится с помощью различных вибрационных датчиков, записанные сигналы обрабатываются различными методами.

Если полезный сигнал, получаемый с датчика, имеет слишком низкую амплитуду, необходимо его усилить. Для этого необходимо использовать различные усилители, такие как дифференциальные, основным преимуществом которого является в компенсации помех, в том числе синфазных. В настоящее время широко распространено применение вибрационных регистраторов со встроенным предусилителем, источником питания которого является сигнальный провод, что значительно упрощает работу с таким датчиком.

Что касается способов обработки полезного сигнала, то наиболее распространенным и хорошо изученным является спектральный анализ параметров вибрационных колебаний. Здесь под спектром вибрационных колебаний подразумевается временная совокупность зависимостей изменения частоты и амплитуды колебания в порядке возрастания собственных частот исследуемого колебания [8].

Проведенные экспериментальные исследования полностью подтвердили результаты, полученные при построении математической модели. В итоге предлагаемые результаты исследований могут лечь в основу реализации способа неразрушающего контроля [9].

### Библиографический список

1. Разработка методики определения размера коррозионного поражения оболочек акустическим методом / Ш. Г. Зиганшин, Ю. В. Ваньков, А. Е. Кондратьев, С. П. Кузнецов // Энергосбережение и водоподготовка. – 2009. – № 1(57). – С. 36-38. – EDN JWBVZB.
2. Improving the methodology for assessing the technical condition of equipment during the transportation of energy carrier in energy systems and complexes / S. O. Gaponenko, R. Z. Shakurova, A. E. Kondratiev, R. Dimova // E3S Web of Conferences : 2019 International Scientific and Technical Conference Smart Energy Systems, SES 2019, Kazan, 18–20 сентября 2019 года. – Kazan: EDP Sciences, 2019. – P. 01021. – DOI 10.1051/e3sconf/201912401021. – EDN UXIYTB.
3. Vankov Yu V and Kondrat'ev A E, 2004 Pribory i Sistemy Upravleniya (2) 45-53
4. Загретдинов, А. Р. Аппаратно-программное обеспечение ударно-акустического контроля композиционных конструкций / А. Р. Загретдинов, А. Е. Кондратьев, Ш. Г. Зиганшин // Инженерный вестник Дона. – 2014. – № 4-1(31). – С. 27. – EDN TPMSOV.
5. Оценка технического состояния подшипников качения виброакустическим методом / М. В. Акутин, Ю. В. Ваньков, А. Е. Кондратьев, Ю. Я. Петрушенко // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2009. – № 2. – С. 55-57. – EDN KPZDLZ.
6. Установка для калибровки пьезоэлектрических датчиков / С. О. Гапоненко, А. Е. Кондратьев, Е. Е. Костылева, А. Р. Загретдинов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2016. – № 7-8. – С. 79-86. – EDN XHXWOP.
7. Шакурова, Р. З. Методика проведения оперативного диагностирования трубопроводов энергетических систем и комплексов / Р. З. Шакурова, С. О. Гапоненко, А. Е. Кондратьев // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2020. – Т. 22. – № 6. – С. 188-201. – DOI 10.30724/1998-9903-2020-22-6-188-201. – EDN QRCFCH.
8. Загретдинов, А. Р. Методика расчета информативных гармоник виброакустических сигналов в применении к контролю многослойных композиционных конструкций / А. Р. Загретдинов, А. Е. Кондратьев, С. О. Гапоненко // Инженерный вестник Дона. – 2014. – № 4-1(31). – С. 28. – EDN TPMSPF.
9. Загретдинов, А. Р. Разработка прибора и методики ударно-акустического контроля многослойных композиционных конструкций / А. Р. Загретдинов, А. Е. Кондратьев, Ю. В. Ваньков // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2013. – № 9-10. – С. 97-104. – EDN RUHUDR.

## СОВРЕМЕННЫЙ ОПЫТ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ В СИСТЕМЕ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ

Жилина Н.М., Власенко А.Е., Климантова И.П., Захарова Е.В., Якушева О.Н.

*Новокузнецкий государственный институт усовершенствования врачей – филиал  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
дополнительного профессионального образования «Российская медицинская академия  
непрерывного профессионального образования» Министерства здравоохранения РФ  
г. Новокузнецк, Россия, zhilina.ngiuv@yandex.ru*

**Аннотация.** В текущем году преподаватели кафедры медицинской кибернетики и информатики НГИУВ-филиала РМАНПО приобрели опыт как преподавания на циклах дистанционного обучения (ДО), так и обучения на дистанционном цикле повышения квалификации по педагогике и психологии и имеют возможность сравнить циклы ДО «изнутри»: выявить проблемы и оценить преимущества дистанционного обучения. Сложность циклов, где мы преподавали, в том, что время проведения нескольких циклов (январь-февраль) совпало с пиком коронавирусной заболеваемости в стране и многим слушателям - врачам пришлось совмещать обучение с работой в ковидариях.

**Ключевые слова:** дистанционное обучение, циклы дополнительного профессионального образования, портал непрерывного медицинского и фармацевтического образования, проблемы тестирования, преимущества дистанционного обучения.

**Abstract.** This year, teachers of the Department of Medical Cybernetics and Computer Science of the NSIFTPh – Branch Campus of the FSBEI FPE RMACPE MOH Russia have gained experience in both teaching on distance learning cycles (UP) and training on a distance cycle of advanced training in pedagogy and psychology and have the opportunity to compare the cycles of UP «from the inside»: to identify problems and evaluate the benefits of distance learning. The complexity of the cycles where we taught is that the time of several cycles (January-February) coincided with the peak of coronavirus morbidity in the country and many medical students had to combine training with work in covidariums.

**Keywords:** distance learning, cycles of additional professional education, portal of continuing medical and pharmaceutical education, testing problems, advantages of distance learning.

В настоящей статье мы продолжим разговор о различных формах современного дистанционного образования и поделимся личным опытом проведения дистанционных циклов и обучения на них. Ранее были рассмотрены разработка и функционирование системы интерактивных образовательных модулей (ИОМ).

На Портале непрерывного медицинского и фармацевтического образования (НМФО) Минздрава России [1] для медицинских работников с высшим и средним образованием есть возможность подать заявку на обучение на любой понравившийся цикл первичной последипломной подготовки (ПП) или повышения квалификации (ПК). Медицинские специалисты могут самостоятельно зарегистрироваться на Портале в личном кабинете и выбрать цикл для обучения [1]. При этом обучение на циклах Портала дает необходимое количество баллов для прохождения первичной (циклы ПП) или периодической (циклы ПК) аккредитации специалиста, в зависимости от личных профессиональных потребностей. Обучение может быть бюджетным или платным. Конечно, в первую очередь, очень активно подаются заявки на бюджетное (бесплатное для слушателя) обучение. Для преподавателей бюджетные циклы тоже важны для выполнения учебного плана кафедры.

Освоение материала цикла – достаточно важный этап для последующей аккредитации медицинского специалиста.

Для того, чтобы цикл отобразился в перечне Портала, преподавателям необходимо разработать учебные программы дополнительного профессионального образования (ДПО) по требованиям профессиональных медицинских стандартов и федеральных государственных образовательных стандартов, получить две рецензии на них, утвердить программы на учебно-методической комиссии своей организации и отправить на рецензию

экспертам Портала НМФО. После успешного прохождения всех этапов утвержденная программа может быть выложена на Портал с объявлением о времени и месте проведения цикла ПП или ПК.

Если заявка слушателя на цикл принята, он присылает или приносит в обучающую организацию необходимый комплект документов для зачисления на цикл. При обучении по внебюджету кроме пакета документов необходимо заключение договора на обучение.

На кафедре медицинской кибернетики и информатики Новокузнецкого государственного института усовершенствования врачей – филиала федерального государственного бюджетного образовательного учреждения дополнительного профессионального образования «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Министерства здравоохранения Российской Федерации преподавателями разработан ряд учебных программ ДПО по методам обработки информации, повышению эффективности управления, организации здравоохранения, повышению качества медицинской помощи, медицинской статистике объемом от 72 до 504 учебных часов. Материалы разработаны в соответствии с профессиональными медицинскими стандартами [2] и законом «Об основах охраны здоровья граждан» [3].

Трудовые функции практически всех медицинских специальностей (организация здравоохранения, анестезиология-реаниматология, гастроэнтерология, дерматовенерология, детская хирургия, инфекционные болезни, кардиология, лечебное дело, неврология, нейрохирургия, оториноларингология, офтальмология, педиатрия, пульмонология, сердечно-сосудистая хирургия, скорая медицинская помощь, терапия, травматология и ортопедия, ультразвуковая диагностика, урология, фармация, фтизиатрия, хирургия, челюстно-лицевая хирургия, эндокринология и др.) включают в себя необходимость в знаниях и умениях проведения анализа медико-статистических показателей, организации деятельности медицинского персонала, проведения анализа по заболеваемости, инвалидизации, смертности в соответствии с профессиональными стандартами указанных специальностей. Для решения этих задач были созданы программы обучения в системе ДПО для различных медицинских специальностей, в которых использован материал учебных пособий и публикаций авторов-разработчиков [2-5].

Преподаватели выбирают различные формы проведения дистанционных циклов: с использованием стандартных платформ ДО, системы дистанционного обучения института, электронной почты [6-10]. В первых формах учебно-методические материалы, тесты и ситуационные задачи размещаются на платформах ДО с получением к ним доступа слушателей, с теоретическим обучением и последовательным выполнением практических заданий.

При использовании электронной почты, в ней создается учебная группа. Все материалы, в том числе презентации занятий, ссылки на видео-лекции, учебные пособия, тестовые вопросы и ситуационные задачи, структурируются по модулям и учебным неделям и отправляются слушателям. В дальнейшем общие вопросы проведения цикла решаются в групповой переписке. Результаты тестирования и решения задач каждый слушатель присылает преподавателю, который оценивает результаты и проводит со слушателем индивидуальную работу над ошибками. В этом случае, конечно, значительно возрастает объем переписки для преподавателя, но слушателям очень нравится индивидуальный подход. Они не стесняются задавать вопросы, уточняют проблемные моменты, благодарят за доступное изложение материала и личное общение. Слушатели могут использовать для занятий удобное для них время, что немаловажно, поскольку, как правило, процесс дополнительного профессионального обучения проходит без отрыва от их основной медицинской деятельности или с частичным отрывом. Благодаря такой технологии цикл по методам обработки информации в медицинских исследованиях, на котором были слушатели со всей страны: из Москвы, Воронежа, Удмуртии, Ростовской области, Краснодарского края, Чеченской республики, Дагестана, Башкирии, Новосибирска, Кузбасса, Хака-

сии, Иркутской области - успешно состоялся. То же можно сказать и о других циклах, хотя на них использовались другие технологии дистанционного обучения.

При обучении на цикле педагогики и психологии Российской медицинской академии непрерывного профессионального образования (РМАНПО) наши преподаватели приобрели личный опыт обучения в системе ДО.

Выявлен ряд проблем дистанционного обучения:

1. лекции, объемом выше 50 слайдов, тяжелы для восприятия. При самостоятельном обучении 70 и более слайдов - это даже не два учебных часа, а больше. Лучше разбить материал на две лекции;
2. много проблем в тестовой системе цикла:
  - 2.1. в системе ДО тесты «слепые», не видно, в чем слушатель ошибся. Даже в системе дистанционного обучения можно показать ошибку;
  - 2.2. многие тесты - совсем недружественные, при том, что эргономичность систем – важный момент для пользователей. Например, в компьютерных классах кафедры медицинской кибернетики и информатики в тестовых системах появляется смайлик: грустный, если ошибся и улыбающийся, если ответ верный;
  - 2.3. тесты к некоторым темам не корректны. В одном тестовом задании из 20 вопросов в трех были неверные возможные ответы или некорректный вопрос. То есть правильный ответ изначально нельзя было дать на 15% вопросов. При этом слушатель получает отрицательную оценку, если у него менее 70% верных ответов. Возможно, это не ошибка преподавателя, а некорректный ввод в систему ДО, но слушателям-то от этого не легче... Преподаватель обязан проверить корректность своих заданий;
  - 2.4. при подготовке ИОМов есть требование, чтобы вопросы тестов соответствовали слайдам. Это тоже далеко не всегда выполнялось;
  - 2.5. тестовые вопросы должны оконтурить основное содержание темы. И с этим часто были проблемы.

В учебных материалах совершенно справедливо подчеркивалось, что преподаватель должен вдохновлять ученика на процесс обучения. Это можно было сказать лишь о некоторых заданиях цикла. А в целом, тестовая система совсем не вдохновляла. Хотя лекции, в большинстве своем, были интересными и познавательными. Куратор цикла ответила на письмо о проблемах в тестовой системе, полностью согласилась с ними, уверила, что все преподаватели работают над совершенствованием лекционного и тестового материала.

Разговор о проблемах дистанционного обучения мы продолжаем не для того, чтобы просто покритиковать существующую систему. Хочется, чтобы циклы ДО были лучше, интереснее и полезнее для слушателей. Было бы поучительно ознакомиться и с опытом других учебных заведений.

К преимуществам дистанционного обучения следует отнести:

- возможность заниматься в удобное для слушателя время;
- отсутствие затрат на дорогу к месту обучения;
- возможность личного общения с преподавателями;
- приобретение навыков групповой коммуникации при участии в вебинарах.

В целом, считаем, что в системе ДПО следует разумно сочетать все формы, отбирая для занятий лучшее как из очного, так и дистанционного обучения.

### **Библиографический список**

1. Портал непрерывного медицинского и фармацевтического образования Минздрава России <https://edu.rosminzdrav.ru/spo0/spravochnie-materiali/dlja-specialistov-zdravookhraneniya/spravochnye-materialy-dlja-specialistov/rabota-s-obrazovatelnyimi-ehlementami-na-portale-nepreryvnogo-medicinskogo-i-farmaceuticheskogo-obrazovaniya>

- minzdrava-rossii/ Работа с образовательными элементами - Дата обращения 19.09.2022.
2. Портал Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования <http://fgosvo.ru/docs/69/0/2/2> - Профессиональные стандарты. Дата обращения 1.10.2022
  3. Справочная правовая система «Консультант Плюс» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.consultant.ru> Федеральный закон «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации» от 21.11.2011 N 323-ФЗ (последняя редакция) Дата обращения 10.10.2022
  4. Жилина Н.М. Методы обработки информации в медицинских исследованиях : учебное пособие / Наталья Михайловна Жилина. – Новокузнецк : НГИУВ – филиал ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России, 2019. – 115 с.
  5. Жилина Н.М., Чеченин Г.И., Власенко А.Е., Сизикова И.Л., Климантова И.П., Захарова Е.В., Якушева О.Н. Интерактивные образовательные модули для портала непрерывного медицинского образования /Труды XIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Автоматизированные системы в образовании, науке и производстве» AS-2021/ Сиб.гос. индустр. ун-т ; под общ. редакцией С.М. Кулакова, Л.П. Мышляева. - Новокузнецк, 2-3 декабря, 2021. – С.260-263. ISBN 978-5-7806-0583-6  
<https://library.sibsiu.ru/LibrPublicationsSectionsPublicationsFiles.asp?lngSection=70&lngPublication=367> Дата обращения 24.10.2022
  6. Шестак Н.В. Медицинская педагогика: Монография. – М.: Изд-во СГУ, 2019.
  7. Шестак Н.В. Сущность цифровой педагогики: цифровизация учебного процесса в высшей школе. // Педагогика профессионального медицинского образования. №2, 2020
  8. Смирнова И.Э. Особенности учебного процесса с применением дистанционных средств и технологий / Актуальные проблемы педагогики и психологии: вызовы XXI века: сборник научных трудов / Под ред. В.А. Шабуниной – М.: Изд-во РГСУ. 2017, С. 51-55.
  9. Аванесов В.С. Композиция тестовых заданий. Учебная книга. 3 изд. Доп. – М.: Центр тестирования. -2008. -240 с.
  10. Мещерякова М.А., Максимов С.Л. Педагогическое тестирование: компетентностный подход, возможности и ошибки. – М.: Инфекционные болезни. 2017, С. 26-31.

УДК 004

## ПРОДВИНУТЫЕ АЛГОРИТМЫ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Байдалин А.Д.

*ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»  
г. Новокузнецк, Россия, alexander.baydalin@gmail.com*

**Аннотация.** *Машинное обучение – это наука о разработке алгоритмов и статистических моделей, которые компьютерные системы используют для выполнения задач без явных инструкций, полагаясь вместо этого на шаблоны и логические выводы. Компьютерные системы используют алгоритмы машинного обучения для обработки больших объемов статистических данных и выявления шаблонов данных. Таким образом, системы могут более точно прогнозировать результаты на основе заданного набора входных данных.*

**Ключевые слова:** *нейронные сети, машинное обучение, большие данные, регрессия, классификация, ранжирование, прогнозирование, кластеризация, оптимизация.*

***Abstract.** Machine learning is the science of developing algorithms and statistical models that computer systems use to perform tasks without explicit instructions, relying instead on patterns and inferences. Computer systems use machine learning algorithms to process large amounts of statistical data and identify data patterns. In this way, systems can more accurately predict outcomes based on a given set of inputs.*

***Keywords:** neural networks, machine learning, big data, regression, classification, ranking, forecasting, clustering, optimization.*

Машинное обучение (Machine Learning) – обширный подраздел искусственного интеллекта, который изучает методы построения алгоритмов, способных обучаться. В современном мире различают два типа обучения. Первым типом является обучение по прецедентам или индуктивное обучение, которое основано на выявлении общих закономерностей по частным эмпирическим данным. Вторым типом является, дедуктивное обучение. Оно предполагает формализацию знаний экспертов и их перенос в компьютер в виде базы знаний. Дедуктивное обучение принято относить к области экспертных систем, поэтому термины машинное обучение и обучение по прецедентам можно считать синонимами [1].

Машинное обучение находится на стыке математической статистики, методов оптимизации и классических математических дисциплин, но имеет также и собственную специфику, связанную с проблемами вычислительной эффективности и переобучения. Многие методы индуктивного обучения разрабатывались как альтернатива классическим статистическим подходам. Многие методы тесно связаны с извлечением информации и интеллектуальным анализом данных (Data Mining).

Алгоритмы машинного обучения можно описать как обучение некоторой функции  $f$ , которая наилучшим образом соотносит входные переменные  $X$  и выходную переменную  $Y$ :  $Y = f(X)$ .

Заранее неизвестно, что из себя представляет функция  $f$ . Ведь если эта информация была в распоряжении, то специалисты использовали бы её напрямую, а не пытались её синтезировать и настроить (обучить) с помощью различных алгоритмов [2].

Наиболее распространённой задачей в машинном обучении является предсказание значений  $Y$  для новых значений  $X$ . Это называется прогностическим моделированием, целью которого является как можно более точное предсказание поведения объекта. Рассмотрим несколько возможных вариантов создания прогнозирующей модели.

Random forest (с англ. – «случайный лес») – алгоритм машинного обучения, предложенный Лео Брейманом и Адель Катлер, заключающийся в использовании комитета (ансамбля) решающих деревьев. Алгоритм сочетает в себе две основные идеи: метод бэггинга Бреймана и метод случайных подпространств, предложенный Тин Кам Хо. Алгоритм применяется для задач классификации, регрессии и кластеризации. Основная идея заключается в использовании большого ансамбля решающих деревьев, каждое из которых само по себе даёт очень невысокое качество классификации, но за счёт их большого количества результат получается хорошим.

Дерево строится до полного исчерпания подвыборки и не подвергается процедуре прунинга (англ. pruning[en] – отсечение ветвей) (в отличие от решающих деревьев, построенных по таким алгоритмам, как CART или C4.5) [3].

Классификация объектов проводится путём голосования: каждое дерево комитета относит классифицируемый объект к одному из классов, и побеждает класс, за который проголосовало наибольшее число деревьев.

По сути, Random Forest является композицией (ансамблем) множества решающих деревьев, что позволяет снизить проблему переобучения и повысить точность в сравнении с одним деревом. Прогноз получается в результате агрегирования ответов множества деревьев. Тренировка деревьев происходит независимо друг от друга (на разных подмножествах), что не просто решает проблему построения одинаковых деревьев на одном и том же наборе данных, но и делает этот алгоритм весьма удобным для применения в си-



стемах распределённых вычислений. Вообще, идея бэггинга, предложенная Лео Брейманом, хорошо подходит для распределения вычислений.

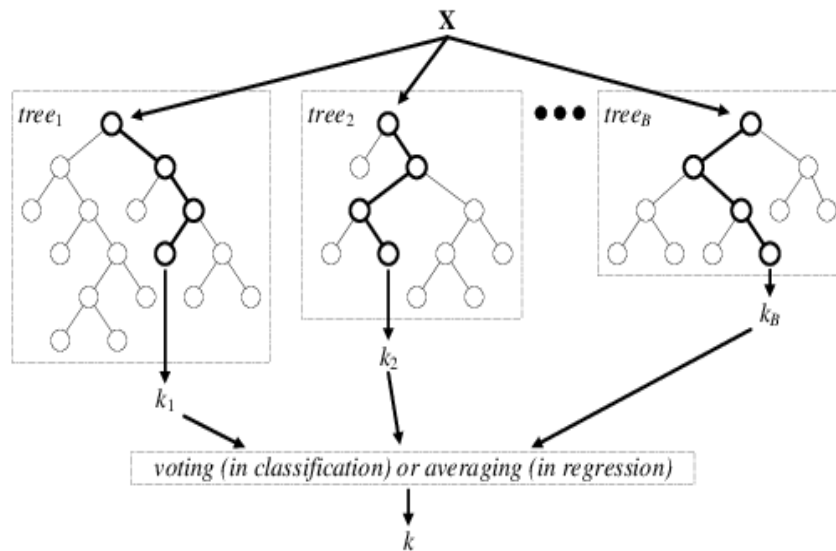


Рисунок 1 – Случайный лес

Бустинг – это техника построения ансамблей, в которой предсказатели построены не независимо, а последовательно.

Это техника использует идею о том, что следующая модель будет учиться на ошибках предыдущей. Они имеют неравную вероятность появления в последующих моделях, и чаще появятся те, что дают наибольшую ошибку. Предсказатели могут быть выбраны из широкого ассортимента моделей, например, деревья решений, регрессия, классификаторы и т.д. Из-за того, что предсказатели обучаются на ошибках, совершенных предыдущими, требуется меньше времени для того, чтобы добраться до реального ответа. Необходимо выбирать критерий остановки с осторожностью, иначе это может привести к переобучению. Градиентный бустинг – это пример бустинга [4].

Градиентный бустинг – это техника машинного обучения для задач классификации и регрессии, которая строит модель предсказания в форме ансамбля слабых предсказывающих моделей, обычно деревьев решений. На рисунке 2 можно увидеть работу градиентного бустинга.

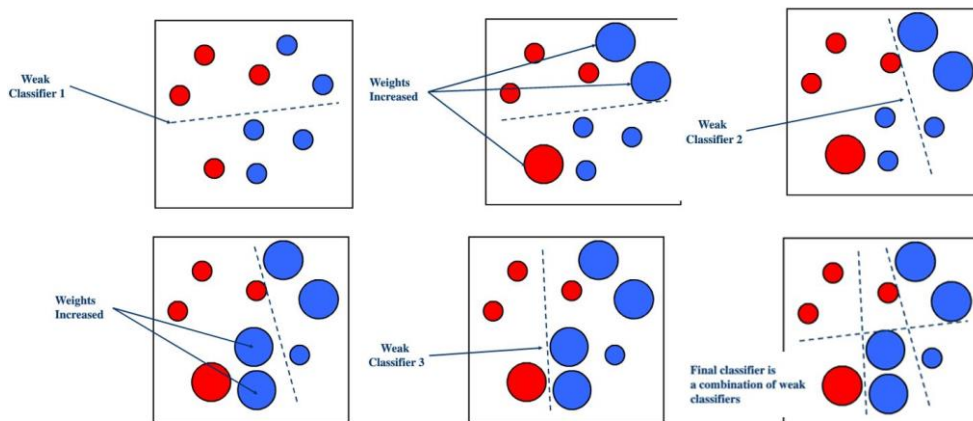


Рисунок 2 – Градиентный бустинг

Целью любого алгоритма обучения с учителем является определение функции потерь и её минимизация. Пусть, например, в качестве функции потерь будет среднеквадратичная ошибка (MSE):  $loss = MSE = \sum (y_i - y_i^p)^2$ .

Необходимо, чтобы предсказания строились таким образом, чтобы MSE была минимальна. Используя градиентный спуск и обновляя предсказания, основанные на скорости обучения (learning rate), определяются значения, на которых MSE минимальна.

Нейронная сеть – это последовательность нейронов, соединенных между собой синапсами. Структура нейронной сети пришла в мир программирования из биологии. Благодаря такой структуре, машина обретает способность анализировать и даже запоминать различную информацию. Нейронные сети также способны не только анализировать входящую информацию, но и воспроизводить ее из своей памяти. Пример работы нейронной сети приведен на рисунке 3.

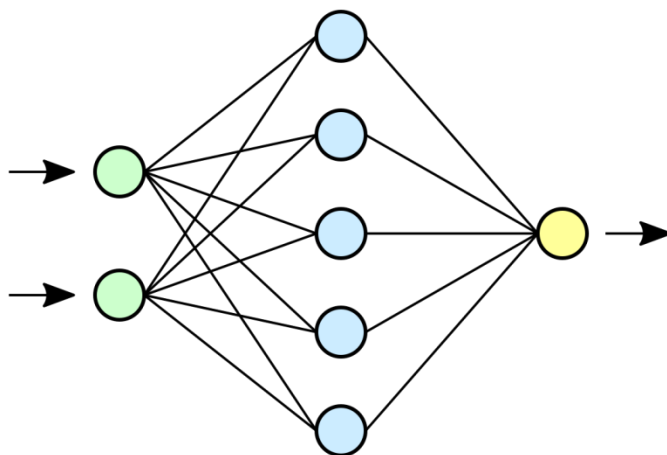


Рисунок 3 – Схема работы нейронной сети

Нейронные сети используются для решения сложных задач, которые требуют аналитических вычислений подобных тем, что делает человеческий мозг. Самыми распространенными способами применения нейронных сетей являются: классификация, предсказание и распознавание.

Рассмотрим составляющие нейронных сетей и их параметры [5].

Нейрон – это вычислительная единица, которая получает информацию, производит над ней простые вычисления и передает ее дальше. Они делятся на три основных типа: входной (синий), скрытый (красный) и выходной (зеленый). Также есть нейрон смещения и контекстный нейрон. В том случае, когда нейросеть состоит из большого количества нейронов, вводят термин слоя. Соответственно, есть входной слой, который получает информацию,  $n$  скрытых слоев (обычно их не больше 3), которые ее обрабатывают и выходной слой, который выводит результат. У каждого из нейронов есть 2 основных параметра: входные данные (input data) и выходные данные (output data). В случае входного нейрона:  $input=output$ . В остальных, в поле input попадает суммарная информация всех нейронов с предыдущего слоя, после чего, она нормализуется, с помощью функции активации и попадает в поле output [6].

Синапс – это связь между двумя нейронами. У синапсов есть 1 параметр – вес. Благодаря ему, входная информация изменяется, когда передается от одного нейрона к другому. Допустим, есть 3 нейрона, которые передают информацию следующему. Тогда у нас есть 3 веса, соответствующие каждому из этих нейронов. У того нейрона, у которого вес будет больше, та информация и будет доминирующей в следующем нейроне (пример – смешение цветов). На самом деле, совокупность весов нейронной сети или матрица

весов – это своеобразный мозг всей системы. Именно благодаря этим весам, входная информация обрабатывается и превращается в результат.

### Библиографический список

1. Григорьев, А. А. Методы и алгоритмы обработки данных: Учебное пособие / А. А. Григорьев. – М. : Инфра-М, 2018. – 384 с.
2. Большаков, А. Методы обработки многомерных данных и временных рядов / А. Большаков. – М. : ГЛТ, 2007. – 522 с.
3. Уикем, Х. Язык R в задачах науки о данных: импорт, подготовка, обработка, визуализация и моделирование данных / Х. Уикем. – М.: Диалектика, 2018. – 592 с.
4. Волкова, П. А. Статистическая обработка данных в учебно-исследовательских работах / П. А. Волкова, А. Б. Шипунов. – М.: Форум, 2012. – 96 с.
5. Хайкин, С. Нейронные сети: полный курс / С. Хайкин. – М.: Диалектика, 2019. – 1104 с.
6. Редько, В. Г. Эволюция, нейронные сети, интеллект: Модели и концепции эволюционной кибернетики / В. Г. Редько. – М.: Ленанд, 2019. – 224 с.

УДК 51-74

## О МОДЕЛИРОВАНИИ ЛАВИНООБРАЗНЫХ ПРОЦЕССОВ

Ликсонова Д.И., Медведев А.В.,

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»  
г. Красноярск, Россия, LiksonovaDI@yandex.ru

**Аннотация.** В настоящем докладе рассматривается многомерный процесс, на выходе которого формируются значительные скачкообразные изменения (лавины) при плавном изменении внешних условий. Причем компоненты выхода у такого процесса зависимы между собой неизвестными для исследователя зависимостями. В этом случае моделирование такого процесса усложняется, а использование классических методов идентификации не приводит к желаемому успеху. Поэтому на пути рассмотрения и изучения данной задачи будут использованы методы непараметрической статистики.

**Ключевые слова:** многомерный процесс, лавинообразный процесс, идентификация, математическое моделирование, непараметрический алгоритм.

**Abstract.** This report considers a multidimensional process, at the output of which significant intermittent changes (avalanches) are formed with a smooth change in external conditions. Moreover, the output components of such a process are dependent on each other by dependencies unknown to the researcher. In this case, the modeling of such a process becomes more complicated, and the use of classical identification methods does not lead to the desired success. Therefore, on the way of considering and studying this problem, methods of nonparametric statistics will be used.

**Keywords:** multidimensional process, avalanche process, identification, mathematical modeling, nonparametric algorithm.

В настоящее время представляют собой интерес многомерные процессы, изменяющиеся скачкообразно при плавном воздействии извне. Такие многомерные процессы будем называть лавинообразными. Лавинообразные процессы представляют собой отдельный раздел математики, который называется «Теория катастроф». Предшественником теории катастроф следует считать теорию нелинейных систем, которую развивали еще А.М. Ляпунов и Анри Пуанкаре [1]. В последующем они были обобщены Рене Томом и получили название теории катастроф [2, 3]. В природе подобные процессы давно уже известны и в большей или меньшей степени изучаются (цунами, вулканы, сели и др.). Конечно, для этих процессов характерно увеличение размерности, которая в действительности имеет место. Лавинообразные процессы характерны для многомерных систем и основой для них является наличие нелинейности. Таким образом, без сомнения можно

подчеркивать, что при наличии многомерных систем возможно и возникновение лавин или катастроф [4].

Представляет интерес рассмотрение многомерной системы, представленной на рисунке 1, на выходе которой будет наблюдаться лавинообразный процесс при плавном изменении компонент входных переменных [4].

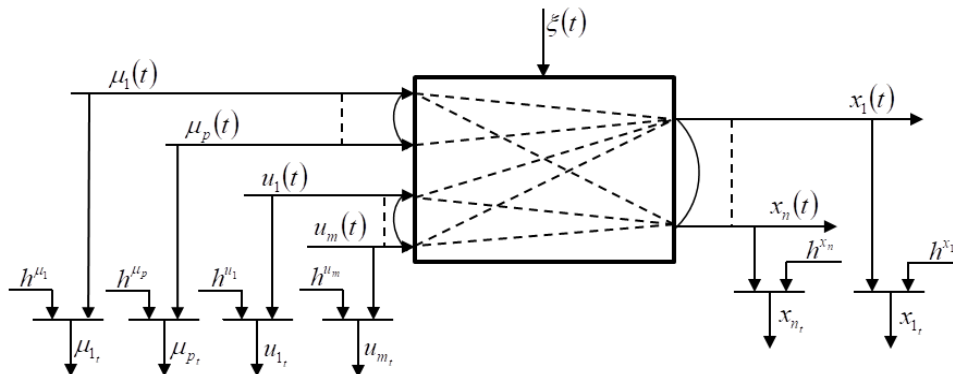


Рисунок 1 – Многомерный процесс

На рисунке 1 приняты следующие обозначения:  $u(t) = (u_1(t), u_2(t), \dots, u_k(t), \dots, u_m(t))$ ,  $k = \overline{1, m}$  –  $m$ -мерный вектор входных управляемых и контролируемых переменных;  $\mu(t) = (\mu_1(t), \mu_2(t), \dots, \mu_v(t), \dots, \mu_p(t))$ ,  $v = \overline{1, p}$  –  $p$ -мерный вектор входных неуправляемых, но контролируемых переменных;  $x(t) = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_j(t), \dots, x_n(t))$ ,  $j = \overline{1, n}$  –  $n$ -мерный вектор выходных переменных,  $\xi(t)$  – случайные помехи, действующие на объект,  $t$  – непрерывное время,  $t$  в виде индекса – дискретное время;  $h^\mu$ ,  $h^x$  – случайные помехи, действующие в каналах измерения соответствующей переменной; пунктирные линии внутри объекта свидетельствуют о наличии связей между входными и выходными переменными.

Следует отметить, что компоненты выходных переменных часто связаны между собой не известными исследователю зависимостями [5]. В этом случае задача моделирования такого процесса усложняется, а использование классических методов идентификации не приведет к желаемому успеху. На пути рассмотрения и изучения данной задачи будем использовать методы непараметрической статистики.

Рассмотрим многомерный процесс, в котором будут плавно изменяться входные переменные  $u(t)$  и  $\mu(t)$ . При этом выходные переменные  $x(t)$  сначала плавно меняются, но с течением времени по одной или по нескольким из них начинается формирование лавинообразного процесса и выходная переменная  $x_j(t)$  резко возрастает или наоборот убывает (рисунок 2).

На рисунке 2 по оси ординат расположены значения одной  $x_j(t)$  из выходных переменных  $x(t)$ , а на оси абсцисс – последовательность элементов экзаменуемой выборки  $i = \overline{1, s}$ , где  $s$  – объем выборки. Из рисунка 2 видно, что при небольшом изменении выходной переменной  $x_j(t)$  вдруг ее величина существенно возрастает, происходит потеря устойчивости и взрыв. Причем на практике могут встречаться различные лавинообразные процессы, и природа их происхождения может зависеть от самых разных факторов. В-первых, возникновение лавины может зависеть от человеческого фактора, например при

неправильном измерении той или иной переменной, во-вторых это может зависеть от самого процесса, от его природы, т.е. данная «лавина» будет формироваться внутри самого процесса при взаимодействии определенных значений входных переменных  $u(t)$  и  $\mu(t)$ .

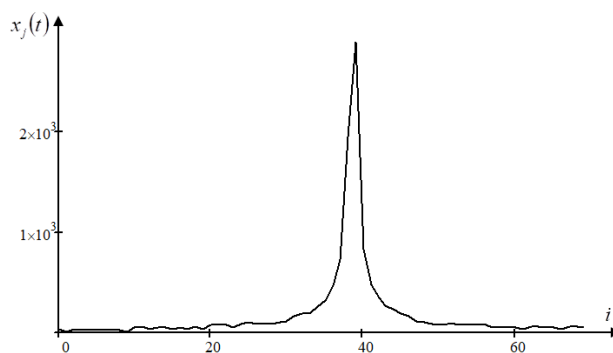


Рисунок 2 – График изменения выходной переменной  $x_j(t)$

На данном этапе встает вопрос, как же правильно работать с лавинообразным процессом и в последующем управлять им. Для начала необходимо обнаружить приближающуюся «лавину». Для этого значения вновь поступающих выходных переменных процесса, обозначим их  $x_j^i$ , нужно сравнивать со значениями, которые ранее предшествовали лавине, обозначим их  $y_j^i$ , из имеющихся у исследователя данных.

На рисунке 3 отмечен отрезок, который предшествует резкому скачку выходной переменной. Данный отрезок можно взять произвольным, например 10-20 значений выходной переменной, которые предшествовали «лавине». Сравнение значений ранее предшествующих «лавине» и вновь полученных осуществляется следующим образом:

$$\varepsilon = \frac{1}{N} \sum_{i=t}^{t+N} (x_j^i - y_j^i)^2, \quad i = \overline{1, N} \quad (1)$$

где  $N$  – число точек выходной переменной в выбранном отрезке времени;  
 $t$  – точка, с которой начинается рассмотрение изменений выходной переменной.

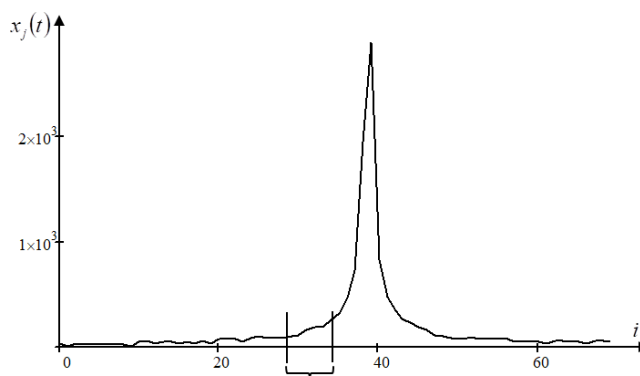


Рисунок 3 – Обнаружение лавины

Из формулы (1) видно, что как только величина  $\varepsilon$  начнет приобретать очень маленькие значения, близкие к нулю, значит должна произойти «лавина». Для того чтобы

предотвратить лавину, в момент уменьшения  $\varepsilon$ , необходимо изменить входные воздействия  $u(t)$ , зависящие от цели управления, которую обозначим  $x^*(t)$ .

Задача идентификации многомерных объектов заключается в построении моделей этих объектов, которые условно можно представить на следующем рисунке 4.

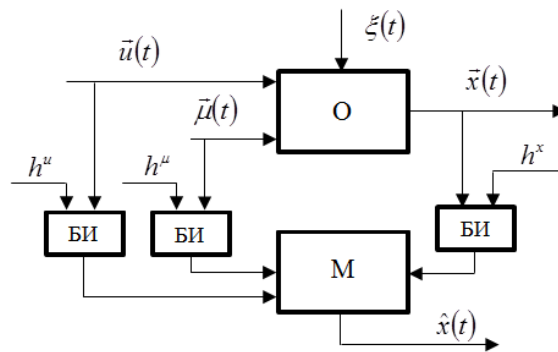


Рисунок 4 – Классическая схема идентификации объекта

На рисунке 4 приняты следующие обозначения: О – многомерный объект; М – модель объекта; БИ – блоки измерения соответствующих переменных процесса, с помощью которых получаем выборку наблюдений или обучающую выборку; в каналах измерения переменных действуют случайные помехи  $h^u$ ,  $h^x$ .

Как было сказано выше, процессы, рассматриваемые в настоящей работе, могут иметь неизвестные зависимости компонент выходных переменных. Поэтому исследуемый процесс будет описываться системой неявных стохастических уравнений:

$$F_j(u(t), \mu(t), x(t + \tau), (t)) = 0, \quad j = \overline{1, n}, \quad (2)$$

где  $F_j(\cdot)$  – не известные функции, т.к. не известны зависимости выходных переменных;

$\tau$  – известное запаздывание по различным каналам исследуемого процесса.

Здесь можно отметить составной (ситуационный) вектор, который состоит из некоторого набора входных и выходных переменных (или из всех), которые влияют на ту или иную компоненту выхода процесса. Это может быть любой набор, например  $x^{<3>} = (u_2, u_5, \mu_1, x_4)$ . Составной вектор известен исследователю из априорной информации. В этом случае модель процесса будет рассматриваться в виде системы:

$$\hat{F}_j(u^{<j>}, \mu^{<j>}, x^{<j>}, \bar{u}_s, \bar{\mu}_s, \bar{x}_s) = 0, \quad j = \overline{1, n}, \quad (3)$$

где  $u^{<j>}, \mu^{<j>}, x^{<j>}$  – составные векторы;

$\bar{u}_s, \bar{\mu}_s, \bar{x}_s$  – временные векторы (т.е. набор данных, которые поступили к s-му моменту времени).

Задача моделирования многомерного процесса состоит в том, чтобы по результатам наблюдений (выборкам), прогнозировать развитие лавинообразного процесса. При этом следует различать лавину с ошибкой измерения, при которой также могут произойти резкие скачки значений компонент выходных переменных. При наличии  $s$  реализаций переменных процесса для прогнозирования выходных переменных может быть использована следующая непараметрическая статистика:

$$x_j(u(t), \mu(t)) = \frac{\sum_{i=1}^s x_j^i \prod_{k=1}^m \Phi\left(\frac{u_k - u_k^i}{c_{su}}\right) \prod_{v=1}^p \Phi\left(\frac{\mu_v - \mu_v^i}{c_{s\mu}}\right)}{\sum_{i=1}^s \prod_{k=1}^m \Phi\left(\frac{u_k - u_k^i}{c_{su}}\right) \prod_{v=1}^p \Phi\left(\frac{\mu_v - \mu_v^i}{c_{s\mu}}\right)}, \quad j = \overline{1, n} \quad (4)$$

где  $u_k, \mu_v$  – вновь поступающие значения входных переменных, а для колоколообразной функции  $\Phi(\cdot)$  можно взять, например, треугольное ядро, или другие виды ядер.

Для моделирования лавинообразного процесса было выбрано 3 реализации входных воздействий, которые принадлежали следующим областям:  $u_1 \in [45,074; 57,645]$ ,  $u_2 \in [9,453; 20,371]$  и  $\mu \in [-1,068; 2,875]$ . Объем выборки наблюдений  $s \in [500; 3000]$ , и соответствующая реализация выходной переменной была выбрана по одному из каналов

$$x_1(t) = \frac{1}{|\sin(0,01u_1) - 0,5u_2|}$$

многомерного процесса, и принимала следующий вид:  $x_1(t) = \frac{1}{|\sin(0,01u_1) - 0,5u_2|}$ . Причем на компоненты выходных переменных процесса действовала равномерная помеха:

$$\tilde{x}_j^i = x_j^i + x_j^i \xi \alpha_j, \quad (5)$$

где  $\xi \in [-1; 1]$ ,  $\alpha_j$  – величина помехи.

Функция ошибки рассчитывается следующим образом:

$$\delta_j = \frac{\sum_{i=1}^s |x_j^i - \hat{x}_j^i|}{\sum_{i=1}^s |x_j^i - \bar{x}_j|}, \quad j = \overline{1, n} \quad (6)$$

где  $\bar{x}_j$  – среднее значение по  $j$ -ой компоненте выхода.

На рисунке 5 по оси абсцисс представлены элементы обучающей выборки, по оси ординат значения выхода объекта (красным цветом) и модели (зеленым цветом). Объем выборки 500, ошибка моделирования составила 0,03, помеха, действующая на выходные переменные, была принята 5%. Как видно из рисунков модель достаточно хорошо описывает объект, с практической точки зрения.

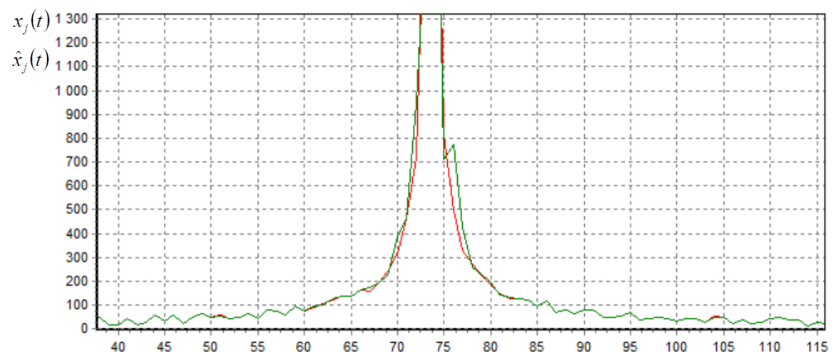


Рисунок 5 – Моделирование лавинообразного процесса

Далее представлены значения ошибки моделирования при различных параметрах размытости, причем для  $u(t)$  и для  $\mu(t)$  они были выбраны одинаковые, а также при увеличении объема выборки. Здесь можно увидеть наименьшую ошибку прогноза при параметрах размытости 0,2. Причем, при увеличении объема выборки ошибка прогнозирования уменьшалась.

Таблица 1 – Зависимости величины ошибки моделирования от величины параметра размытости

$c_{su} = c_{s\mu}$	Ошибка моделирования $\delta_j$		
	$s = 300$	$s = 1000$	$s = 3000$
0,1	7,914	7,408	7,594
0,2	0,040	0,032	0,031
0,3	0,047	0,039	0,038
0,4	0,057	0,045	0,046
0,5	0,066	0,057	0,056
0,6	0,076	0,074	0,067
0,7	0,091	0,092	0,081

Таким образом, проведенные численные исследования показали возможность определения начала развития лавинообразного процесса в многомерной системе. Совершенно ясно, что при изучении и исследовании тех или иных реальных процессов лавинообразной природы требуется тщательный анализ всех факторов и переменных, влияющих на него и наличие соответствующих средств контроля. Кроме того, обращено внимание на формирование задающих воздействий  $x^*(t)$ , которые требуют специального определения.

#### Библиографический список

1. Малкин И.Г. Методы Ляпунова и Пуанкаре в теории нелинейных колебаний. Изд. 2-е, испр. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 248 с.
2. Арнольд В.И. Теория катастроф. – 3-е изд., доп. – М.: Наука, 1990. – 128 с.
3. Гилмор Р. Прикладная теория катастроф. В 2 кн. – М.: Мир, 1984. – Кн. 1. – 350 с.; Кн. 2. – 285 с.
4. Медведев А.В. Основы теории непараметрических систем. Идентификация, управление, принятие решений: монография / А.В. Медведев; СибГУ им. М.Ф. Решетнева. – Красноярск, 2018. – 732 с.
5. Ликсонова Д.И., Раскина А.В. Непараметрические алгоритмы идентификации и управления для Т-процессов // Сибирский аэрокосмический журнал. Т. 22, № 4. С. 600–612.



## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ОБУЧАЮЩАЯ СИСТЕМА

Буинцев В.Н., Логунов Г.М.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»  
г. Новокузнецк, Россия, buintsev@mail.ru

**Аннотация.** В работе обоснована необходимость разработки экспертной системы для обучения обучающихся в системе среднего образования, позволяющей без присутствия учителя достигать высоких уровней обученности. Предложена структура экспертной системы. Показано, что начальным этапом разработки робота-учителя является создание алгоритмов правильного решения задач. В связи с этим, приведен пример разработки алгоритма решения типовых задач на движение. Этот алгоритм позволит определять правильность решения задач обучаемым и формировать соответствующие предикаты для заполнения базы знаний.

**Ключевые слова:** экспертная система, база знаний, обучение, алгоритм, распознавание ошибок.

**Abstract.** The paper substantiates the need to develop an expert system for teaching students in the secondary education system, which allows them to achieve high levels of learning without the presence of a teacher. The structure of the expert system is proposed. It is shown that the initial stage of the development of a robot teacher is the creation of algorithms for the correct solution of problems. In this regard, an example of the development of an algorithm for solving typical motion problems is given. This algorithm will allow students to determine the correctness of solving problems and form appropriate predicates to fill in the knowledge base.

**Keywords:** expert system, knowledge base, training, algorithm, error recognition.

Согласно дидактике [1], степенью обученности являются: знания, умения и навыки. В школе, обычно, учат до уровня знаний и умений. Чтобы достичь уровня навыков («автоматического» решения задачи) нужна многократная тренировка («натаскивание»), особенно это нужно при решении типовых задач. Обычно аудиторного времени на достижения уровня навыков не хватает. Желаящие достичь этого уровня обученности прибегают к услугам репетиторов. В то же время, опыт пандемийного периода, связанный с дистанционным обучением, показал, что одной из трудностей такого обучения оказалось отсутствие живого учителя и подсказок при выполнении домашней работы.

В связи с этим, актуальна разработка робота-учителя, который мог бы помогать обучающимся не только решать домашние задания, но и достигать «автоматизма» при решении типовых задач. Таким помощником может стать специально разработанная программа-тренажёр, обеспечивающая автоматическое обучение до уровня навыков. Для исключения «человеческого» фактора и автоматизации процесса управления обучением на компьютерных тренажерах удобнее всего использовать экспертную систему с использованием концепции программированного обучения. Анализ результатов исследований применения отечественных экспертных систем в области дистанционного образования показал, что данное направление является очень актуальным, но до сих пор остается малоразвитым и малоизученным. Большая часть работ в этой области направлена на разработку систем контроля качества обучения и оценке уровня обученности [2 – 5].

Концепцию программированного обучения в 1954 г. изложил Б. Скиннер (США) [6]. Концепция заключается в самостоятельном и индивидуальном усвоении знаний и умений по обучающей программе с помощью традиционных учебных средств, а также вычислительных устройств, в том числе компьютера. Идея программированного обучения состоит в управлении учебными действиями ученика с помощью обучающей программы – ключевого понятия системы программированного обучения, согласно которой обучение идет по принципу «стимул – реакция – подкрепление», то есть ученику предъявляется материал, который стимулирует его производить определенные познавательные действия с этим материалом, и эти действия тут же получают оценку или комментарий наставника.

Индивидуализация и дистанционное обучение с использованием программированного подхода требует развитой автоматизированной системы «интеллектуальных» подсказок, помощи, консультаций в течение всего периода дистанционного обучения, а это возможно только с использованием экспертных систем на основе различных алгоритмов обработки данных и искусственного интеллекта [7].

Рассмотрим пример такой экспертной системы для обучения решению типовых задач по «школьной» математике. На рисунке 1 приведена структурная схема обучающей экспертной системы. Обучаемому через интерфейс системы из блока формирования заданий поступает условие одной из задач, которые хранятся в базе данных и выдаются последовательно, согласно программы обучения. Действия обучаемого по решению поставленной задачи контролируются блоком оценки, который выявляет тип и вид ошибок или правильность решения задачи. Результаты поступают в базу знаний, где определяется возможный комментарий к сложившейся учебной ситуации. Этот комментарий через блок синтеза учебных комментариев и интерфейс доводится до обучаемого.

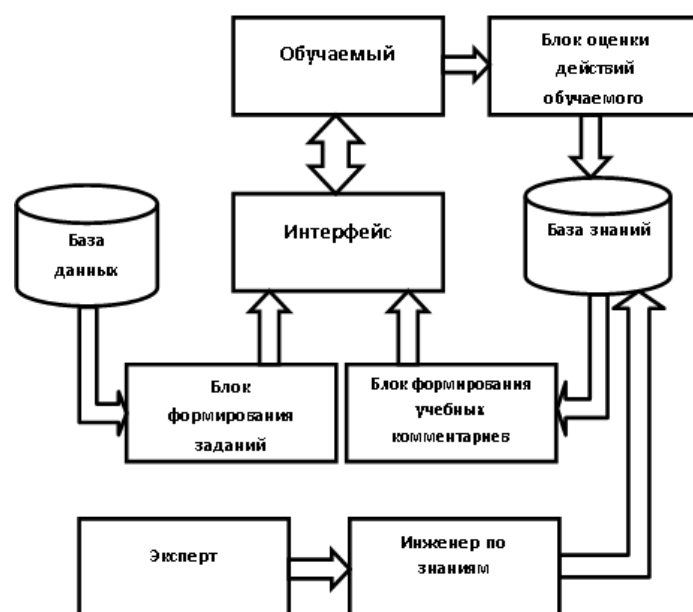


Рисунок 1 – Структурная схема обучающей экспертной системы

База знаний предварительно заполняется (обучается) на основании знаний эксперта-учителя и формализующего эти знания инженера по знаниям.

Одной из самых сложных моментов в разработке экспертной системы в целом является получение знаний у экспертов и математизация этих знаний. В случае с обучающей экспертной системой первым шагом является разработка алгоритмов правильного решения задач. Зная правильные решения можно определить тип и вид ошибки обучаемого и, в свою очередь, зная реакцию учителя на эти ошибки, сформировать учебный комментарий на неё. Для представления знаний учителя наиболее подходящей является продукционная модель представления знаний (МПЗ) [8].

В основе продукционной модели представления знаний находится конструктивная часть, продукция(правило): IF <условие>, THEN <действие>.

Продукция состоит из двух частей: условие – антецедент, действие – консеквент. Условия можно сочетать с помощью логических функций AND, OR. Антецеденты и консеквенты составленных правил формируются из атрибутов и значений. В качестве атрибутов используются логические высказывания, а к значениям относятся численные значения параметров.

В базе данных продукционной системы хранятся правила, истинность которых установлена ранее при решении аналогичной задачи. Правило срабатывает, если при со-

поставлении фактов, содержащихся в базе данных с antecedентом правила, которое подвергается проверке, имеет место совпадение. Результат работы правила заносится в базу знаний.

Как видно из описания продукционной МПЗ для разработки предметной базы знаний необходимо сформировать систему специфических условий – antecedентов и соответствующие им действия – консеквентов. В нашем случае antecedентами являются ошибки обучаемых при решении учебного задания, а консеквентами – комментарий учителя на эти ошибки. Основной трудностью при этом является классификация ошибок обучаемого и формирование набора возможных вариантов их появления.

Изучая работу учителя, процесс выявления ошибок при решении задач основан на сравнении результатов решения обучаемого с правильным алгоритмом решения поставленной задачи, заведомо известным учителю. Таким образом, чтобы определить ошибки обучаемого, нужно иметь набор алгоритмов правильного решения задачи. Понятно, что разработать алгоритмы решения всех задач, например по математике, разработать сложно, но по отдельным темам вполне реально.

Рассмотрим этот процесс на примере задач на движение.

Из учебника математики известны, что имеют место 4 типа задач на движение [9];

1. встречное движение;
2. движение в противоположных направлениях;
3. движение вдогонку;
4. движение с отставанием.

Тип задачи определяется из условия, в котором имеются определенные словосочетания: *навстречу друг другу* – встречное движение, выехали *в противоположных направлениях* – движение в противоположных направлениях, *выехал вслед и обогнал* – движение вдогонку, *одновременно вышел пешеход и выехал велосипедист* – движение с отставанием.

По этим ключевым словам в алгоритме определяется тип задачи. Наиболее распространенными являются задачи на встречное движение, поэтому удобно показать разработку алгоритмов на данном типе задач.

При обнаружении в условии задачи словосочетаний: *навстречу друг другу* – встречное движение, начинает работать алгоритм решения задач на встречное движение.

Из анализа условий задач на встречное движение, можно сделать вывод, что имеется 5 основных типов задач [10]:

1. *на каком расстоянии* от пункта произошла *встреча*, если известны скорости и время движения;
2. найти *расстояние между объектами через заданное время*;
3. на каком *расстоянии от пунктов* назначения будут находиться объекты в *заданное время*;
4. найти *время встречи* объектов, зная скорости и расстояние;
5. с какой *скоростью* должен двигаться *второй объект*, чтобы встретиться в заданной точке.

По ключевым словам, выделенным курсивом, работает алгоритм определения типа задачи на встречное движение.

Далее рассматривается последовательность действий для каждого типа задачи на встречное движение. Например, при условии известного времени и скорости, в которой нужно определить расстояние между объектами движения задачу можно решить двумя способами:

1. последовательно производятся следующие операции: находим скорость сближения, затем находим общее расстояние умножением скорости сближения на время, затем вычитается из общего расстояния путь, пройденный первым объектом;
2. находим путь первого объекта, умножая его скорость на время, затем аналогично находим путь второго объекта, причем, если в условии задачи есть слово «однове-

менно», значит, в пути объекты были одно и тоже время, складываем полученные пути, и вычитаем из полученной суммы путь, пройденный первым объектом.

Аналогичными способами разрабатываются алгоритмы решения других типов задач.

Полученные таким образом алгоритмы позволяют на любом этапе решения задачи обучаемым определять его действия как правильные, так и ошибочные (антецеденты). Соответствие набора антецедентов и соответствующих консеквентов определяет эксперт-учитель. Исходный набор предикатов хранится в базе знаний и может пополняться по мере эксплуатации системы в случае появления новых вариантов правил.

### Библиографический список

1. Подласый И. П. Педагогика: 100 вопросов - 100 ответов: учеб. пособие для вузов/ И. П. Подласый. – М. : ВЛАДОС-пресс, 2004. – 365 с.
2. Курейчик, В. В. Анализ современного состояния автоматизированных систем приобретения и представления знаний / В. В. Курейчик, П. В. Сороколетов, С. Н. Щеглов // Известия ЮФУ. Технические науки. Тематический выпуск, 2008. – С. 120 – 124.
3. Алиев, Р. А. Производственные системы с искусственным интеллектом / Р. А. Алиев, Н. М. Абдикеев, М. М. Шахназаров // М. : Радио и связь, 2016. – 264 с.
4. Персианов, В. В. Использование вычислительной техники в учебном процессе / В. В. Персианов; Н. А. Шайденко // М. : Гостехиздат, 2017. – 112 с.
5. Горенский, Б. М. Информационные технологии в управлении технологическими процессами цветной металлургии / Б. М. Горенский, О. В. Кирякова, С. В. Ченцов, Л. А. Лапина. Красноярск: Изд-во «СФУ», 2012. – 148 с.
6. 6. Fifty Modern Thinkers on Education: From Piaget to the Present / edited by Liora Bresler, David Cooper, Joy Palmer. Published September 27, 2001 by Routledge. – 320 p.
7. Edward, P. K. A Study of the Uses of Expert Systems in the Training. Old Dominion University. 1990. – 30 p.
8. Уотерман, Д. Построение экспертных систем / ред. Ф. Хейес-Рот, Д. Уотерман, Д. Ленат // М. : Мир, 2013. – 441 с.
9. 9. Сборник задач на движение. Часть 1. [Электронный ресурс] URL <https://zen.yandex.ru/media/id/5f4e4ba7901e551bc77b0a01/raznye-vidy-zadach-na-dvijenie-chast->
10. Дорофеев Г. В. Учебник Математика. 5 класс. Учебник / Г. В. Дорофеев, Л. Г. Петерсон // ФГОС– М. : Просвещение / Бином, 2021. Дорофеев Г. В, Петерсон Л. Г. – 223 с.

УДК 379.8

## ЦИФРОВАЯ ЛИТЕРАТУРА В СОВРЕМЕННОМ ФОРМАТЕ

Логунов Г.М.

*ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»  
г. Новокузнецк, Россия, sulitprod@gmail.com*

***Аннотация.** Целью данной работы является рассмотрение текущих актуальных проблем в сфере потребления цифровой художественной литературы на различных устройствах, о существующих вариантах подачи такой информации, общих концепциях использования выбранного в статье варианта и продуктов, которые этот вариант предоставляют с их минусами и плюсами в реализации.*

***Ключевые слова:** история, конструктор, информация, текст, кроссплатформенность, литература.*

***Abstract.** The purpose of this work is to consider current topical problems in the field of consumption of digital fiction on various devices, about existing options for presenting such information, general concepts of using the option selected in the article and the products that this option provides with their pros and cons in the implementation.*

**Keywords:** *history, designer, information, text, cross-platform, literature.*

В наше время существует несколько проблем с потреблением информации и развитием грамотности молодого поколения, например такие, как нехватка времени между основными занятиями, отсутствие интереса к стандартным способам визуализации информации, неудобный форм-фактор, отсутствие отслеживания прогресса.

Чтобы решить несколько из представленных ниже проблем нужно изменить вид подачи информации (в данном случае – вид подачи историй, которые создают писатели) и ее количество, а также дать возможность иметь доступ к платформе со всеми историями с любого устройства, как с мобильного, так и с настольного.

Для решения поставленных проблем платформу решено было создать в виде веб-системы, что открывает возможность моментального доступа с любого устройства, подключенного к сети интернета. Формат поглощаемой информации выбран в форме карточек с текстом, картинками и вариантами выбора, которые можно удобно смахивать и переключать, возвращаясь на старые карточки или идти дальше по новым, такая вариация подачи информации называется «Interactive fiction» («Интерактивная история»).

Интерактивная история (IF) [1] – разновидность компьютерных игр, в которых взаимодействие с игроком осуществляется посредством текстовой информации. Развитие этого жанра в связи с низкими возможностями компьютерных ресурсов началось практически вместе с появлением компьютерных игр (появились уже в 1975 году) и не прекратилось даже с появлением графических игр.

На рынке программ и сайтов по созданию интерактивных текстовых произведений и игр мало хороших продуктов, которые выполняют все необходимые требования для создания продуманной логической системы вариантов выбора продвижения сюжета и дальнейших его последствий.

Большинство продуктов имеют ограниченный функционал или устаревший интерфейс, который не соответствует современным стандартам.

**Inklewriter** [2] – это бесплатный инструмент, позволяющий каждому писать и публиковать интерактивные истории. Он идеально подходит для писателей, которые хотят попробовать интерактивность, а также для учителей и студентов, которые хотят сочетать навыки работы с компьютером и творческое письмо. Интерфейс системы приведен на рисунке 1.

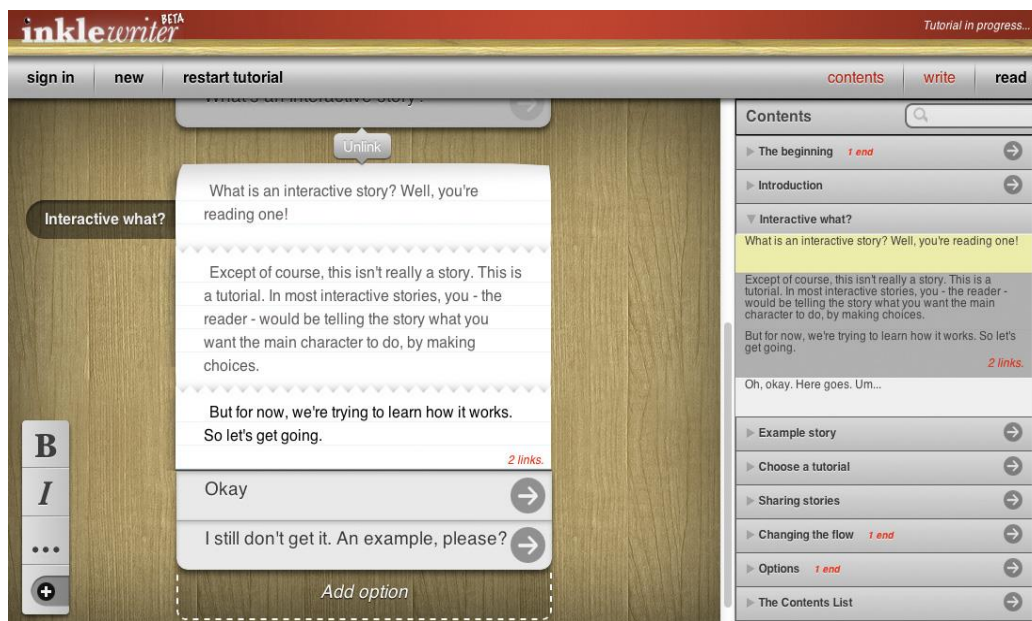


Рисунок 1 – Интерфейс программы inklewriter

### Минусы:

1. сильно устаревший дизайн – платформа была разработана примерно в 2011 году, следуя информации первой записи в их блоге, а это значит, что при разработке использовались технологии и стиль того времени, что в данный момент отталкивает потенциальных новых пользователей, так как web-стандарты сильно изменились за прошедшее с того момента время;
2. неинтуитивный интерфейс – платформа имеет структуру с наличием как верхнего меню с текстовыми элементами, так и бокового с еще более большим количеством текста и разворачиваемых панелей, что в данный момент времени является недопустимым, так как интерфейс должен иметь свой визуальный язык, понятный пользователю, который должен собой заменять своим видом аналогичный текстовый смысл.

### Плюсы:

1. центрирование основного контента несмотря на загруженный текстом интерфейс, основная информация находится в центре, карточки с текстом и вариантами выбора отделены отдельными блоками на раскрашенном фоне;
2. простота создания и просмотра историй, так как это достаточно старый проект, то и технологий, используемый в проекте – минимум, только сам текст, варианты выбора дальнейшего развития сюжета и, собственно, сам просмотр готовой истории;
3. собственная страница у каждой истории появляется после создания истории, у нее появляется собственная страница без отвлекающих элементов платформы.

**Tuesday** [3] – это простой бесплатный веб-редактор визуальных новелл с открытым исходным кодом, который можно использовать в веб-браузере. Визуальный редактор позволяет создавать графические или кинетические романы без каких-либо знаний в области программирования. При необходимости можно расширить базовый функционал с помощью JavaScript и CSS. Интерфейс системы приведен на рисунке 2.

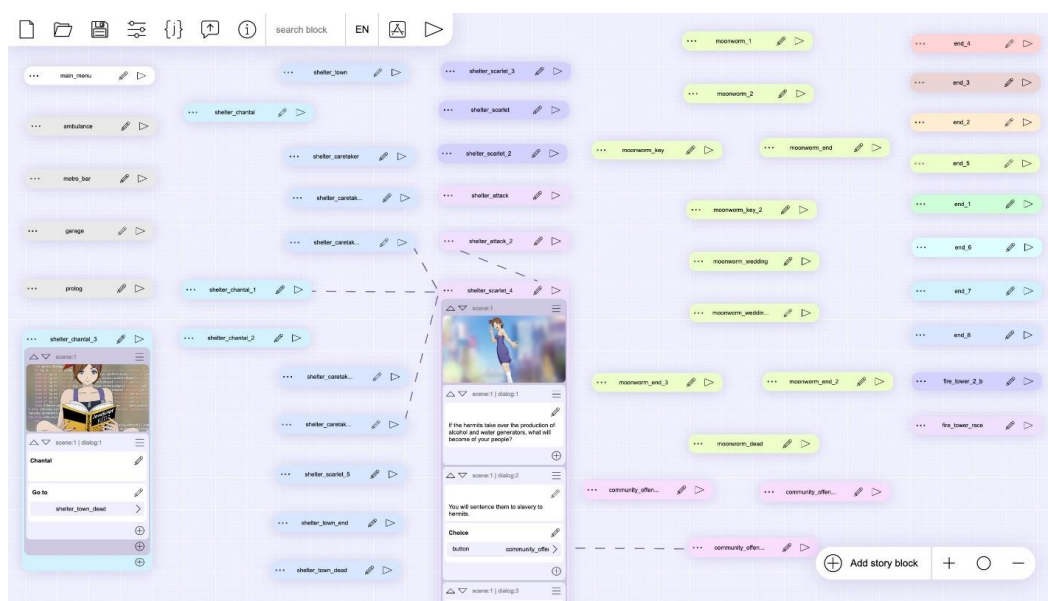


Рисунок 2 – Интерфейс системы Tuesday

### Минусы:

1. перегружен цветами – блоки и элементы на панели имеют различные цвета, которые мешают фокусировать свое внимание и сливаются с общим фоном;
2. мелкий интерфейс в области видимости, при создании истории имеется множество мелких элементов управления, которые путают пользователя и теряется фокус на основных элементах разработки.

### Плюсы:

1. возможность расширять функционал (JS, CSS) – приложение дает возможность дополнять свой функционал своими собственными скриптами;
2. гибкость в создании историй – в процессе создания истории можно использовать несколько инструментов, таких как переменные, которые можно регулировать и использовать в тексте в любом месте и различные настройки.

Самая продвинутая программа, которая сочетает в себе хороший визуальный стиль и большой набор функций, называется Elm Story.

**Elm Story** [4] – это бесплатный кроссплатформенный инструмент для дизайна, который помогает авторам, дизайнерам и студентам визуально создавать и публиковать захватывающие сюжетные миры. Благодаря виртуальному рассказчику зрители получают разветвленное повествование, адаптированное к выбору игрока.

### Основные особенности проекта:

Без кода и без DSL: сосредоточьтесь только на написании и дизайне, а все остальное решайте через пользовательский интерфейс. Интерфейс системы приведен на рисунке 3.

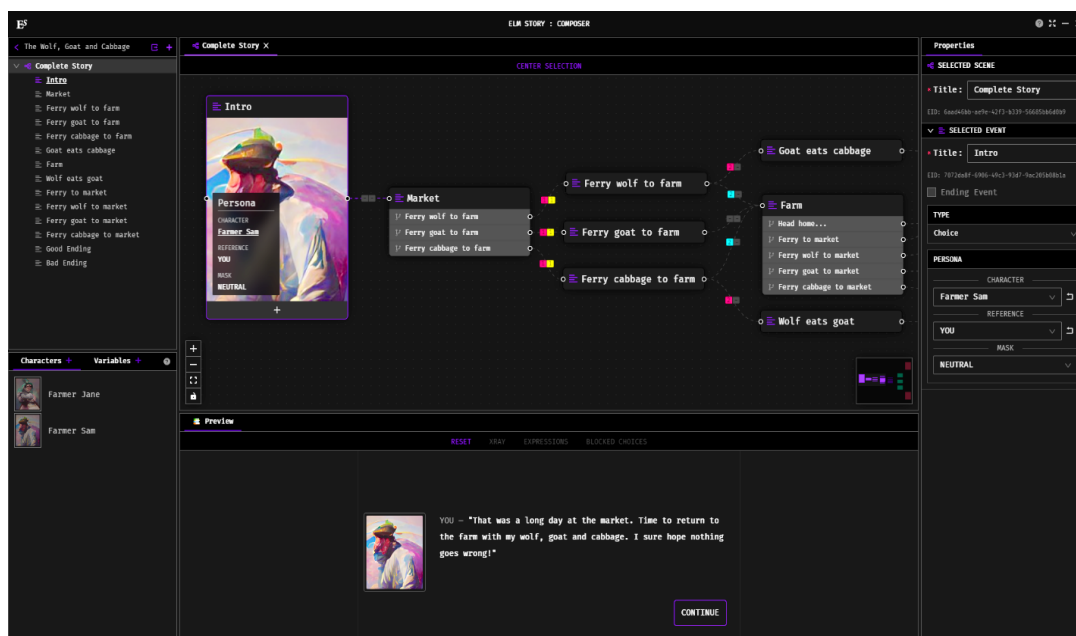


Рисунок 3 – Интерфейс системы Elm Story

Легко учиться: начните создавать свои собственные миры, просто связывая события.

Сначала повествование (ориентированное на сюжетный мир): легко управляйте всеми компонентами сюжетного мира (персонажами, объектами, местами, событиями, переменными).

Повествование, основанное на качестве: содержание повествования варьируется в зависимости от качеств игрока или мира. Виртуальный рассказчик: система, способная динамически управлять процессом создания повествования в зависимости от взаимодействия игроков.

Самостоятельная публикация: импортируйте свои миры и экспортируйте их в JSON или готовые к установке в автономном режиме веб-приложения.

### Минусы:

1. нет светлой темы – интерфейс приложения выполнен в темных тонах и других вариантов для настройки нет, что создает определенный дискомфорт для работы в нем днем, хотя и имеются некоторые преимущества в темное время за устройством;

2. запутанное создание фильтров и переменных – интерфейс имеет панель переменных и фильтров, но не позволяет с ходу их создавать, что сопровождается отключенными функциональными кнопками;
3. нет веб-версии – у данной платформы отсутствует web-версия, что ограничивает использование различных устройств.

#### **Плюсы:**

1. отдельная программа для ПК – хотя у платформы нет web-версии, проект имеет полноценную настольную версию, которая хорошо оптимизирована для работы с большими объемами данных;
2. импорт и экспорт историй – после создания истории можно ее экспортировать и сохранить весь прогресс в виде файла, а в дальнейшем импортировать ее в любой удобный момент времени и продолжить редактировать ее с последнего момента;
3. наличие переменных и фильтров – историю можно модифицировать дополнительно, кроме как текстом, создавая свои переменные, которыми можно манипулировать и фильтры для различных вариантов выбора;
4. гибкость в создании историй – в процессе создания истории можно использовать несколько инструментов, таких как переменные, которые можно регулировать и использовать в тексте в любом месте и различные настройки.

Таким образом, наиболее удобным и перспективным для использования создания интерактивных историй является программный продукт «Elm Story», который требует доработки и создания альтернативной кроссплатформенной версии.

#### **Библиографический список**

1. WIKIPEDIA [Электронный ресурс]. – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Interactive\\_fiction](https://ru.wikipedia.org/wiki/Interactive_fiction).
2. inklewriter [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.inklestudios.com/inklewriter>;
3. Tuesday JS visual novel engine by Kirill Live [Электронный ресурс]. – URL: <https://kirill-live.itch.io/tuesday-js>.
4. Elm Story by Elm Story Games, Leonardo Codamo [Электронный ресурс]. – URL: <https://elmstorygames.itch.io/elm-story>.

UDK 519.2

### **ROBUST PORTFOLIO SELECTION WITH WASSERSTEIN DISTANCE**

**Yao Keyu**

*Southern Federal University  
Rostov-on-Don, Russia, iao@sfedu.ru*

**Abstract.** *We consider the problem of finding the optimal one-step portfolio. We obtain the two-criteria problem, in which we should maximize the mean portfolio profitability and minimize the risk. The difficulty of the problem is that the probability measure by which the mean vector and the covariance matrix are calculated is unknown. We use the training sample for evaluation the mean vector and the covariance matrix. Three methods for evaluation are considered.*

**Keywords:** *portfolio, profitability, mean vector, covariance matrix, Wasserstein distance.*

#### **Introduction**

Portfolio selection aims to optimize the wealth distribution of a set of assets and choose the right combination of risks and returns. It is one of the core components of Modern Portfolio Theory, which first published by Harry Markowitz in 1952 [1]. Markowitz model is a theoretical framework for the analysis of risk and return. It used statistical analysis for the measurement of risk and mathematical programming for the selection of assets in an efficient manner. The framework led to the concept of efficient portfolios which expected to yield the highest return



for a given level of risk or the lowest risk for a given level of return. Investors are faced with constant changes in the market environment when conducting investment activities. To maximize investment returns, investors need to continually adjust their investment strategies based on currently known information under the conditions of unpredictable future changes.

### **Some investigation of robust optimization**

The topic of robust optimization (RO) has become popular over the past several years, especially in real-world financial applications. Its performance poor without considering estimation and model robustness a part of their overall allocation methodology when researchers implemented classical portfolio models for asset allocation. Lobo, Boyd and Lebert [6] are the first to model robust portfolio selection through worst-case analysis under the mean-variance model. They only consider that errors in asset return estimates and the upper and lower bounds of return volatility are known, consider the mean-variance robust portfolio selection model that minimizes the worst-case bias, and convert it into a tractable second-order cone programming problem. For uncertain asset returns and variance-covariance matrix, Tunuchu and Koenig [7] constructs the box-shaped uncertain sets respectively and gives a robust mean-variance portfolio selection optimization model, which is further transformed into a saddle point problem that can be solved by the interior point algorithm. Goldfarb and Iyengar [8] firstly construct the multi-factor model. Assumes that the uncertain factors in it obey the multivariate normal distribution and gives an interval with a certain confidence level for the uncertain return of each factor, gives an ellipsoid indeterminate covariance matrix for the uncertain covariance matrix between the factors. Determine the set, build the mean-variance robust portfolio selection optimization model and the robust portfolio selection optimization model that maximizes the Sharpe ratio. The size of the uncertain set in the model is controlled by the confidence level. The author also gives the transformation of the obtained model. As a recent research result, Ye, Panos and Rustem [9] used the information of the first and second moment of parameter estimation error to give the set of uncertain parameters, respectively, Construct mean-variance robust portfolio selection models and transform them into cone programming problems to solve.

### **The difficulty of the robust problem**

The difficulty of the problem is that the probability measure by which the mean vector and the covariance matrix are calculated is unknown. We use the training sample for evaluation the mean vector and the covariance matrix. We use three methods for evaluation. The first is the MCD method [2]. In the second method we consider the set of possible values for the mean vector and the set of possible values for the covariance matrix [3]. In the second method we have the minim ax problem statement to obtain the stable portfolio with respect to the sample [4]. That is, we choose the best portfolio in the worst situation. In the third method the Wasserstein distance is used [5].

### **The Robust Problems**

The minimum covariance determinant (MCD) method is widely used in robust portfolio selection problem. We assume that data is generated by a certain probability distribution. Then points with a low probability density can be recognized as outliers. Such as for ellipsoid-shape Gaussian distributed data, can be done by calculating the distance from each point to the average. Outliers will be points with a distance greatest of a certain threshold. We need estimate the mean and covariance matrix from the original data, but the outliers may skew the parameter estimation. If we knew the outliers in advance, we could exclude them from the parameter estimation simply. MCD method is a sufficient way to minimize the impact of noise when the mean and covariance matrix estimated.

### **The description of robust methods**

Assuming a financial market with  $n$  types of assets, we consider the problem of finding the optimal one-step portfolio  $x = (x_i)_{i=1}^n, \sum_{i=1}^n x_i = 1, i = 1, 2, \dots, n$ . A detailed analysis of the optimal portfolio problems can be found in the works of portfolio choice problems (Brandt, 2009) and mean-variance models (Steinbach, 2001). The average profitability is calculated as mean  $E(R, x) = (\bar{R}, x)$ ,  $R$  is a vector of random profitability of assets which are included in the

portfolio,  $\bar{R} = ER$ . The risk is variance  $D(R, x) = (\bar{C}, x)$ ,  $\bar{C}$  is covariance matrix,  $\bar{C} = ERR^T - \bar{R}\bar{R}^T$ . Moreover, other functionals can be used as indicator for evaluating risk (see, Konno et al., 1991; Basak et al., 2001; Rockafellar et al., 2000). The portfolio should be chosen in such way that the average profitability is as high as possible and at the same time the risk is as low as possible. According to the structure, the optimal portfolio problem belongs to the optimization problems with vector criteria. The solution of the problem with the vector criteria is usually understood as the Pareto set.

To solve this problem, we should maximize the mean portfolio profitability  $E(R, x)$  and minimize the risk  $D(R, x)$ , where  $R = (r_i)_{i=1}^n$  is the vector of profitability,  $(R, x) = \sum_{i=1}^n r_i x_i$  is the portfolio profitability [1]. Therefore, we obtain the two-criteria problem, which we can transform to the problem with one criteria. Here's a way we calculate optimal portfolios is the vector criteria scalarization:

$$\begin{aligned} \max_x & [E(\bar{R}, x) - \lambda \sqrt{(\bar{C}x, x)}], \\ & \sum_{i=1}^n x_i = 1 \end{aligned} \tag{1}$$

The maximum likelihood algorithm is proposed to split the sample into two clusters, while the dichotomous algorithm is proposed to split the sample into K clusters. The problem (1) will transform into the problem:

$$\begin{aligned} \max_x \min_i & [ (x, \bar{R}) - \lambda \sqrt{(\bar{C}x, x)} ], \\ & \sum_{i=1}^n x_i = 1 \end{aligned} \tag{2}$$

In this work, we considered the optimal portfolio problem as:

$$\begin{aligned} \min \alpha & \\ P(-(R, x) \leq \alpha) & \geq \beta, \\ (I, x) & = 1 \end{aligned} \tag{3}$$

We let  $\lambda = \phi^{-1}(\beta)$ , here  $\phi(\beta)$  is the Laplace function,  $\phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{y^2}{2}} dy$ . Problem (3) can be written as:

$$\begin{aligned} \max_x & ((\bar{R}, x) - \phi^{-1}(\beta) \sqrt{(\bar{C}x, x)}), \\ & (I, x) = 1 \end{aligned} \tag{4}$$

### The basic robust method

In this work, we divide the sample  $V$  into two parts, and we let  $H_1$  is the subsample of  $V$ ,  $|H_1| = K$ . For the first part, we applied MCD method. For the second part, we calculated the sample mean, sample variance, and the minimum portfolio profitability. We calculated the ordered permutation  $\pi$  as  $\pi(i) < \pi(j)$ . Based on the permutation  $\pi$ , we form the new set  $\{R_{\pi(i)}, i = 1, \dots, K\}$ ,  $K$  is the sample number of previous subsample. In the first part, we find the permutation  $\pi$  and calculate the vector  $x$  form the optimization problem, that is  $\min_x ((\phi^{-1}(\beta) \sqrt{(\bar{C}x, x)} - (\bar{R}, x)), (I, x) = 1$ . Here,  $\phi(\beta)$  is the Laplace function,  $\phi(x) =$

$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{y^2}{2}} dy$ . If  $\Delta C(H_1) > \Delta C(H_2)$ , then we let the new  $V_1$  as  $V_2$  and find the permutation  $\pi$  again, until  $\Delta C(H_1) < \Delta C(H_2)$ . We need consider the ellipsoid to estimate the covariance matrix, that is  $(C^{-1}(H_1)(R - m(H_1)), (R - m(H_1))) \leq d$ , where  $d = \max_{R \in H_1} (C^{-1}(H_1)(R - m(H_1)), (R - m(H_1)))$ .  $C$  is the covariance matrix of the normal law,  $C = \alpha C(H_1)$ . The probability  $P((C^{-1}(H_1)(R - m(H_1)), (R - m(H_1))) \leq y) \approx \frac{K}{N}$ , which is crucial to choose  $K$ . MCD method has large sample size and  $\varepsilon^* = \alpha$  ( $0 < \alpha \leq 0.5$ ), subsample size  $K = [N(1 - \alpha)] + 1$ .

In the experiment, we consider a sample have a two-dimensional normal distribution with a given covariance matrix  $C_1$  and a given mean vector  $m$ . The sample is clogged with elements from the two-dimensional distribution, which is obtained from the transformation  $y = A\varepsilon + m$ , where  $A$  is the factor of the Cholesky transformation of the covariance matrix  $C_2$ ,  $m$  is the mean vector of the original normal distribution,  $\varepsilon$  is a vector, which consist of two independent uniformly distributed random variables. The MCD method uses the parameter  $K$  to determine the accuracy of estimating the covariance matrix. And it shows the dependence of the error in estimating the covariance matrix for a clogged sample (clogged by 10%, 15% and 20%) by this method.

### Best portfolio in the worst situation

In many cases, people are interested in analyzing the worst-case impact of possibly continuous changes in the correlation structure. How can we find the best portfolio in the worst situation? In this case, we consider the set of possible values  $S$  for  $\bar{C}$ , the set of possible values  $T$  for  $\bar{R}$ , and the minimax problem statement to obtain the stable portfolio with respect to the sample.

We should choose the best portfolio in the worst situation, so that the robust problem will be:

$$\min_x \max_{\bar{C} \in S, \bar{R} \in T} \left( \phi^{-1}(\beta) \sqrt{(\bar{C}x, x)} - (\bar{R}, x) \right), \quad (5)$$

$$(I, x) = 1$$

Here, we use the Cauchy-Bunyakovsky inequality to calculate  $\max_{\bar{C} \in S} (\bar{C}x, x)$  and  $\min_{\bar{R} \in T} (\bar{R}, x)$ . Thus, the previous robust problem can be optimized as,

$$\max_x \left( (\bar{R}, x) - (\phi^{-1}(\beta) \sqrt{(\bar{C}x, x) + \varepsilon_2^2 \|x\|^2} - \varepsilon_1 \|x\|) \right), \quad (6)$$

$$(I, x) = 1$$

Here, the objective function is a convex function in this problem.

### Wasserstein Distance Problem

We assume that have two distributions  $P$  and  $Q$ , we will get the definition of Wasserstein distance  $W(P, Q) = \inf_{\gamma \in \Pi(P, Q)} \mathbb{E}_{(x, y)} [\|x - y\|]$ , where,

$\Pi(P, Q)$ : A set of joint probability distributions for  $P$  and  $Q$ .

$\gamma(x, y)$ : Probability of occurrence of  $x$  for  $P$  and then occurrence of  $y$  for  $Q$ .

$\gamma(x)$ : The marginal distribution of  $\gamma(x, y)$ .

$\gamma(y)$ : The marginal distribution of  $\gamma(x, y)$ .

Therefore, under a joint distribution, the expected value of all  $x$  and  $y$  distances under this distribution, and the lower bound of this expected value (infimum, that is, inf in the equation) is the Wasserstein distance.

In order to characterize the ambiguity set of our distributions, we use a statistical metric called the Wasserstein distance, which is very simple and intuitive. Cause the portfolio selection experiment will be affected by uncertain parameters those distribution can be only observable from the sample, we use Wasserstein robust framework to consider uncertain parameters in optimization problems.

### Robust method with Wasserstein distance

The robust setting of problem (4) in the probability interpretation as follows:

$$\min_x \max_{P \in U_\epsilon(P_0)} \left( \Phi^{-1}(\beta) \sqrt{(C_P x, x)} - (R_P, x) \right), \quad (7)$$

$$(I, x) = 1$$

We set  $U_\epsilon(P_0) = \{P: D(P, P_0) \leq \epsilon\}$ , here,  $D$  is the metric on the set of probability measures.  $R_P = E_P R$ ,  $C_P = E_P R R^T - R_P R_P^T$ . We use the Wasserstein metric to calculate the distance between probability distributions  $P$  and  $Q$  in  $R_n$ , which is defined as

$$D(P, Q) = \sqrt{\min_x E_\pi d^2(X, Y), \pi(A, R^n) = P(A), \pi(R^n, B) = Q(B)}$$

The Wasserstein metric is used in many works related to find the optimal portfolio, the metric  $d(X, Y) = \|X - Y\|_2$ . To simplify problem (7), considering empirical distribution laws  $P_X(A) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_A(x_i)$ , where  $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ , and  $P_Y(A) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_A(y_i)$ , where  $Y = \{y_1, \dots, y_n\}$ .

Wasserstein metric  $D(P_x, P_y)$  for these distributions is the square root of the solution of the finite dimensional transport problem  $\min_\pi \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \pi(x_i, x_j) d^2(x_i, x_j)$  with restriction  $\sum_{i=1}^n \pi(x_i, x_j) = \sum_{j=1}^n \pi(x_i, x_j) = \frac{1}{n}$ . In the calculation of inequalities, we will obtain the estimate  $\max_{P \in U_\epsilon(P_0)} (C_P x, x) \leq (\tilde{C} x, x) + \|x\|^2 \left( \epsilon^2 + 2\epsilon \max_{R \in V} \|R - \tilde{R}\| \right)$ .

Usually, the empirical distribution is taken as the initial distribution. We obtained

$$\max_x ((x, \tilde{R}) - (\Phi^{-1}(\beta) \sqrt{(\tilde{C} x, x) + \|x\|^2 \left( \epsilon^2 + 2\epsilon \max_{R \in V} \|R - \tilde{R}\| \right)} - \epsilon \|x\|), \quad (8)$$

$$(I, x) = 1$$

### The numerical experiment

For classical data calculating, we use 10 stocks: 'ALRS', 'ROLO', 'ISKJ', 'GAZP', 'LSRG', 'PIKK', 'SBER', 'MOEX', 'MGNT', 'GCHE' into groups for the period from 27.06.2014 to 19.03.2021, volume 298 is used, which is divided into two samples of volume 149 and volume 149, respectively. For real market data calculating, we use the daily closing price data of the stock market, and five assets loaded from Yahoo Finance. Asset-1 is four stocks from US, they are 'MSFT', 'IBM', 'AAPL', 'GOOG'. Asset-2 is four stocks from US, they are 'NFLX', 'Ford', 'FB', 'AMZN'. Asset-3 is four stocks from US, they are 'TSLA', 'TWTR', 'F', 'NVDA'. Asset-4 is four stocks from China, they are 'BABA', 'BIDU', 'JD', 'TCEHY'. Asset-5 is four stocks from US, they are 'SBRCY', 'YNDX', 'ROSN', 'LUKOY'.

We calculated the dependence of Frobenius on different  $\alpha$ , and found that the Frobenius norm decreases with decreasing  $\alpha$ , it has good performance. And the Frobenius norm of the difference looks natural. Moreover, we calculate the average profitability, the variance and the minimal profitability in each asset with different method, then compared all the results.

## Conclusions

In this work, we reviewed some investigation of robust optimization and then talked about three methods to find the solution of portfolio selection, all of them are robust method. When the parameters in our case are inherently uncertain, solving portfolio optimization problems with great precision is an unreasonable proposition. By using different type of methods, the worst-case risk analysis can be incorporated into portfolio selection, which allows «robust» portfolios to be designed. Investors are faced with constant changes in the market environment when conducting investment activities. Comparing all three methods, we found that the MCD method does not require a priori information from the sample. The robust optimization method requires information from the sets of possible parameter values. The latter method requires knowledge of one quantity, which can be estimated from the sample. Therefore, the MCD method and the method, using the Wasserstein distance, have an advantage over the robust optimization method. To maximize investment returns, investors need to continually adjust their investment strategies based on currently known information under the conditions of unpredictable future changes.

## Literature

1. Markowitz H. Portfolio selection. J. Financ. V. 7. N. 1. pp. 77-91. 1952.
2. Boudt K., Rousseeuv P., Vanduffel S., Verdonck T. The mininum regularized covariance determinant estimator. Statistics and computing, 30, 113-128, 2019.
3. Tichonov A., Arsenin V. Methods for solving ill-posed problems. M. Nauka, 430 p. 1974.
4. Boyd S., Vanderberghe L. Convex optimization. Cambridge University Press, 716 p. 2009.
5. Blanchety G., Chenz L., Zhoux X. Distributionally robust mean-variance portfolio selection with Wasserstein distances. Management Science, 2021.
6. Lobo V L. Second-order cone programming: interior- point methods and engineering applications [J]. Linear Algebra Application, 1998, 284: 193- -228.
7. Tutuncu R H, Koenig M. Robust asset allocation [J]. Annual of Operations Research, 2004, 132: 157-187.
8. Goldfarb D, Iyengar G. Robust portfolio selection problems [J]. M athematics of Operations Research, 2003, 97: 1-38.
9. Kai Y, Panos P, Berg R. Robust portfolio optimization: a conic programming approach [J]. Computational Optimization and Applications, 2012, 52: 463-481.
10. Blanchety G., Chenz L., Zhoux X. Distributionally robust mean-variance portfolio selection with Wasserstein distances//Management Science. 2021.

УДК 004.942

## РОЛЬ ЦИФРОВЫХ СРЕДСТВ В АНАЛИЗЕ И ПРОТИВОДЕЙСТВИИ ВЛИЯНИЯ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ НА ЭКОЛОГИЮ

Якушенков Д.В.

*ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»  
г. Новокузнецк, Россия, perashamarket@gmail.com*

*Аннотация.* Добыча полезных ископаемых ставит перед современным миром ряд ключевых проблем, связанных с влиянием на климат. Одним из решений является исследование и снижение негативных факторов влияния на климат на основе использования различных информационных технологий. Основной целью представленной статьи является анализ вопросов, касающихся возможности использования цифровых средств для анализа и противодействия влияния добычи полезных ископаемых на климат.

*Ключевые слова:* информационные технологии, добыча, моделирование, климат, полезные ископаемые, цифровые технологии.

**Abstract.** Mining poses a number of key challenges to the modern world related to the impact on the climate. One of the possible solutions is to study and reduce the negative factors affecting the climate with various information technologies. The main purpose of the presented article is to analyze issues related to the possibility of using digital tools to analyze and counteract the impact of mining on the climate.

**Keywords:** information technologies, mining, modeling, climate, minerals, digital technologies.

Добыча полезных ископаемых представляет ключевое значение практически для каждой сферы жизнедеятельности современного человека. Так, данные ископаемые активно используются в строительстве и технологических инновациях, улучшающих жизнь человека. Россия богата полезными ископаемыми, однако одно из ведущих по объемам добычи месторождений находится в Кузбассе, Кемеровской области. В этих местностях открыто более 20 месторождений, в которых добывается золото, алюминий, мель, титан и иные. Однако наряду с положительным эффектом добыча полезных ископаемых представляет ряд угроз, связанных с негативным влиянием на климат экологию в целом [1].

Добыча полезных ископаемых, как уже было сказано ранее, способна привести к непоправимым негативным последствиям в аспекте влияния на климат. Так, в результате значительных выбросов в атмосферу углекислого газа, пыли, углеводорода и иных химических соединений может изменяться температура окружающего воздуха и быть вызваны ряд негативно влияющих на здоровье населения последствий. Одними из распространенных примеров негативного влияния на окружающий мир являются алмазный карьер в Якутии (рисунок 1, а) и образующиеся карстовые воронки в Кемеровской области (рисунок 1, б).



Рисунок 1 – Влияние добычи полезных ископаемых на окружающую среду

В результате добычи полезных ископаемых выделяются различные химические элементы, способные сделать климат неблагоприятным для существования отдельных растений и животных, что приводит к их вымиранию. Совокупность представленных факторов свидетельствует о необходимости разработки специальной системы, способной автоматически в режиме реального времени выявлять факт угрозы климату при добыче полезных ископаемых. Данная система должна включать в себя возможность моделирования. Именно на ее основе появится возможность прогнозирования климата в результате анализа и оценки факторов загрязнения от производства добычи полезных ископаемых [2].

Следует отметить, что единственным инструментом, представляющим возможность реализации данного рода системы, являются информационные технологии и цифровые средства. Сегмент информационных технологий занимает ключевое место в рамках современного технологического прогресса, а также становлении и развитии многих бытовых и профессиональных областей жизнедеятельности человека.

Посредством разработки и интеграции инновационных цифровых инструментов значительно повышается эффективность и рациональность использования ресурсов, происходит сокращение ручного труда и, как следствие, сведение человеческого фактора к

минимуму, а также ряд иных позитивно-влияющих на производство факторов. Таким образом, рассматриваемая научная область представляет колоссальную актуальность для современного промышленного комплекса, в частности, при решении задач мониторинга экологической обстановки в результате добычи полезных ископаемых [3].

Одним из инструментов мониторинга вредных веществ в атмосфере является использование интеллектуальной распределенной сенсорной сети. Данная сеть основана на работе искусственных нейронных сетей и представляет собой распределенную, самоорганизующуюся сеть малогабаритных электронных устройств (рисунок 2). Технология данных сетей базируется на множестве датчиков и исполнительных устройств, которые являются объединенными между собой посредством радиоканала. Собранная в результате работы сетей информация направляется в информационный пункт. Помимо последующей обработки, данные системы имеют возможность анализировать собранные данные в реальном времени без отправки информации в пункт. Именно в результате этого могут быть получены намного более быстрые и ценные выводы, касающиеся процентной составляющей и объема вредных веществ в атмосфере [4].

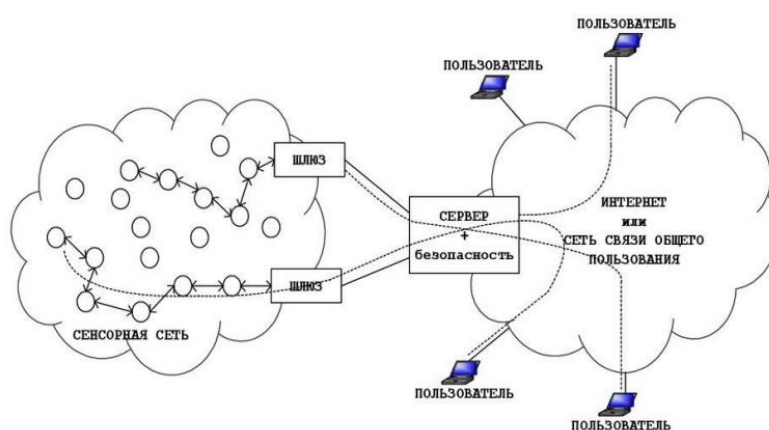


Рисунок 2 – Архитектура беспроводной сенсорной сети

Данные распределенные устройства способны автоматически и в режиме реального времени регистрировать и передавать сигналы об изменении тех или иных параметров в составе атмосферного воздуха. Необходимо отметить, что в результате незамедлительного регистрирования и получения данных о выбросах представляется возможным быстрое реагирование и направление специальных мер по устранению или снижению выбросов.

Добыча полезных ископаемых производится на достаточно обширной и распределенной территории, исходя из этого, использование беспроводных сенсорных сетей получает наибольшую актуальность своего выбора в вопросе мониторинга данных объектов. Распределенные сенсорные сети способны не только обнаружить и классифицировать нарушителя, но также и предоставить в информационный пункт его координаты. Стоит подчеркнуть, что анализируемая технология может решать и ряд других задач, связанных с оценкой влияния добычи полезных ископаемых на экологию. Это достигается ввиду наличия у данных систем неоспоримых преимуществ относительно иных, существующих на сегодняшний день, беспроводных и проводных систем [5].

Преимущества использования беспроводных сенсорных сетей:

- возможность установки датчиков на уже существующий и эксплуатирующийся объект без дополнительных работ по прокладке проводной сети;
- низкая стоимость отдельного элемента контроля;
- низкая стоимость монтажа, пуско-наладки и технического обслуживания системы;

- минимальные ограничения по размещению беспроводных устройств;
- высокая отказоустойчивость сенсорной сети в целом.

По результатам работы данной системы могут быть получены уникальные данные, позволяющие производить незамедлительный анализ возможных последствий в аспекте влияния на живые организмы. Посредством использования описанной системы представляется возможность непрерывного мониторинга влияния опасных веществ и своевременного спасения растений и животных. Именно беспроводные сенсорные сети являются инновационным техническим решением проблемы оценки и снижения негативного фактора влияния добычи полезных ископаемых на атмосферу.

Таким образом, основной целью представленной статьи являлось выполнение анализа вопросов, касающихся возможности использования цифровых средств для анализа и противодействия влияния добычи полезных ископаемых на климат. В рамках статьи были более подробно рассмотрены такие ключевые вопросы, как: актуальность добычи полезных ископаемых и их влияния на климат; необходимость модернизации системы мониторинга и анализа влияния процессов добычи ископаемых на климат; актуальность и эффективность использования распределенных сенсорных сетей для решения описанных задач. В заключение необходимо отметить, что использование описанных систем позволит модернизировать систему оценки анализа и влияния негативных факторов на атмосферу, вследствие чего появится возможность снижения влияния добычи полезных ископаемых на климат и живые организмы.

#### **Библиографический список**

1. Калиева К.Б., Ишкенов Б.Т. Воздействие на окружающую среду открытых горных разработок // Инновационная наука. 2017.
2. Никитин А. И., Абрамов М. К. Использование системы ГИС в экологии // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2019.
3. Мешалкин В.П., Панарин В.М., Маслова А.А. Нейронные сети в автоматизированной системе мониторинга состояния окружающей среды // Sciences of Europe. 2020.
4. Городнова Н.В. Применение искусственного интеллекта в проектах «Smart-экология» // Дискуссия. 2021.
5. Газя Г.В., Еськов В.В., Стратан Н.Ф., Салимова Ю.В., Игнатенко Ю.С. Использование искусственных нейронных сетей в промышленной экологии // ВНМТ. 2021.

УДК 004

### **РАЗРАБОТКА ПРОГНОЗНОЙ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ВРЕМЕНИ РАЗМОРОЗКИ ЖЕЛЕЗНОРУДНОГО СЫРЬЯ**

**Кольчурина М.А.**

*ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»  
г. Новокузнецк, Россия, kolchurina.masha@yandex.ru*

***Аннотация.** В работе приведено обоснование необходимости разработки модели для оценки времени размораживания сырья, произведена предварительная обработка данных, оценены наиболее влияющие параметры сырья на время разморозки, построена модель линейной регрессии и произведена ее оценка.*

***Ключевые слова:** регрессия, предварительная обработка данных, модель, моделирование.*

***Abstract.** The paper substantiates the need to develop a model for estimating the time of defrosting of raw materials, preliminary data processing is performed, the most influential parameters of raw materials on the defrosting time are estimated, a linear regression model is constructed and its evaluation is performed.*

***Keywords:** regression, data preprocessing, model, modeling.*



Одной из наиболее перспективных задач управления предприятием является задача повышения эффективности работы. Решение данной задачи возможно разными путями, такими как изменение технологий и модернизация производства, реализация организационных преобразований, внедрения информационных технологий в процессы, которые позволяют сократить потери всех видов и тем самым повысить показатели эффективности работы. Например, при принятии управленческих решений, касающихся организации производства, разработки новых методов работы используются модели, описывающие объект управления и протекающие в нем процессы или явления [1].

В работе было произведено создание модели процесса размораживания железно-рудного сырья. Целью моделирования выступала необходимость оценки времени, требуемого для разогрева каждого из вагонов, поступающих на производственную площадку, для дальнейшей оптимизации работы гаражей размораживания и решения таких проблем, как излишний расход топлива при продолжении нагрева уже разогретого сырья и дополнительные расходы времени и ресурсов на ручную зачистку вагонов от остатков замерзшей руды при недостаточном времени выдержки вагона в тепле. Актуальность работы была обусловлена отсутствием в настоящее время ресурса для точной оценки времени разогрева вагона исходя из характеристик полученного сырья – время выдержки определялось оператором на основе профессионального опыта и субъективной оценки температуры замерзшего сырья, что не позволяло обеспечить оптимальное время выдержки. В результате на предприятии возникали простои производства в пределах 30-360 минут, что влекло за собой снижение объемов выпуска продукции, а также потери ресурсов на нагрев гаражей.

В качестве исходных данных для моделирования были использованы исторические данные о протекании процессов размораживания, такие как температура в гаражах разморозки, которая измерялась в четырех точках по площади гаража, температура и влажность окружающей среды, источник сырья и расстояние транспортировки, время пребывания вагона в гараже и статус вагона (разморожен или не разморожен). Всего для обработки было получено более 13000 записей.

Перед началом моделирования данные были подвергнуты предварительной обработке. Так как время разморозки, являющееся целевой переменной, не было задано изначально, то был создан дополнительный столбец с данными, полученный по результатам вычитания времени начала разогрева из времени вывода вагона из гаража. Были заполнены пропуски в данных, удалены выбросы, которыми признавались записи, содержащие в себе сведения о разогреве длительностью более пяти часов, так как на основании знаний организации максимальная длительность разогрева не может превышать этого времени и данные о времени разогрева были введены с ошибкой. Также категориальные данные были закодированы для упрощения их обработки.

После проведения предварительной обработки данных было произведено моделирование с использованием программного продукта `knime`. Так как целью создания модели было прогнозирование непрерывной переменной, то для оценки зависимостей переменных был использован метод линейной регрессии, при использовании которой определяется весовой коэффициент влияния каждой из входных переменных на выходную [2]. Данный алгоритм достаточно прост в реализации, однако имеет ряд ограничений на использование, в частности, при наличии выбросов продуцируются некорректные предсказания, также не рекомендуется использование модели при наличии между факторами сильной взаимосвязи. В рассматриваемом случае коэффициенты корреляции между признаками не превышали по модулю 0,4 (таблица 1), поэтому использование линейной регрессии было возможным. Стоит отметить, что наибольшее влияние на время разогрева оказывает место происхождения сырья, так как сырье из разных источников обладает разным химическим составом, крупностью и влажностью, а также отличается по времени пребывания в пути от места загрузки до места выгрузки. Минимальное влияние оказывает число вагонов, но это обусловлено тем, что в выборке присутствовали записи с минимальным раз-

бросом по числу вагонов в составе – во всех случаях данные содержали сведения о 7-9 вагонах.

Таблица 1 – Коэффициенты парной корреляции параметров

Параметр	Время разогрева
№ гаража	0.02
Код сырья	-0.34
Число вагонов	0.01
Влажность сырья	-0.12
Содержание алюминия	0.16
Содержание марганца	0.05
Крупность	0.07
Температура окружающей среды на начало разогрева	0.09
Влажность окружающей среды на начало разогрева	-0.02
Минимальная температура в гараже в цикле разогрева	-0.06
Температура в гараже на момент вывода	0.01
Разность температур внутри гаража в ходе разогрева	0.11
Разность температур внутри гаража в ходе разогрева средняя по сырью	-0.04
Время разогрева	1.000

Для оценки качества полученной модели было принято решение использовать такие метрики, как средняя квадратическая ошибка (MSE) и коэффициент детерминации ( $R^2$ ).

Средняя квадратическая ошибка – это оценка квадрата отклонения прогнозного значения выходной переменной от фактического в среднем по выборке. Формула расчета представлена в формуле 1:

$$MSE = \frac{1}{N} * \sum_{i=1}^N (y_{\phi} - y_{\pi})^2 \quad (1)$$

где N – число записей в выборке;

$y_{\phi}$  – фактическое значение целевого параметра;

$y_{\pi}$  – предсказанное моделью значение целевого параметра.

Коэффициент детерминации ( $R^2$ ) позволяет оценить, насколько моделью оценивается изменчивость в данных. Для оценки коэффициента детерминации возможно использование формулы 2:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (y_{\phi} - y_{\pi})^2}{\sum_{i=1}^N (y_{\phi} - \bar{y})^2} \quad (2)$$

где  $\bar{y}$  – среднее из фактического значения целевой переменной [3].

Коэффициент детерминации может принимать значения от 0 до 1. Чем ближе полученная безразмерная величина к 1, тем более точно моделью учитываются изменения в данных. При решении задач регрессии приемлемыми считаются значения от 0,5 и выше.

Было произведено несколько процедур по построению моделей. Вначале были использованы сведения в исходном виде, то есть, без введения каких-либо дополнительных косвенных переменных. Было отмечено, что при данном составе переменных точность модели не удовлетворяет требованиям: коэффициент детерминации был равен 0,3 при минимально допустимом 0,5, а средняя квадратическая ошибка составила около 40 минут, то есть, полученная модель не позволяла предсказывать время разогрева.

Для улучшения качества модели были введены дополнительные переменные, такие как средняя разность между минимальной и максимальной температурой внутри гаража одного цикла разогрева по каждому из видов сырья, средняя разность между начальной температурой внутри гаража и максимальной температурой внутри гаража одного цикла разогрева по каждому из видов сырья. При добавлении новых переменных удалось повысить точность модели: по результатам оценки, коэффициент детерминации был равен 0,7, а средняя квадратическая ошибка составила около 13 минут, что является приемлемым для решаемой задачи. В таблице 2 представлены коэффициенты модели регрессии.

Полученная модель в дальнейшем была использована при разработке программного продукта, позволяющего оценить время выдержки вагона при различных характеристиках сырья.

Таблица 2 – Коэффициенты модели регрессии

	<i>Коэффициенты</i>
У-пересечение	189.38
Число вагонов	0.12
Содержание алюминия	17.10
Содержание марганца	-12.78
№ секции	3.32
Температура окружающей среды на начало разогрева	-6.56
Влажность окружающей среды на начало разогрева	-0.24
Крупность	-0.08
Разность температур внутри гаража в ходе разогрева	-0.36
Разность температур внутри гаража в ходе разогрева средняя по сырью	2.22
Код сырья	-28.59

#### Библиографический список

1. Моделирование процессов и систем : учебник и практикум для вузов / Е. В. Стельмашонок, В. Л. Стельмашонок, Л. А. Еникеева, С. А. Соколовская ; под редакцией Е. В. Стельмашонок. – Москва : Издательство Юрайт, 2022. – 289 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-04653-3. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/489931>
2. Иванов, И. С. Линейная регрессия как метод восстановления и ретроспективного прогноза временных рядов геоиндуцированных токов / И. С. Иванов // E-Scio. – 2021. – № 7(58). – С. 296-300
3. Копотева, А. В. Модели машинного обучения в задаче прогнозирования природно-ресурсного потенциала Пермского края / А. В. Копотева, А. А. Максимов, Н. А. Сиротина // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2021. – Т. 21. – № 4. – С. 126-136. – DOI 10.14529/ctcr210411

**ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ АЛГОРИТМЫ ПАЛЕОМАГНИТНОЙ ДИАГНОСТИКИ В СЛУЧАЕ БИМОДАЛЬНОЙ ВЫБОРКИ****Белоусова О.Н.<sup>1</sup>, Зеркаль С.М.<sup>2</sup>**<sup>1</sup>*Санкт-Петербургский государственный технологический институт**(технический университет)**г. Санкт-Петербург, Россия, onb@ngs.ru*<sup>2</sup>*Новосибирский государственный технический университет**г. Новосибирск, Россия, zerkal@ngs.ru*

**Аннотация.** Рассмотрены три различных вычислительных алгоритма палеомагнитной диагностики при бимодальной выборке палеомагнитной коллекции. Выполнены численные эксперименты на их основе для реальных и синтезированных бимодальных коллекций векторов остаточной палеомагнитности. Показана возможность исследования таких выборок и определения их основных параметров.

**Ключевые слова:** палеомагнитная диагностика, вычислительный алгоритм, бимодальная выборка.

**Abstract.** Three different computational algorithms for paleomagnetic diagnostics with a bimodal sample of a paleomagnetic collection are considered. Numerical experiments based on them are performed for real and synthesized bimodal samples. The possibility of studying such samples and determining their main parameters is shown.

**Keywords:** paleomagnetic diagnostics, computational algorithm, bimodal sampling.

Палеомагнитология изучает так называемую первичную остаточную намагниченность, возникшую в ту геологическую эпоху, в которую образовывалась изучаемая горная порода. Основным геофизическим фактором в образовании остаточной намагниченности служит магнитное поле Земли, рассматриваемое ниже в палеомагнитном аспекте [2, 4]. Данные, используемые в палеомагнитной диагностике, снимаются со специально отобранных образцов геологических пород. В результате в пункте отбора определяется наклонение и склонение древнего магнитного поля Земли. Измерения дублируются на ряде образцов, на которых определяется среднее направление. Таким образом, обработка палеомагнитных данных приводит к изучению статистики направлений в трехмерном пространстве. В общем случае рассматривается суперпозиция нескольких совокупностей векторов. Полагая исследуемые вектора единичными, приходим к статистике единичных векторов или точек поверхности единичной сферы, т.е. концов единичных векторов [1, 3, 5]. Каждая совокупность характеризуется средним направлением и разбросом вокруг среднего направления, т.е. некоторым распределением направлений в пространстве.

В данной работе рассматривается палеомагнитная коллекция, для которой проверяется гипотеза принадлежности данной коллекции векторов остаточной палеомагнитности к бимодальной выборке и оцениваются основные палеомагнитные характеристики бимодального распределения, при этом рассматривается система нелинейных уравнений, как результат сведения к ней задачи минимизации функционала. Известно, что задача минимизации функции и решение системы уравнений сводятся друг к другу и существует ряд ставших уже классическими методов, позволяющих строить решение таких задач [1, 5]. Ниже приводится описание и численное исследование нашей задачи следующими методами: метод Ньютона, метод дихотомии и метод Нелдера-Мида.

**Метод Ньютона** – часто используемый итерационный метод решения нелинейных уравнений. В его основе заложено использование пошагового приближения к решению, причем шаг ( $h$ ) вычисляется как отношение значения функции ( $f(c_{k-1})$ ) к значению производной ( $f'(c_{k-1})$ ) в данной точке:  $c_k = c_{k-1} - h$ ,  $h = f(c_{k-1})/f'(c_{k-1})$ , где  $c_k$  – решение уравнения на  $k$ -ом шаге,  $c_{k-1}$  – решение уравнения на  $k-1$ -ом шаге. При этом необходимо задание начального значения –  $c_0$ . Многомерная минимизация с применением этого метода строится на вычислении решения по каждой переменной многомерного функционала, а затем

последующее приближение с использованием вычисленных параметров. Поскольку для используемых производных имеются аналитические выражения, то численная реализация алгоритма, основанного на методе Ньютона, при программировании особенных трудностей не составило.

*Метод Нелдера-Мида* относится к методам минимизации без ограничений, не использующих производные (методы поиска). В нем производится поиск по деформируемому многограннику. Строится он на основе симплексного метода. В этом методе минимизируется функция  $n$  независимых переменных с использованием  $n + 1$  вершин деформируемого многогранника в  $E^n$ . Каждая вершина может быть идентифицирована как вектор  $X$ . Вершина (точка) в  $E^n$ , в которой значение  $f(X)$  максимально, проектируется через центр тяжести (центроид) оставшихся вершин. Улучшенные (более низкие) значения целевой функции находятся последовательной заменой точки с максимальным значением  $f(X)$  на более «хорошие» точки, пока не будет найден  $\min(f(X))$ . В качестве целевой функции, описывающей бимодальную выборку, положим  $f(X) = f(\alpha, k_1, \theta_1, \varphi_1, k_2, \theta_2, \varphi_2)$ ,

где вектор  $X = \{\alpha, k_1, \theta_1, \varphi_1, k_2, \theta_2, \varphi_2\} \equiv X = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7\}$  определяемых параметров состоит из:  $x_1 \equiv \alpha = m_1 / (m_1 + m_2)$ ,  $m_1$  – количество векторов в первой моде выборки;  $m_2$  – количество векторов во второй моде выборки;  $x_2 \equiv k_1$  – кучность векторов в первой моде выборки;  $x_3 \equiv \theta_1$  – склонение среднего вектора остаточной намагниченности в правосторонней системе координат первой моды выборки;  $x_4 \equiv \varphi_1$  – наклонение среднего вектора остаточной намагниченности в правосторонней системе координат первой моды выборки;  $x_5 \equiv k_2$  – кучность векторов во второй моде выборки;  $x_6 \equiv \theta_2$  – склонение среднего вектора остаточной намагниченности в правосторонней системе координат второй моды выборки;  $x_7 \equiv \varphi_2$  – наклонение среднего вектора остаточной намагниченности в правосторонней системе координат второй моды выборки. Пусть  $x_i^{(k)} = [x_{i1}^{(k)}, \dots, x_{ij}^{(k)}, \dots, x_{in}^{(k)}]^T$ ,  $i = 0, \dots, n$  является  $i$ -й вершиной (точкой) в  $E^n$  на  $k$ -м этапе поиска,  $k = 0, 1, \dots$  и пусть значение целевой функции в  $x_i^{(k)}$  равно  $f(x_i^{(k)})$ . Кроме того, отметим те векторы  $X$  многогранника, которые дают  $\max$  и  $\min$  значение  $f(x)$ . Определим  $f(x_n^{(k)}) = \max \{f(x_0^{(k)}), \dots, f(x_n^{(k)})\}$ , где  $x_n^{(k)} = x_i^{(k)}$ ,  $f(x_l^{(k)}) = \max \{f(x_0^{(k)}), \dots, f(x_n^{(k)})\}$ , где  $x_l^{(k)} = x_i^{(k)}$ . Поскольку многогранник в  $E^n$  состоит из  $n + 1$  вершин  $x_0, \dots, x_n$ , пусть  $x_{n+1}$  будет центром тяжести всех вершин, исключая  $x_n$ . Тогда координаты этого центра тяжести определяется форму-

лой:  $x_{n+2,j}^{(k)} = \frac{1}{n} [(\sum_{i=0}^n x_{ij}^{(k)}) - x_{hj}^{(k)}]$ ,  $j = 1, \dots, n$ . Начальный многогранник обычно выбирается в виде регулярного симплекса с точкой 0 в качестве начала координат. Процедура отыскания вершины в  $E^n$ , в которой  $f(X)$  имеет лучшее значение, состоит из: отражение; растяжение; сжатие; редукция. Критерий окончания поиска – проверка условия

$$\left\{ \frac{1}{n+1} (\sum_{i=0}^n [f(x_i^{(k)}) - f(x_{n+1}^{(k)})]^2) \right\}^{1/2} \leq \varepsilon$$

, где  $\varepsilon$  – произвольное малое число,  $f(x_{n+1}^{(k)})$  – значение целевой функции в центре тяжести  $x_{n+1}^{(k)}$ .

*Метод дихотомии.* Если из априорной информации известно, что выборка векторов остаточной намагниченности имеет вид бимодальной, то необходимо оценить ее основные палеомагнитные характеристики. Таких характеристик семь:  $D_1, I_1, k_1, D_2, I_2, k_2$  и  $\alpha$ . Решение этой задачи строится на основе минимизации функционала  $\chi^2(\alpha, D_1, I_1, k_1, D_2, I_2, k_2)$ , зная, что этот функционал по любой из этих переменных имеет единственный минимум. Таким образом, задача сводится к отысканию точки, в которой все производные обращаются в нуль (проверка условия выполнения экстремума). Зная аналитический вид этой многомерной функции и ее частных производных, можно найти их корни, которые

одновременно являются корнями уравнения  $f(\alpha, k_1, \theta_1, \varphi_1, k_2, \theta_2, \varphi_2)$ . Для этого необходимо задать начальные параметры  $\{x_1^0, x_2^0, x_3^0, x_4^0, x_5^0, x_6^0, x_7^0\}$  и интервал изоляции корня  $[a, b]$ . После этого мы делим этот отрезок на  $N$  частей и последовательно проверяем каждую из этих частей на знакопеременность концов ее отрезков. Изолировав, таким образом, отрезок, которому принадлежит корень уравнения, применяем на нем метод дихотомии. Найдя все семь неизвестных параметров  $\{x_1^*, x_2^*, x_3^*, x_4^*, x_5^*, x_6^*, x_7^*\}$ , подставляем их в основную функцию, заменяя ими начальные параметры. При этом мы рассчитываем

$$\delta_j = \frac{|x_{ij}^* - x_{ij}^0|}{x_{ij}^*} * 100\%$$

, где  $i$  - номер искомого параметра,  $j$  - номер итерации. Вычисления прекращаются, если  $\delta_j$  удовлетворяет заданной точности. Зная частные производные по каждой переменной, с помощью метода дихотомии отыщем  $f(x_1, \dots, x_7)$  отдельно по каждой переменной  $x_i, i = 1, \dots, 7$ . Таким образом, мы сводим многомерную минимизацию к одномерной. Если ищется минимум  $A$  функции  $F(x_1, \dots, x_7)$  в области  $\varphi_i(x_1, \dots, x_7) \geq 0, i = 1, \dots, l, \psi_j(x_1, \dots, x_7) = 0, j = 1, \dots, q$ . При этом можно записать равенство:  $A =$

$$\min_{x_1, \dots, x_7} F(x_1, \dots, x_7) = \min_{x_7} F_7(x_7) \quad F_7(x_7) = \min_{x_1, \dots, x_6} F(x_1, \dots, x_7)$$

, где ; минимум берется каждый раз по области определения минимизируемой функции. Таким образом, исходная задача минимизации функции семи переменных свелась к минимизации функции одной переменной, каждое значение которой определяется минимизацией функции шести переменных. В свою очередь минимизацию функции  $F(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7)$  сведем к минимизации функции одной переменной, каждое значение которой определяется минимизацией

$$F^* = \min_{x_7} F_7(x_7)$$

функции от пяти переменных и т.д. Получим цепочку соотношений

$$F_7(x_7) = \min_{x_6} F_6(x_6, x_7) \quad F_2(x_2, \dots, x_7) = \min_{x_1} F_1(x_1, \dots, x_7)$$

, .....  
**Результаты численных исследований для бимодальной выборки.** На рисунке 1 приведены проекция бимодального распределения на плоскость  $x$ - $y$  и разрез по линии А-В, на котором отчетливо видно, что у распределения два максимума, то есть оно – бимодально. На рисунке 2 приведены численные результаты дифференциации бимодальной выборки. Как следует из графиков сходимости итерационного процесса, диагностика ожидаемой бимодальности достигнута.

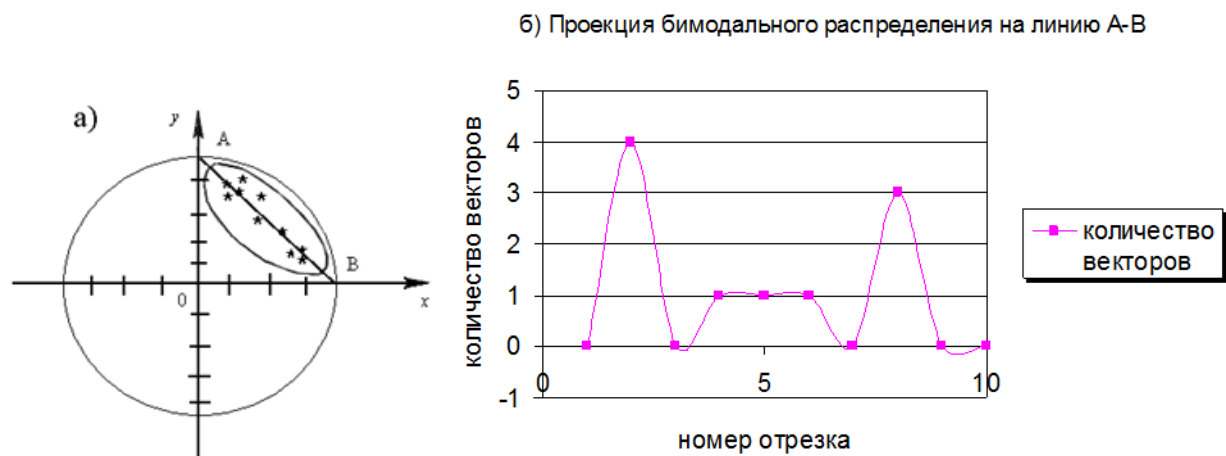


Рисунок 1 – а) проекция векторов остаточной намагниченности на плоскость  $x$ - $y$ ; б) проекция бимодального распределения векторов остаточной намагниченности на линию А-В

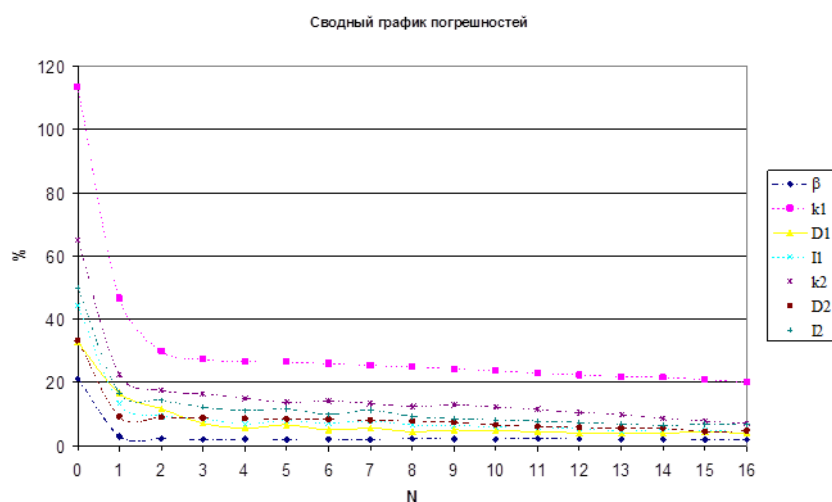


Рисунок 2 – Сводный график погрешностей для синтезированной бимодальной выборки в зависимости от шага итерации

### Библиографический список

1. Белоусова О.Н., Зеркаль С.М., Казанский А.Ю. Палеомагнитная диагностика: задачи и их численное исследование. Вопросы устойчивого и бескризисного развития. Новосибирск, НГУ. № 2, т.2. 2000. С. 51-67.
2. Геодинамика и эволюция Земли. /под редакцией чл.-корр. А.В. Каныгина. Новосибирск. СО РАН. НИЦ ОИГГМ. 1996. 252 с.
3. Девис Дж. Статистический анализ данных в геологии. М.: Недра, 1990. Кн.1. 320 с. Кн.2. 428 с.
4. Метелкин Д.В., Казанский А.Ю. Геотектоника и геодинамика: основы магнитотектоники. М.: Юрайт, 2022. 126 с.
5. Fisher R.A. Dispersion on a sphere. Proceeding Royal Society. London, A, 217, 1953, pp. 295-305.

УДК 519.71

## ВЛИЯНИЕ ШАГА ДИСКРЕТИЗАЦИИ НА ТОЧНОСТЬ ИДЕНТИФИКАЦИИ МУЛЬТИСИНУСОИДАЛЬНЫХ СИГНАЛОВ

Новосельцева М.А., Гутова С.Г.

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»  
г. Кемерово, Россия, [tan300674@gmail.com](mailto:tan300674@gmail.com)

**Аннотация.** Исследуется влияние шага дискретизации на точность моделирования мультисинусоидальных сигналов. Большинство существующих подходов подчеркивают отсутствие возможности взаимно однозначного восстановления сигналов с непрерывным временем из их оцифрованных значений без дополнительной априорной информации. Однако в работе предложен подход, позволяющий связать воедино метод структурно-параметрической идентификации мультисинусоидальных сигналов и установление взаимно однозначного соответствия между непрерывной и дискретной моделями сигнала.

**Ключевые слова:** шаг дискретизации, мультисинусоидальный сигнал, передаточная функция, z-преобразование, условие структурно-параметрической идентифицируемости.

**Abstract.** *The influence of the discretization step on the accuracy of modeling multisinusoidal signals is investigated. Most of the existing approaches emphasize the absence of the possibility of one-to-one reconstruction of continuous-time signals from their digitized values without additional a priori information. However, the paper proposes an approach that allows linking together the method of structural-parametric identification of multisinusoidal signals and the establishment of a one-to-one correspondence between continuous and discrete signal models.*

**Keywords:** *discretization step, multisinusoidal signal, transfer function; z-transform; structural-parametric identifiability condition.*

В прикладных исследованиях и при решении практических задач моделирования особый интерес представляет задача получения информации о структуре и свойствах непрерывного мультисинусоидального сигнала по имеющейся цифровой информации о его значениях в дискретные моменты времени. При проведении дискретизации мультисинусоидальных сигналов часть информации о них может теряться. Как известно, шаг дискретизации тесно связан с полосой частот, в которой находится анализируемый сигнал. При наличии цифровой измерительной информации может возникнуть неопределенность, приводящая к эффектам искажения частот мультисинусоидального сигнала и, как следствие, к замещению его модели. Проблематика установления взаимно однозначного соответствия между непрерывной и дискретной моделями сигналов в зависимости от изменения шага дискретизации является актуальной современной проблемой.

Пусть модель мультисинусоидального сигнала имеет следующий вид

$$x(t) = \sum_{i=1}^n C_i \sin(\omega_i t + \varphi_i), \quad (1)$$

то есть представляет собой сумму  $n$  гармоник с неизвестными частотами  $\omega_i$ , амплитудами  $C_i$ , начальными фазами  $\varphi_i$ . При практическом анализе начальные фазы  $\varphi_i$  часто игнорируются [1-2]. Оцифрованные значения сигнала с равномерным шагом дискретизации  $\Delta t$  для  $k = 0, 1, 2, \dots$  определяются измерительной информацией

$$x(k\Delta t) = \sum_{i=1}^n C_i \sin(\omega_i k\Delta t). \quad (2)$$

В дальнейшем требуется оценить, в какой мере процессы дискретизации влияют на полноту информации о непрерывном мультисинусоидальном сигнале и на построение его модели. В литературе подчеркивается неинвариантность дискретной и непрерывной информации, приводится много различных практических рекомендаций по выбору шага дискретизации  $\Delta t$  [3-6], что не решает данной проблемы, а еще больше затрудняет ее. Заметим, что в данной работе не рассматривается взаимосвязь с теоремой Шеннона-Котельникова [7], так как основным объектом исследования в ней является непрерывный сигнал.

Для проведения дальнейших исследований по влиянию процессов дискретизации рассмотрим метод структурно-параметрической идентификации мультисинусоидального сигнала [2, 8], основанный на аппарате теории непрерывных дробей [9].

Мультисинусоидальный сигнал (2) представляется как реакция на импульсное воздействие некоторого линейного объекта-идентификатора, непрерывная передаточная функция (НПФ) которого имеет вид:

$$G(s) = \sum_{i=1}^n C_i \frac{\omega_i}{s^2 + \omega_i^2}, \quad (3)$$

где  $s$  – переменная преобразования Лапласа.



Оцифрованные значения сигнала (2), начиная с  $x(\Delta t)$ , используются для расчета матрицы-идентификатора, причем значения ее элементов определяются расчетным путем по формуле:

$$\alpha_{lk} = \frac{\alpha_{l-2,k+1}}{\alpha_{l-2,1}} - \frac{\alpha_{l-1,k+1}}{\alpha_{l-1,1}}, \quad (4)$$

а сама матрица имеет вид:

1	0	0	...	0	...
$x(\Delta t)$	$x(2\Delta t)$	$x(3\Delta t)$	...	$x(n\Delta t)$	...
$\alpha_{21}$	$\alpha_{22}$	$\alpha_{23}$	...	$\alpha_{2k}$	...
$\alpha_{31}$	$\alpha_{32}$	$\alpha_{33}$	...	$\alpha_{3k}$	...
...	...	...	...	...	...

где  $l = 3, 4, \dots$ ;  $k = 1, 2, \dots$ . Расчет по формуле (4) прекращается с возникновением строки с  $\alpha_{lk} = 0$ . По расположению такой нулевой строки определяют число гармоник мультисинусоидального сигнала (2):

$$n = \frac{m-2}{4}, \quad (5)$$

где  $m$  – номер нулевой строки.

Если величина  $(m-2)$  не кратна четырем, то идентифицируемый сигнал не может быть представлен в виде (2) [2, 8].

Дискретная передаточная функция (ДПФ) объекта-идентификатора [2, 8] аппроксимируется непрерывной правильной  $C$ -дробью [9]

$$G(z) = \frac{x(\Delta t)z^{-1}}{1 + \frac{\alpha_{21}z^{-1}}{1 + \frac{\alpha_{31}(0)z^{-1}}{1 + \dots}}}, \quad (6)$$

здесь  $z$  – переменная  $z$ -преобразования.

Далее приступают к нахождению параметров мультисинусоидального сигнала (2). Круговые частоты  $\omega_i$  находят по формуле:

$$\omega_i = \frac{1}{\Delta t} \arg(z_i), \quad (7)$$

где  $z_i = u_i \pm jv_i$  – полюса ДПФ (6).

Амплитуды  $C_i$  находятся как решение системы из  $n$  линейных алгебраических уравнений:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n C_i \sin(\omega_i \Delta t) = x(\Delta t) \\ \dots \\ \sum_{i=1}^n C_i \sin(\omega_i n \Delta t) = x(n \Delta t) \end{cases} \quad (8)$$

Рассмотрим, как влияет выбор величины шага дискретизации  $\Delta t$  на структуру и параметры модели мультисинусоидального сигнала, то есть на взаимно однозначное соответствие между НПФ и ДПФ объекта-идентификатора.

Представим НПФ объекта-идентификатора в модальной форме:

$$G(s) = K \cdot \prod_{i=1}^m (s - s_i^0) / \prod_{i=1}^n (s - s_i) , \quad (9)$$

где  $s_1^0, s_2^0, \dots, s_m^0$  – нули НПФ;  
 $s_1, s_2, \dots, s_n$  – полюса НПФ;  
 $K$  – коэффициент усиления;  
 $m$  и  $n$  – целые положительные числа ( $m \leq n$ ).

Тогда ДПФ представляется в модальной форме

$$G(z) = k \cdot \prod_{i=1}^m (z - z_i^0) / \prod_{i=1}^n (z - z_i) , \quad (10)$$

где  $z_1^0, z_2^0, \dots, z_m^0$  – нули НПФ;  
 $z_1, z_2, \dots, z_n$  – полюса НПФ;  
 $k$  – подбирается так, чтобы совпадали установившиеся режимы в непрерывном и дискретном случаях.

Для получения из (9) конечной модели (10) предлагается заменить производные в соответствующем (9) дифференциальном уравнении конечными разностями. Это соответствует замене переменной  $s$  преобразования Лапласа на прямые или обратные разности Эйлера, либо использованию преобразования Тастина [10]. При применении этих формул сохраняется дробно-рациональное представление передаточной функции. Но нужная точность моделирования достигается только при малых шагах дискретизации. Это существенно снижает ценность таких моделей.

Более совершенным и рациональным является подход, разработанный Дж. М. Смитом [10] и основанный на использовании согласованного  $z$ -преобразования:

$$z = e^{s\Delta t} . \quad (11)$$

Формула (11) связывает точки  $s$ -плоскости переменной преобразования Лапласа с точками  $z$ -плоскости. Набор характеристических точек НПФ (9) на аналогичный набор для ДПФ (10), количество которых одинаково. Эффективность данного перехода ранее была изучена в [9].

Преобразование (11) представляет собой периодическую функцию, которая отображает основную полосу  $(-j\pi/\Delta t, +j\pi/\Delta t)$  в  $s$ -плоскости на всю  $z$ -плоскость с разрезом вдоль отрицательной вещественной полуоси (рисунок 1).

Все дополнительные полосы отображаются в аналогичную  $z$ -плоскость. Поэтому для взаимно однозначности отображения необходимо в  $z$ -плоскости рассматривать многолистную (риманову) поверхность, для которой «склеивание» отдельных листов осуществляется вдоль линии разрезов. При отображении основной полосы  $s$ -плоскости в  $z$ -плоскость отметим следующее:

– интервал  $(-j\pi/\Delta t, +j\pi/\Delta t)$  в  $s$ -плоскости отображается на единичную окружность  $EDABC$ ;

– прямые  $y = \pm j\pi/\Delta t$  отображаются на разрез  $(-\infty, 0]$  вещественной оси  $z$ -плоскости;

– точки  $s$ -плоскости с положительной вещественной частью, принадлежащие основной полосе, отображаются во внешность единичного круга  $z$ -плоскости, а точки  $s$ -

плоскости с отрицательной вещественной частью, принадлежащие основной полосе – во внутренность единичного круга в  $z$ -плоскости, что обуславливает устойчивость линейных динамических объектов.

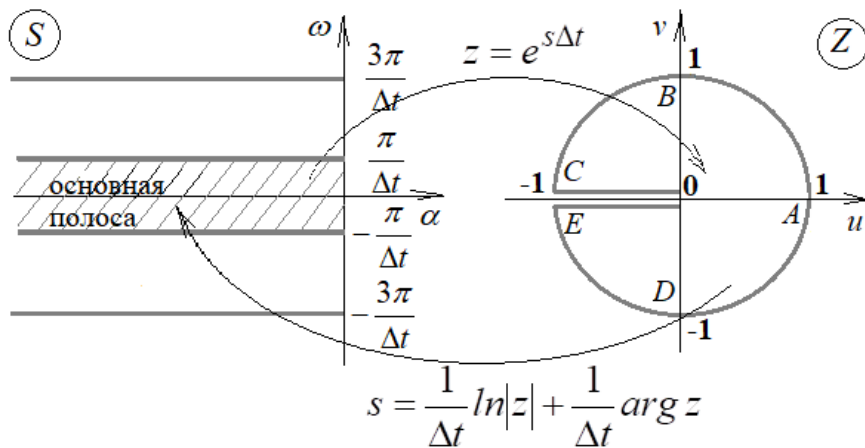


Рисунок 1 – Отображение  $s$ -плоскости в  $z$ -плоскость

Наличие разреза нарушает взаимно однозначное соответствие полуполосы  $s$ -плоскости и круга единичного радиуса  $z$ -плоскости, в связи с тем, что при обратном к  $z = e^{s\Delta t}$  логарифмическом отображении  $z$ -плоскости в  $s$ -плоскость, выраженном формулой [9]

$$s = \frac{1}{\Delta t} \ln|z| + i \frac{1}{\Delta t} \arg z, \quad (12)$$

одной точке на разрезе соответствуют две точки на границе указанной полосы, так как  $\arg z = -\arg z$  [9].

Характерные особенности преобразования  $z = e^{s\Delta t}$  определяются величиной шага дискретизации. Рассмотрим возможные случаи выбора шага  $\Delta t$ .

*Случай 1*

Предположим, что  $\Delta t$  выбран таким образом, что полюса объекта-идентификатора не попали в основную полосу ( $-j\pi/\Delta t, +j\pi/\Delta t$ ). Тогда по оцифрованным значениям мультисинусоидального сигнала  $x(k)$  возможно верно восстановить структуру модели, однако круговые частоты сигнала, определяемые через полюса объекта, будут соответствовать их проекциям в основную полосу. Таким образом, происходит параметрическое замещение параметров модели мультисинусоидального сигнала.

Для получения истинных значений круговых частот мультисинусоидального сигнала необходимо уменьшить шаг дискретизации  $\Delta t$  до такого значения, при котором полюса объекта-идентификатора попадут в основную полосу.

*Случай 2*

Шаг дискретизации  $\Delta t$  выбран так, что полюса объекта-идентификатора попали на границу основной полосы. Оцифрованные значения сигнала с таким шагом дискретизации не позволят правильно определить ни структуру, ни параметры модели сигнала. Происходит структурно-параметрическое замещение модели (рисунок 2).

Взаимно однозначное соответствие между непрерывной и дискретной моделями мультисинусоидального сигнала возможно установить только при уменьшении шага  $\Delta t$  и только для тех  $\Delta t$ , при которых полюса НПФ объекта-идентификатора попадают в основную полосу  $s$ -плоскости. Это достигается при выполнении соотношения:

$$\Delta t \cdot \max_i \{\omega_1, \dots, \omega_n\} < \pi \quad (13)$$

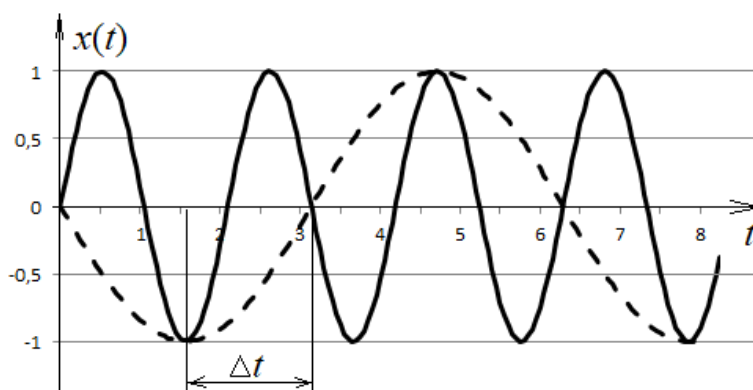


Рисунок 2 – Выбор шага дискретизации, соответствующий попаданию полюса НПФ на границу основной полосы

### Случай 3

Шаг дискретизации  $\Delta t$  соответствует случаю попадания полюсов объекта-идентификатора в основную полосу  $(-j\pi/\Delta t, +j\pi/\Delta t)$ . Структурно-параметрическое соответствие между НПФ и ДПФ объекта-идентификатора установлено, что обеспечивает адекватное восстановление модели мультисинусоидального сигнала.

### Случай 4

Шаг дискретизации  $\Delta t \rightarrow 0$ . Измерения мультисинусоидального сигнала осуществляются часто, но за очень короткий промежуток времени, и не охватывают всю полосу его частот. Как показано на рисунке 3, все полюса объекта-идентификатора в  $z$ -плоскости при  $\Delta t \rightarrow 0$  стремятся к точке  $(1, 0)$ , то есть попадают в  $\varepsilon$ -окрестность точки  $(1, 0)$  и становятся неразличимы с некоторой заданной погрешностью  $\varepsilon$ . Происходит структурно-параметрическое замещение модели сигнала.

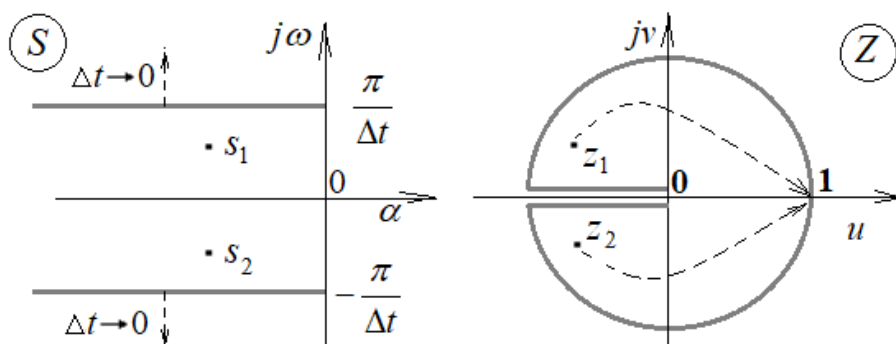


Рисунок 3 – Перемещение полюсов в  $z$ -плоскости при уменьшении  $\Delta t$

Пусть  $s_{\max}$  – полюс НПФ объекта-идентификатора, который соответствует полюсу ДПФ, находящемуся на максимальном расстоянии от точки  $(1, 0)$  в  $z$ -плоскости. Полюсу  $s_{\max}$  соответствует некоторая круговая частота мультисинусоидального сигнала, обозначим ее за  $\omega_{\max}$ . Оценив расстояние от точки  $(1, 0)$  до этого полюса, получим:

$$\Delta t < \frac{\ln(1 + \varepsilon)}{\omega_{\max}} \quad (14)$$

То есть, задав некоторую  $\varepsilon$ -окрестность точки  $(1, 0)$ , можно оценить шаг дискретизации  $\Delta t$ , при котором все полюса объекта-идентификатора в  $z$ -плоскости становятся неразличимы с заданной погрешностью  $\varepsilon$ . Последнее соответствует неразличимости круговых частот у гармоник сигнала, что приводит к структурно-параметрическому замещению модели мультисинусоидального сигнала.

Подводя итог выше сказанному, можно сделать вывод. Установить взаимно однозначное соответствие между непрерывной и дискретной моделями мультисинусоидального сигнала возможно только для тех  $\Delta t$ , при которых выполняется условие (13).

При проведении практических исследований, когда отсутствует априорная информация о структуре и параметрах мультисинусоидального сигнала, следует воспользоваться разработанным В. Я. Карташовым достаточным условием структурно-параметрической идентифицируемости [9] динамических объектов. Адаптируя данное условие для случая структурно-параметрической идентификации мультисинусоидального сигнала, получим: восстановить структуру и параметры мультисинусоидального сигнала возможно только при изменении шага дискретизации, что позволяет выделить основную полосу в  $s$ -плоскости, покрывающую полюса НПФ объекта-идентификатора. Последнее осуществляется на основе применения принципа вариации шага дискретизации с децимацией оцифрованных значений мультисинусоидального сигнала. Если полюса объекта-идентификатора и, как следствие, круговые частоты сигнала, полученные до и после децимации, совпадают, то можно утверждать, что математическая модель мультисинусоидального сигнала восстановлена достоверно. В противном случае необходимо уменьшить исходный шаг дискретизации цифровых средств измерения и вернуться к начальному этапу идентификации сигнала, то есть к построению матрицы-идентификатора.

#### Библиографический список

1. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных процессов. М.: Мир, 1989. – 540 с.
2. Новосельцева М.А. Использование правильных С-дробей для анализа многочастотных сигналов, содержащих скрытые периодичности // Управление большими системами: сборник трудов. – 2013. – № 41. – С. 93-112.
3. Vaidyanathan P.P., Tenneti S. When Does Periodicity in Discrete-Time Imply that in Continuous-Time? // 2018 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), Calgary, AB. – 2018. – PP. 4544-4548.
4. Guo J., Zhang Y., Huang H., Qiu B., Tan N. Four-Point ZeaD (Zhang et al Discretization) Formula Applied to Output Tracking of Mass-Spring-Damper Mechanical System // 2019 Chinese Control And Decision Conference (CCDC). – Nanchang, China. – 2019. – PP. 5360-5367.
5. Карапетов Г.А. Некоторые аспекты цифрового представления данных // Геофизика. – 2014. – № 1. – С. 68-72.
6. Поздняков А.Д., Калюжный А.А. Восстановление периодического сигнала при несинхронном стробировании методом перестановки отсчетов // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – 2018. – № 3. – С. 39-45.
7. Худяков Г.И. Теорема отсчетов теории сигналов и ее создатели // Радиотехника и электроника. – 2008. – Том 53, №9. – С. 1157-1168.
8. Novoseltseva M.A., Gutova S.G., Kazakevich I.A. Structural and parametric identification of a multisinusoidal signal model by using continued fractions // 2018 International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2018, Sochi. – Sochi, 2018. – P. 8501834.
9. Гутова С.Г., Карташов В.Я. Особенности дискретного моделирования динамических объектов // Вестник Кемеровского государственного университета. – 2010. – № 4(44). – С. 63-67.
10. Smith J.M. Mathematical modeling and digital simulation for engineers and scientists. – Wiley-Interscience; 2 edition, –1987. – 448 p.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОНТРОЛЯ ПРОЕКТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В СФЕРЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Кожевников А.А.

*Новокузнецкий государственный институт усовершенствования врачей – филиал ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Министерства здравоохранения Российской Федерации  
г. Новокузнецк, Россия, nvkz2004@rambler.ru*

**Аннотация.** В статье моделирование процесса контроля проектной деятельностью в сфере дополнительного профессионального медицинского образования рассмотрено с позиции теории управления и системного анализа в рамках параметров исследуемого «проблемного поля». Проведены возможности применения данного подхода при подготовке специалистов в сфере здравоохранения с учётом национальных стандартов, связанных с проектным менеджментом, теорией управления организационными системами. В изложенных выводах содержатся предложения по применению моделирования процесса контроля образовательных услуг для достижения поставленных целей с учётом совокупности устанавливаемых ограничений.

**Ключевые слова:** проектная деятельность, профессиональное медицинское образование, теория управления, моделирование, контроль, стратегическая рефлексия.

**Abstract.** In the article, modeling of the process of monitoring project activities in the field of additional professional medical education is considered from the standpoint of the theory of management and system analysis within the framework of the parameters of the studied «problem field». The possibilities of using this approach in the training of specialists in the field of health care were carried out taking into account national standards related to project management, the theory of organizational systems management. The stated conclusions contain proposals for the use of modeling of the process of monitoring educational services to achieve the set goals, taking into account the set of restrictions.

**Keywords:** project activity, professional medical education, theory management, modeling, control, strategic reflection.

**Актуальность.** Дополнительное профессиональное образование в сфере медицины - постоянно меняющаяся динамическая система, которая зависит от состояния здравоохранения, а также от массива информации, расширяющего пределы «проблемного поля» и от формируемых зон «неопределённости». Поэтому в ходе образовательной деятельности сохраняет актуальность задача обеспечения управляемости данной системой. В настоящее время, указанный подход реализуется в рамках информационных технологий, основу которых образует моделирование, как метод, применяемый при анализе наиболее существенных свойств объектов, процессов и явлений. Степень соответствия описания реальному процессу определяется полнотой учета возмущающих воздействий. При отсутствии или незначительности возмущений, действующих как внутри, так и вне объекта, можно однозначно определить влияние входных и управляющих параметров на выходные [1]. Наряду с этим стремление специалистов медиков к совершенствованию знаний ставит перед образовательным учреждением задачу оптимизации учебного процесса с учётом как отечественных традиций, так и принципов, разработанных и апробированных международным сообществом [2].

**Цель исследования** заключалась в том, чтобы с учётом системного анализа и на основе теории управления сформировать подход к такому методу, как моделирование процесса контроля в сфере дополнительного профессионального медицинского образования, и насколько его использование может способствовать повышению компетенции преподавателей и обучающихся, а также формированию учебных программ и образовательных проектов.

**Методы исследования:** моделирование, включая знаковое моделирование, в том числе с помощью математических методов и соотношений; системный анализ; а также

методы ситуационного и логического анализа проблем управления для постановки и выбора альтернатив решения задач исследования.

Проектная деятельность – это уникальная деятельность, направленная на достижение заранее определенного результата, создание определенного уникального продукта или услуги. В её основе находится проект, который является также уникальным процессом, состоящим из совокупности скоординированных и управляемых видов деятельности с начальной и конечной датами, предпринятый для достижения соответствующей конкретным требованиям цели, включающий ограничения по срокам, стоимости и ресурсам [3].

В первую очередь механизмы проектного управления прослеживаются в рамках реализации национальных, федеральных и региональных проектов, реализуемых с 2018 года во исполнение майского Указа Президента Российской Федерации. Указ Президента РФ от 7 мая 2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года».

Общепринятым является тот факт, что проектная деятельность всегда имеет ряд ограничений, к которым относятся продолжительность проекта; наличие бюджета проекта; наличие ресурсов для проекта; факторы, связанные со здоровьем и безопасностью команды проекта; уровень приемлемого риска в проекте; потенциальные социальные или экологические последствия проекта; законы, нормы и другие законодательные требования, необходимые для реализации проекта [3].

«Проект – целенаправленное, заранее проработанное и запланированное создание или модернизация физических объектов, технологических процессов, технической и организационной документации для них, материальных, финансовых, трудовых и иных ресурсов, а также управленческих решений и мероприятий по их выполнению». Управление проектами – методология (говорят также – искусство) организации, планирования, руководства, координации трудовых, финансовых и материально-технических ресурсов при помощи современных методов, техники и технологии управления для достижения определенных результатов по составу и объему работ, стоимости, времени и качеству. Под объектами управления проектами понимаются проекты, программы и портфели проектов. Субъектами управления проектами являются менеджеры проекта со стороны заказчика и исполнителя, а также команда управления проектом/ команда проекта [4].

Как правило, для решения задач управления проектом создается *контрольно-координирующий орган* - «проектный офис» (Project Office) либо «офис управления проектами» (Project Management Office) с целью формирования, контроля и развития методологии управления проектом, а также для администрирования соответствующей деятельности. *Контроль достижения результатов* проектной деятельности является одной из задач, решаемых в рамках *руководства* проектной деятельности. В частности, регулярное отслеживание проекта руководством проекта предполагает *сравнение* текущего хода исполнения проекта с «базовым планом». Для сравнения используются единые для всей компании показатели. Например, сравниваются отклонения по срокам, бюджету, и анализируется текущая рентабельность проекта и т. п. [5].

*Руководитель* проекта совместно с *офисом управления* должны учредить *систему оценки эффективности работ по проекту* (KPI) и приступить к отслеживанию установленных графиков выполнения работ и соответствия затрат на проект утвержденному бюджету [6]. Наряду с этим им требуется установить последовательность сбора данных через определенные интервалы времени с целью выявления текущего расхождения между фактическими и плановыми показателями.

В ходе исследования механизма управления образовательным процессом установлено, что информационные системы, как одни из форм информационного обеспечения максимально приспособлены для оказания помощи в решении таких задач повседневной управленческой деятельности, как неструктурированные, слабоструктурированные и многокритериальные задачи. В связи с этим их принято делить на такие виды обеспече-

ния, как информационное, модельное и экспертное. Так, информационное обеспечение принятия управленческих решений основано на информационных системах управления и автоматических системах управления, формируемых на цифровых платформах в сети интернет с ведомственной привязкой либо без нее в форме коммерческих проектов. Модельная поддержка решений, как правило, существует на платформе компьютерной автоматизированной системы, например, такой как Decision Support System (DSS), а экспертная - на базе экспертных систем (рисунок 1).

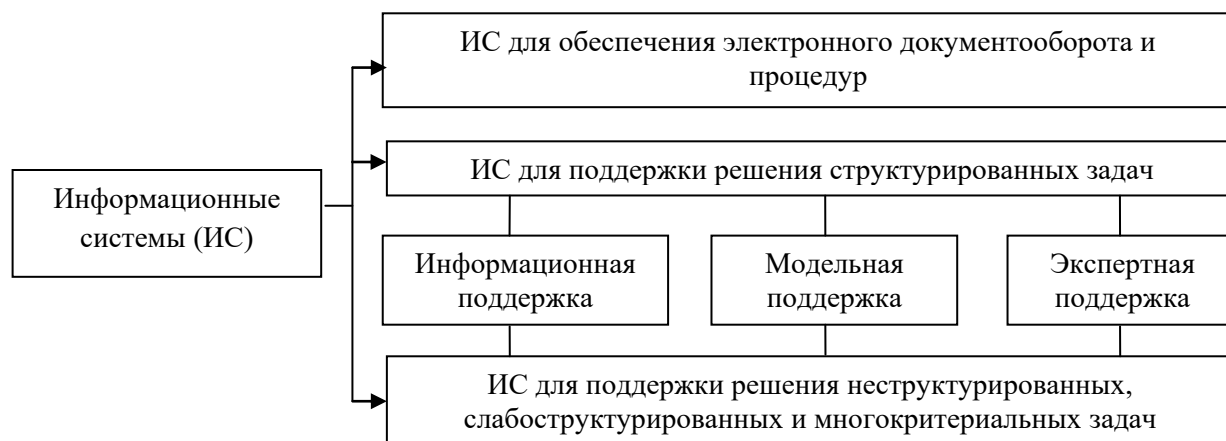


Рисунок 1 – Виды информационных систем

Учитывая изложенное выше, следует более предметно подходить к выбору той системы, которую можно использовать при формировании образовательной проекта либо цикла для того, чтобы спрогнозировать последствия применения процедуры информационного регулирования учебного процесса, включенную в механизм информационного управления. В настоящее время при управлении проектами применяется процессный подход, где процесс – это ряд взаимосвязанных действий и операций, выполняемых для достижения заранее определенных продуктов, результатов или услуг. Это важно не только по причине того, что он рассматривается в качестве совокупности процедур принятия решений, но и данный процесс носит субъективный характер, основываясь на собственных знаниях, опыте и интуиции тех, которые его определяют и реализуют. В таком контексте следует учитывать общие требования, которые предъявляются к процессу выработки, принятия и выполнения управленческих решений. Так, они должны быть четко определенными в зависимости от целеполагания и эффективными [6].

К процессу *контроля в управлении проектами* относятся нижеуказанные термины, которые выбраны из следующих нормативных документов:

#### **ГОСТ ИСО 21500-2014**

**Контроль (control):** *Сравнение фактических показателей выполнения с плановыми показателями, анализ отклонений и осуществление при необходимости соответствующих корректирующих и предупреждающих действий (п. 2.6.);*

**Корректирующее действие (corrective action):** *Указания и действия по изменению способов выполнения работ, нацеленные на приведение показателей выполнения проекта в соответствие с планом (п. 2.7.);*

**Предупреждающие действия (preventive action):** *Предписания и конечные действия, предназначенные для внесения изменений в текущую работу с целью исключения или сокращения потенциальных отклонений от существующего плана работ (п. 2.11.).*



## ГОСТ Р 54869-2011

**Изменение в проекте:** *модификация* утвержденного ранее содержания, сроков, ресурсов в проекте, а также установленных процедур (п. 3.6).

**Контрольное событие проекта:** *существенное событие* проекта, отражающее получение измеримых результатов проекта (п. 3.7). Примечание. *Контрольное событие* в отличие от работ проекта не имеет характеристик длительности и трудоемкости.

**Корректирующее действие:** действие, предпринятое для *устранения* обнаруженного несоответствия плану проекта (п. 3.8).

**Предупреждающее действие:** действие, предпринятое для *снижения* вероятности или последствий отрицательных рисков проекта (3.10.).

**Управление проектом:** планирование, организация и *контроль* трудовых, финансовых и материально-технических ресурсов проекта, направленные на эффективное достижение целей проекта (п. 3.17.).

**Цель контроля** в управлении проектами заключается в повышении общей эффективности их исполнения и в обеспечении выполнения плановых показателей. В п. 4.2.2.5. ГОСТ ИСО 21500-2014 указано, что **процессы контроля** применяют для решения таких задач, как *отслеживание, анализ и регулирование* хода выполнения проекта, а также для *оценки эффективности* исполнения проекта, *выявления* тех областей, в которых требуется применение *корректирующих и предупреждающих действий, формирования запросов* на изменения в проекте (при необходимости) для обеспечения достижения целей проекта. Группы процессов проектного менеджмента обычно воспроизводятся в пределах каждой фазы проекта, способствуя достижению его целей. При этом не все зависимости могут быть применены во всех проектах или фазах. Несмотря на то, что существует связь группы процессов контроля с другими группами, эту группу можно рассматривать в качестве *обособленной*, поскольку входящие в нее процессы используются для *контроля проекта в целом и отдельных групп процессов* (п. 4.2.2.7. ГОСТ ИСО 21500-2014).

На *этапе разработки* планов проектов, включая план проекта и план проектного менеджмента, возможно их объединение в единый документ. При этом план проектного менеджмента как документ или набор документов, прежде всего, отражает *способ реализации, мониторинга и контроля, как проектной деятельности, так и её изменений, так же контроль расписания, затрат и качества*. Необходимо предусмотреть *контроль за изменениями*, которые могут возникнуть в ходе *процесса управления содержанием* проекта.

При создании **системы контроля в управлении проектами** необходимо:

- запланировать все работы, выполнение которых необходимо осуществить в рамках проекта;
- объективно оценить время, ресурсы и затраты, а также подготовить информационную систему отчетности;
- проводить периодическую переоценку времени и затрат, необходимых для выполнения оставшейся работы;
- осуществлять многократное, периодическое сравнение фактического выполнения и затрат с графиком и бюджетом.

В рамках **кибернетической модели** (функциональной модели) выходные показатели контролируются, сравниваются с некоторыми предварительно установленными настройками данного конкретного контура управления. В том случае, если они **отличаются**, то *по цепи обратной связи* формируется **корректирующее воздействие**, которое возвращается назад на вход системы для *устранения* возникших отклонений или *корректировки* входных параметров, что является одной из основных задач процесса контроля.

На практике организационная структура проекта формируется как **совокупность процессов управления** в форме иерархической системы **нескольких контуров регулирования**, в которой подразделения связаны между собой информационными потоками,

где руководитель проекта выполняет функции *регулятора*, а подразделения – исполнители выступают в качестве *объекта регулирования*. Находящиеся между ними промежуточные организационные подразделения, выполняющие и управленческие и исполнительские функции, являются одновременно и регуляторами, и объектами регулирования.

*Целью контроля проектной деятельности является обеспечение интегрированного выполнения работ проекта в соответствии с планами. Контроль проектной деятельности, осуществляемый на протяжении всего проекта, включает измерение производительности, оценку полученных результатов и определение тенденций, которые могут повлиять на реализацию проекта, а также активизирование изменений, направленных на повышение производительности. Постоянный контроль обеспечивает заинтересованных лиц, в том числе куратора, руководителя проекта, команду менеджмента проекта и команду проекта, точной и актуальной информацией о достигнутых результатах проекта (п. 4.3.5. ГОСТ ИСО 21500-2014). Контроль проектной деятельности представлен в таблице 1.*

Таблица 1 – Контроль проектной деятельности: входные и выходные данные

Входные данные	Выходные данные
Планы проекта Данные о ходе работ Результаты контроля качества Реестр рисков Реестр открытых вопросов	Запросы на изменения Отчеты о ходе работ Отчетность о завершении проекта

**Контроль изменений** (п. 4.3.6. ГОСТ ИСО 21500-2014).

*Целью контроля изменений является обеспечение контроля над всеми изменениями в проекте и в его результатах, а также формальное утверждение или отклонение изменений до их фактического осуществления. В процессе реализации проекта необходимо регистрировать запросы на осуществление изменения в журнале, оценивать изменения с точки зрения потенциальных выгод, содержания, необходимых ресурсов, сроков и затрат, а также влияния на качество и риски, определять последствия и выгоды и утверждать изменения перед их реализацией. Предлагаемые изменения по результатам анализа последствий также могут изменяться или отклоняться. После утверждения изменения решение должно быть доведено до соответствующих участников проекта, которые будут его воплощать, внося при необходимости изменения в проектную документацию. Контроль над изменением результатов проекта осуществляют в рамках управления конфигурацией.*

Основные входные и выходные данные процесса контроля изменений проекта представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Контроль изменений проекта: входные и выходные данные

Входные данные	Выходные данные
Планы проекта Запросы на изменения	Утвержденные изменения Журнал регистрации изменений

*Процесс управления содержанием проекта связан с воздействием на факторы, которые вызывают изменения проекта, и контролем влияния этих изменений на цели проекта. Применение процесса должно обеспечить обработку всех запросов на изменения при помощи процесса контроля изменений. Бесконтрольные изменения часто называются «сползанием содержания проекта» (п. 4.3.14. ГОСТ ИСО 21500-2014).*

Основные входные и выходные данные процесса управления содержанием представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Управление содержанием: входные и выходные данные

Входные данные	Выходные данные
Данные о ходе выполнения работ Описание содержания проекта Структура декомпозиции работ Список работ	Запросы на изменения

**Контроль расписания** (п. 4.3.24. ГОСТ ИСО 21500-2014)

Назначение *контроля расписания* состоит в *отслеживании отклонений* от расписания и осуществлении *надлежащих корректирующих действий*.

Процесс состоит в *определении текущего состояния* расписания проекта, *соотнесении его* с утвержденным базовым планом для выявления отклонений, формировании прогнозов, касающихся сроков завершения проекта и при необходимости *принятии соответствующих мер*, направленных на предотвращение негативных воздействий на расписание. Все изменения базового плана проекта должны осуществляться в соответствии с *процессом контроля изменений*. *Прогнозирование* сроков завершения проекта должно проводиться регулярно по мере выполнения проекта и должно учитывать выявленные тенденции и полученные знания.

Основные входные и выходные данные процесса приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Контроль расписания: входные и выходные данные

Входные данные	Выходные данные
Расписание проекта Информация о выполнении работ Планы проекта	Запросы на изменения Корректирующие действия

**Контроль качества** (п. 4.3.34. ГОСТ ИСО 21500-2014)

Назначение процесса контроля качества состоит в *определении того, достигнуты ли результаты проекта, соблюдены ли требования в области качества и обеспечено ли соответствие стандартам*. Кроме того, в рамках процесса осуществляется выявление случаев *несоответствия* требованиям и разработка методов устранения выявленных несоответствий.

Контроль качества следует осуществлять *на протяжении всего жизненного цикла проекта*. В рамках процесса проводят:

- *мониторинг обеспечения качества* конкретных результатов проекта и процессов и выявление дефектов с использованием установленных инструментов, процедур и методов;
- *выявление возможных причин* возникновения дефектов;
- *определение необходимых действий* по предотвращению возникновения дефектов и формирование требований изменений;
- *доведение информации* о корректирующих действиях и требованиях изменений до соответствующих членов организационной структуры проекта.

*Контроль качества* зачастую проводят подразделениями организации-исполнителя, *не участвующими* в проекте, или представителями заказчика. Мероприятия

по контролю качества позволяют выявлять причины низкого качества процессов или продукта и в случае необходимости их устранения могут привести к формированию перечня рекомендуемых действий или запросов на изменения.

Основные входные и выходные данные процесса контроля качества приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Контроль качества: входные и выходные данные

Входные данные	Выходные данные
Информация о выполнении работ Результаты План по качеству	Результаты измерений в рамках контроля качества Проверенные результаты Отчеты по результатам аудита Запросы на изменения Корректирующие действия

### Методы контроля

Для контроля в управлении проектом применяют метод контрольных точек, позволяющий фиксировать срок, когда должен быть получен результат, в привязке к ответственному за его получение. Факт соответствия требованиям проекта в контрольной точке подтверждает приемщик, оформляющий результат своего заключения в установленной проектом форме, отвечая на вопрос «Что сделано?». Контрольная точка (КТ) – это конкретный проверяемый результат проекта, который должен появиться в установленный срок.

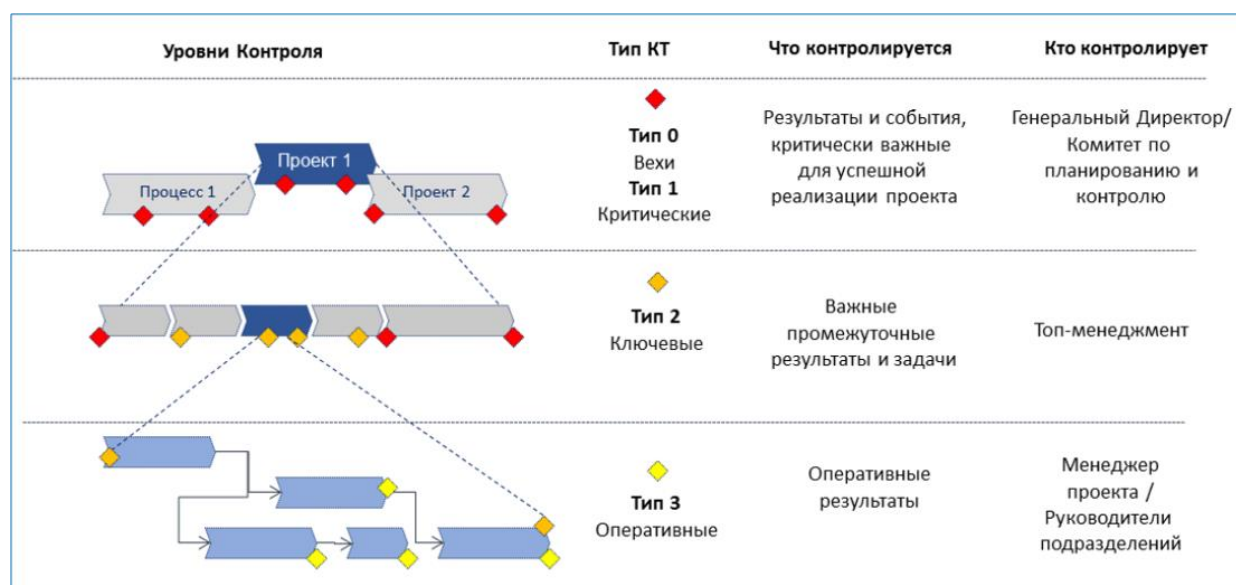


Рисунок 1 – Общая схема планирования контрольных точек

Рассмотренная тема с позиции теории управления призвана мотивировать разработчиков образовательных программ на расширение представлений о содержательной части данного процесса с учётом отраслевой специфики и положений теории управления.

### Библиографический список

1. Звонарев, С.В. Основы математического моделирования: учебное пособие / С.В. Звонарев. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2019. С. 26.

2. Хасанов Р.Ш. Дистанционное обучение – современные реалии / Р.Ш. Хасанов, Н.З. Юсупова, Е.Г. Игнашина, Е.Ю. Антропова, О.В. Данилова, Е.Ю. Юпатов, А.И. Хайруллина // Педагогика профессионального медицинского образования. 2020. № 2/20. С. 101 – 116.
3. Основы проектной деятельности: учебно-методическое пособие / сост. И. М. Дудина; Яросл. гос. ун-т им. П. Г. Демидова. – Ярославль: ЯрГУ, 2019. – с.4.
4. Мазур И.И. Управление проектами: Справочное пособие для профессионалов/ И.И. Мазур [и др.] – М.: Высшая школа, 2001. – С.36.
5. Богданов В. Управление проектами. Корпоративная система – шаг за шагом. Изд. ООО «Манн, Иванов и Фебер». 2011. 241 с.
6. Матвеев А.А., Новиков Д.А., Цветков А.В. Модели и методы управления портфелями проектов. М.: ПМСОФТ, 2005. С. 20.

УДК 51-74 + 519.714

## РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ НАДСИСТЕМЫ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ ПЕЧЬЮ

**Жуков П.И., Фомин А.В.**

*Старооскольский технологический институт им.А.А.Угарова («МИСиС»)  
г. Старый Оскол, Россия, Zhukov.Petr86@yandex.ru*

***Аннотация.** В данной работе рассматривается общий подход к энергоэффективному управлению сложным и комплексно нестационарным тепловым процессом нагрева в проходной многозонной печи. В качестве решения предлагается концепция надсистемы управления, основная цель которой аккумулировать сведения из локальных контуров регулирования, пропустить их через предиктивные модели и вернуть на локальный уровень уже энергоэффективные уставки. Также, приводятся примеры некоторых из таких предиктивных моделей.*

***Ключевые слова:** надсистема управления, АРС, проходная печь, энергоэффективность, нестационарность.*

***Abstract.** This paper considers a general approach to energy efficient control of a complex and complex non-stationary thermal heating process in a continuous multi-zone furnace. As a solution, the concept of a supersystem of control is proposed, the main purpose of which is to accumulate information from local control loops, pass them through predictive models and return already energy-efficient settings to the local level. Also, examples of some of these predictive models are given.*

***Keywords:** super control system, APC, continuous furnace, energy efficiency, non-stationarity.*

**Введение.** Тепловые процессы в металлургии являются крайне энергоемкой частью производства и требуют механизмов повышения энергоэффективности их применения. На сегодняшний день, все тепловые процессы в черной металлургии можно разделить на две большие группы: нагрев с фазовым переходом (сталеплавильное производство) и нагрев без фазового перехода (этапы дальнейшего передела стали).

В рамках финишного передела стали наибольшую популярность получили проходные многозонные печи (рисунок 1), которые хорошо интегрируются в непрерывный характер современных производств и обеспечивают нагрев заготовки в процессе её поэтапного движения через рабочее пространство печи.

Физический процесс теплообмена в такого рода печи, с позиции нагреваемого вещества является крайне нестационарным, что можно заметить из рисунка 1. Вся печь поделена на зоны, в каждой зоне свои уставки и своя конечная температура  $T_{x,1}$ ,  $T_{x,2}$ , где  $x$  – номер зоны печи. Неравномерное количество заготовок в каждой паре зон печи, называемых участками, свидетельствует о неравномерности продолжительности нагрева. Основным типом нагрева в первых зонах печи является конвекция, вызванная перетоком продуктов сгорания к боровам дымососа, которая ближе к середине печи дополняется радиационным излучением от разогретой футеровки.

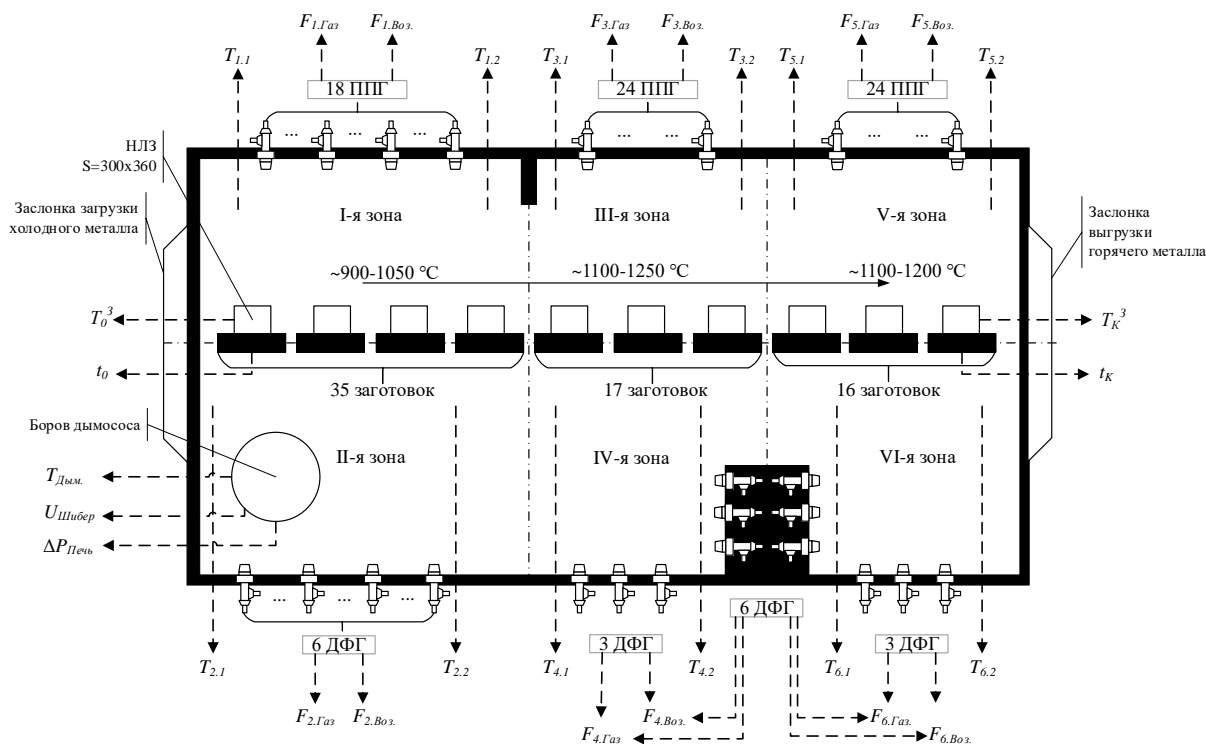


Рисунок 1 – Схема многозонной проходной печи

Таким образом, помимо нестационарности заготовки в пространстве, её нагрев происходит в среде конвективного и конвективно-радиационного противотока, с вынужденным тепломассопереносом в сторону боровов дымососа. Такой противоток создает в печи разрежение и вынуждает газовый теплоноситель двигаться в переходном состоянии. При этом, печь в процессе своего эксплуатационного цикла находится в  $N$ -возможных тепловых состояниях, выражающихся в комбинации рабочей температуры зон, давления в печи и общей производительности установки.

Экспериментально установлено, что эти внутривспечные факторы активно связаны друг с другом (рисунок 2) и формализовать их детерминированными моделями не представляется возможным.

Закономерным выводом является тот факт, что для данного вида тепловых агрегатов не представляется возможным получить одновременно энергоэффективное и оптимальное управление, опираясь только лишь на локальные контура регулирования. Подобное утверждение проистекает из невозможности локальных ПИД-регуляторов знать «состояние» друг друга в классической системе управления с обратной связью.

Современным решением этой проблемы является построение надсистем управления, которые агрегируют информацию из локальных контуров, после чего пропускают её через предиктивные модели и возвращают на локальный уровень уставки [1]. Подобные надсистемы реализуют расширенные концепции управления, такие как Advance Process Control [2-3] или Model Predictive Control [4]. В рамках данной работы предлагается рассмотреть концепцию такой надсистемы управления и представить ряд решений в качестве возможных предиктивных моделей.

**Концепция надсистемы управления.** Надсистема энергоэффективного управления требует поэтапный и крайне упорядоченный подход к синтезу своей структуры. Данный факт является закономерным следствием множественности внутривспечных факторов, что требует оптимальных, во многих смыслах, подходов для построения оптимизирующих предиктивных моделей. Одним из критериев «оптимальности» подхода следует рассматривать его алгоритмическую сложность.

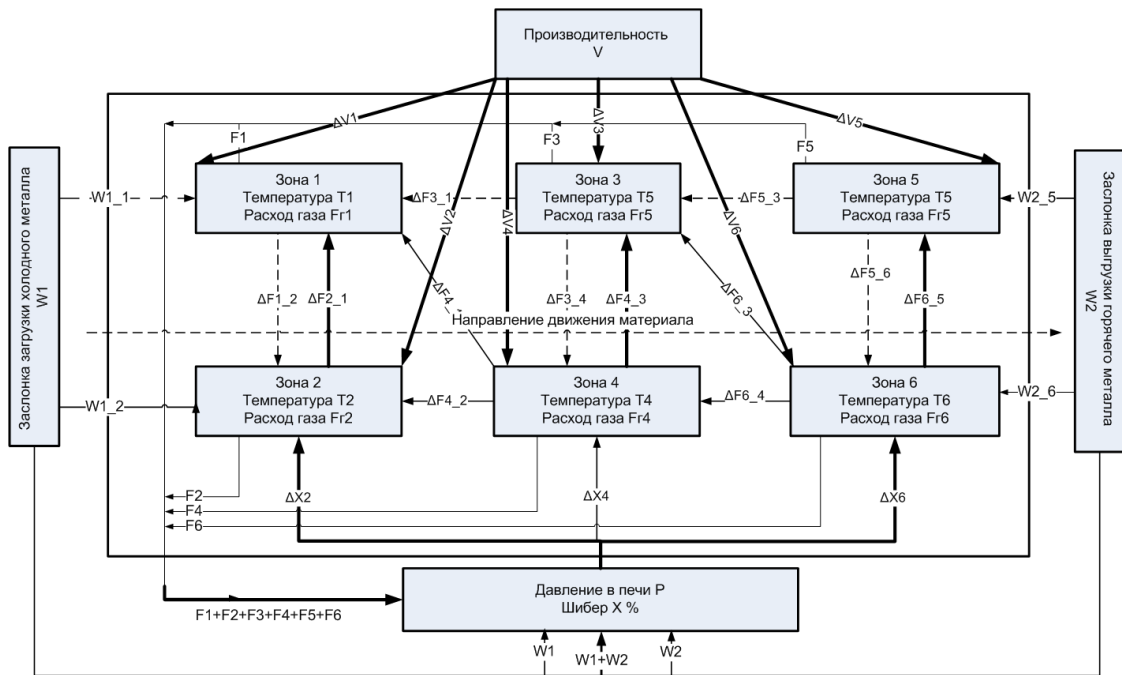


Рисунок 2 – Приблизительная схема взаимодействий внутривспечных факторов

Например, построение детерминированных моделей газодинамического взаимодействия между зонами печи возможно при помощи решений квазигазодинамических (КГД) уравнений (модификаций уравнений Навье-Стокса) [5], но из-за нестационарности процесса нагрева, модель потребует учета степени этой нестационарности для плотности ( $\rho$ ), давления ( $p$ ) и скорости ( $v$ ) через функциональные связи общего вида  $f(t)$ , где  $t$  – время. В таком случае речь о нахождении аналитического решения не ведется, а КГД уравнения решаются численными методами, на которые накладывается ограничения работы в режиме реального времени, что в конечном счете требует нахождения баланса между точностью получаемого решения и быстротой его нахождения.

Другим критерием «оптимальности» следует рассматривать алгоритмическую устойчивость решения, основанного на конкретном подходе. В общем виде, данный подход можно рассмотреть, как требование к конечному решению, выдать результат из области допустимых значений при любых начальных условиях.

Опираясь на два вышеизложенных «ограничения», можно сделать вывод, что подобные надсистемы следует разрабатывать модульно, прибегая к их усложнению и масштабированию поэтапно. В рамках данной работы предлагается концепция следующей надсистемы (рисунок 3), которая ориентирована на оптимизацию расходов энергоресурсов для нагрев отдельных заготовок в печи.

В основе данного концепта лежат три математические модели: модель прогнозирования температуры заготовки в печи; модель зависимости давления ( $\Delta P_{\text{Печь}}$ ) в печи от положения шибер дымососа от и суммарного расхода газа ( $[F_{\text{Газ}}]$ ); модель зависимости суммарного расхода газа к среднему времени нагрева заготовок в печи. Каждая из заявленных выше моделей отвечает за оптимизацию уставок своих локальных контуров регулирования, получая при этом информацию из всей системы. Рассмотрим эти математические модели детальнее.

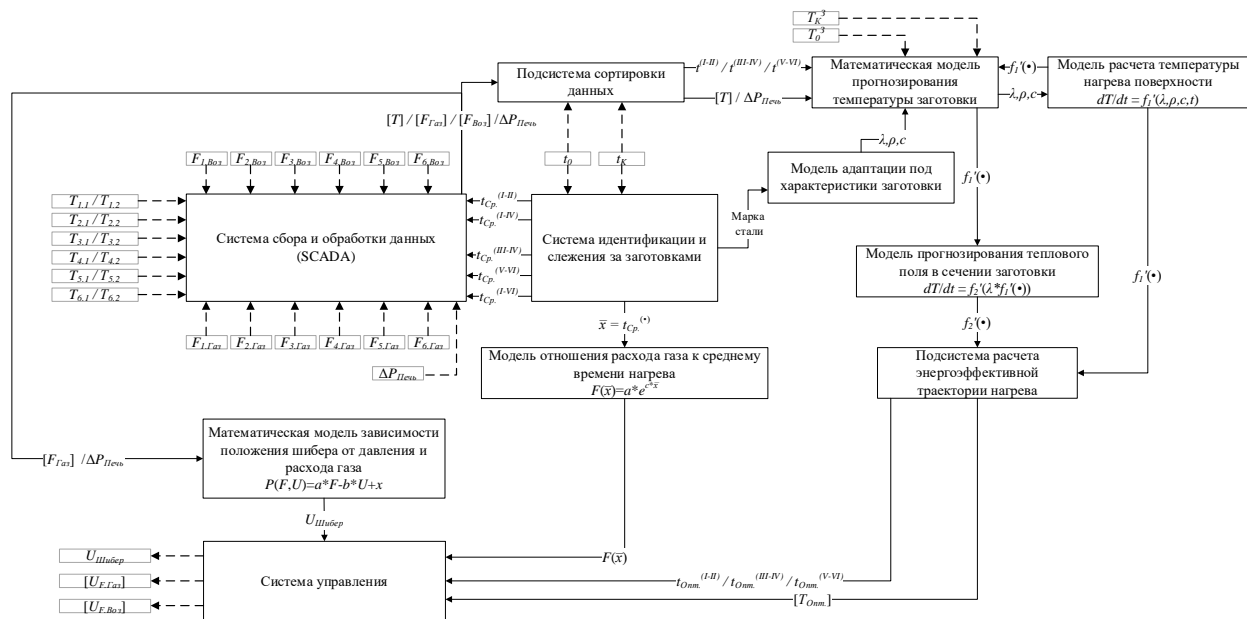


Рисунок 3 – Концепция надсистемы энергоэффективного управления процессом нагрева в многозонной печи

Предиктивная модель давления в печи используется для заблаговременного управляющего воздействия на исполнительный механизм шиберной задвижки с целью компенсировать резкий перепад разряжения еще до того, как случится возмущение. Одной из причин такого возмущения является открытие заслонок загрузки или выгрузки металла, в результате которого возникает резкое падение разряжения из-за подсоса цехового воздуха в пространство печи. Перепад давления пытается компенсировать локальный регулятор управления шиберной задвижкой, но его инерция не позволяет сделать это до того, как возмущающее воздействие закончится и разряжение снова вырастит. В результате, на короткий промежуток времени в крайних зонах печи, из-за необходимости стабилизировать систему, будет наблюдаться кратковременный перерасход топлива, так как колебания дифференциального давления неизменно приводят к колебаниям температуры в ограниченно-постоянном пространстве, согласно уравнению идеального газа (1)

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T, \quad (1)$$

- где  $p$  – давление;  
 $V$  – объем газа, принятый постоянным в момент времени  $t$ ;  
 $n$  – количество вещества в молях;  
 $R$  – газовая постоянная (8,314 Дж/(моль\*К));  
 $T$  – температура в Кельвинах.

Используя информацию о суммарном расходе газа и положению шиберной задвижки в данный момент времени, полученную из действующих систем управления конкретным тепловым агрегатом, можно получить, например, модель аппроксимации следующего вида – (2)

$$\Delta P_{Печь}(F, U) = 0.0017 \cdot F_{Газ} - 0.182 \cdot U_{Шибер} + 7.73 \quad (2)$$

Из (2) можно получить величину управляющего воздействия на шибер в виде следующей функциональной зависимости:



$$U(F, \Delta P) = \frac{\Delta P_{\text{Печь}} - 0.0017 \cdot F_{\text{Газ}} + 7.73}{0.182}, \quad (3)$$

и использовать её, чтобы заблаговременно рассчитать положение шиберной заслонки, предотвратив перерасход газа в моменты посадки и выгрузки металла [6]. Данная система используется на АО «ОЭМК».

Для организации подсистемы расчета энергоэффективной траектории движения потребуется предиктивная модель нагрева заготовок, которая позволит спрогнозировать температуру металла (поверхности и сечения) после нагрева еще до того, как он завершится. В основе такой модели могут лежать, как средства анализа технологических данных [7] из действующей системы управления, так и детерминированные модели.

В рамках комплексной нестационарности процесса нагрева в подобном технологическом объекта, примером детерминированной модели может служить математическая модель на основе дифференциального уравнения нестационарной теплопроводности – (4)

$$\rho(T) \cdot c(T) \cdot \frac{\partial T(x, y, t)}{\partial t} = \lambda(T) \cdot \left( \frac{\partial^2 T(x, y, t)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T(x, y, t)}{\partial y^2} \right), \quad (4)$$

где  $\rho$  – плотность,  $кг/м^3$ ;  
 $\lambda$  – теплопроводность,  $Вт/(м \cdot К)$ ;  
 $c$  – теплоемкость,  $Дж/(кг \cdot К)$ ;

$T(x, y, t)$  – функция температуры нагреваемого материала,  $К$ .

Уравнение (4) решается путем постановки краевой задачи с некоторыми граничными условиями, наиболее популярные из которых – это условия конвективно-радиационного теплообмена:

$$\lambda(T) \cdot \frac{\partial T}{\partial l} = \kappa(\bar{U}(t)) \cdot [\bar{U}(t) - T(x, y, t)] + \varepsilon \cdot \sigma \cdot ([\bar{U}(t)]^4 - [T(x, y, t)]^4) \quad (5)$$

Здесь  $\bar{U}(t)$  – это функция температуры пространства печи,  $К$ ;  $\kappa(\bar{U}(t))$  – это коэффициент теплообмена выраженный функциональной связью от температуры рабочего пространства печи,  $Вт/(м^2 \cdot К)$ ;  $l$  – это нормаль теплового потока к нагреваемому веществу ( $l=x$  для  $Ox$ ,  $l=y$  для  $Oy$ ). Как можно заметить из уравнений (4) и (5), параметры плотности, теплопроводности и теплоемкости являются функциональными зависимостями от температуры, конечная форма которых зависит от физико-химической конфигурации нагреваемого материала, выражаемой «маркой» стали. Таким образом, для корректного функционирования модели (4), (5), потребуется подсистема её адаптации к нагреваемому веществу, более детально про которую изложено в работе [8].

Ставя краевую задачу и решая её численным методом, можно получить конечно-разностную модель расчета температуры заготовки [9]. Данная модель способна спрогнозировать температуру поверхности и температуру сечения нагреваемого объекта быстрее режима реального времени, что делает её предиктивной [10].

Наконец, для связи суммарного расхода газа на печь и производительности печи используется математическая модель отношения расхода газа и среднего времени нагрева заготовок. По своей природе, часовая производительность представляет собой квазидискретный сигнал, который невозможно сопоставить с суммарным расходом газа без выполнения преобразований (рисунок 4)

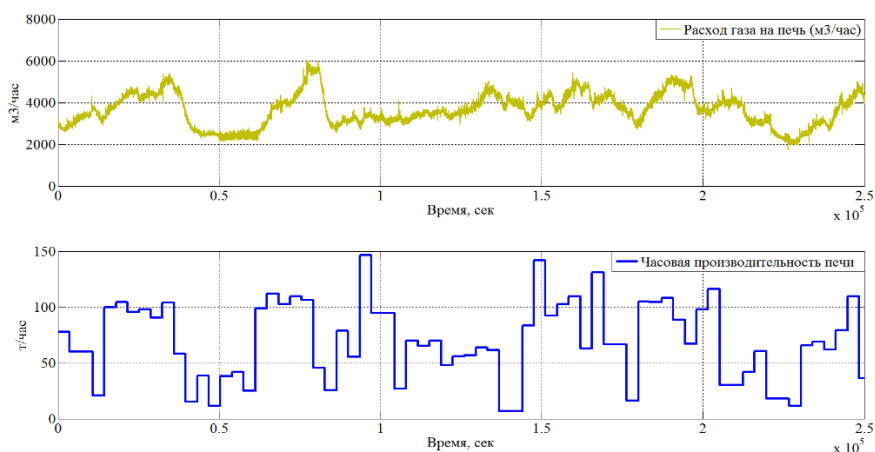


Рисунок 4 – Суммарный расход газа и часовая производительность печи

Одним из действенных преобразований является выражение производительности через время, которое заготовки суммарно тратят на нахождения в печи. Данное преобразование неразрывно в том смысле, что имеется прямая закономерность между скоростью прохода заготовок через рабочее пространство печи и производительности. Заменяв производительность на её оценку по временному параметру (6), можно будет пытаться строить модели аппроксимации между суммарным расходом газа на печь и полученной оценкой времени нахождения заготовок в печи.

$$\bar{x} = [\sum_{i=1}^k x_i] / k \quad (6)$$

Варьируя параметр  $1 < k < 68$ , можно оценить среднее время, которое заготовки провели в печи по отдельным её зонам. (пара зон №1-2 занимает места с 1 по 35, вторая пара зон №3-4 с 36 по 52, третья пара зон №5-6 с 53 по 68 место).

Таким образом, для того, чтобы получить зависимость между суммарным расходом газа на печь и оценкой производительности через среднее время нахождения заготовок в ней, можно воспользоваться, например, экспоненциальной регрессией. На участке печей нагрева сортопрокатного цеха №1 АО «ОЭМК» удалось установить следующую функциональную зависимость:

$$F(\bar{x}) = 8462 \cdot e^{-0.004\bar{x}} \quad (7)$$

**Выводы.** Предложенная в данной работе надсистема управления печью нагрева представляет собой модульно масштабируемую систему. Приведенные примеры показывают, что в такой концепции можно увязать не только строго детерминированные математические модели, но и модели, основанные на учете случайной компоненты (стохастические и статистические). Предполагая, что описанный выше концепт надсистемы управления будет функционировать на верхнем уровне автоматизации с характерными для него вычислительными мощностями, можно сделать вывод о выполнении критерия «оптимальности» с точки зрения алгоритмической сложности.

При этом, предполагается, что надсистема будет возвращаться на средний уровень автоматизации энергоэффективные уставки, а не вести управление на прямую. Данный факт позволяет полагать, что устойчивость этой надсистемы будет достигаться за счет устойчивости локальных регуляторов, имеющих «коридор» допустимых значений уставок, ограниченный программными средствами. Таким образом, предлагаемая концепция удовлетворяет двум критериями «оптимальности» своей функциональной структуры.

## Библиографический список

1. Парсункин Б. Н., Андреев С. М., Мухина Е. Ю. *Экстремально-оптимизирующее автоматизированное управление нагревом непрерывнолитых заготовок в печах проходного типа* // Вестник Череповецкого государственного университета. 2021. No 5 (104). С. 22–34.
2. Zanolì S. M., Barboni L., Cocchioni F., Pepe C. *Advanced process control aimed at energy efficiency improvement in process industries* //2018 IEEE international conference on industrial technology (ICIT)". – IEEE, 2018. – С. 57-62.
3. Hadjiski M., Deliiski N. *Advanced Process Control of Distributed Parameter Plants by Integration First Principle Modeling and Case-Based Reasoning: Part 1: Framework of DPP Control with Initial Uncertainty* // 2020 International Conference Automatics and Informatics (ICAI). – IEEE, 2020. – p. 1-6.
4. Steinboeck A., Wild D., Kugi A. *Nonlinear model predictive control of a continuous slab reheating furnace* // Control Engineering Practice. – 2013. – Т. 21. – №. 4. – С. 495-508.
5. Елизарова Т. Г., Шильников Е. В. *Численное моделирование газовых смесей в рамках квазигазодинамического подхода на примере взаимодействия ударной волны с пузырьком газа* // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 2021. – Т. 61. – №. 1. – С. 124-135.
6. Фомин, А. В. Жуков П.И., *Построение математической модели давления в рабочем пространстве многозонной печи* // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2022. – № 1. – С. 19-25.
7. Zanolì S. M., Pepe C., Moscoloni E., Astolfi G. *Data Analysis and Modelling of Billets Features in Steel Industry* // Sensors. –2022. – Т. 22. – No. 19. – С. 7333.
8. Жуков П. И., Глущенко А.И., Фомин А.В., *Адаптация значений коэффициентов теплопереноса для сеточной модели нестационарного нагрева стали* // Управление большими системами : труды XVII Всероссийской школы-конференции молодых ученых, – Москва, – 2021. – С. 521-532.
9. Zhukov, P., Fomin, A., Glushchenko, A., & Podvalnyi, E. *Comparison of finite-difference and data-based models of temperature transfer process in heating furnaces for cast billet temperature prediction* //2021 3rd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA). – IEEE, 2021. – С. 811-816.
10. Брыков Н. А. *Решение нелинейной нестационарной задачи теплопроводности* // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – №. 5-3 (47). – С.52-55

УДК 004.93

## О СПОСОБАХ ПОИСКА И ОБНАРУЖЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА СПУТНИКОВЫХ СНИМКАХ СРЕДСТВАМИ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Наджафов Т.И.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»  
г. Новокузнецк, Россия, tarlan2000.work@gmail.com

**Аннотация.** Загрязнение окружающей среды в настоящее время является самой большой проблемой, с которой сегодня сталкивается мир. И одним из бюджетных решений оперативного поиска и обнаружения загрязнения является анализ средствами искусственных нейронных сетей спутниковых снимков Земли.

**Ключевые слова:** спутниковые снимки, машинное обучение, загрязнение окружающей среды, реки, океан, пластик.

**Abstract.** Environmental pollution is currently the biggest problem facing the world today. And one of the budgetary solutions for rapid search and detection of pollution is the analysis by means of artificial neural networks of satellite images of the Earth.

**Keywords:** satellite Imagery, machine learning, environmental pollution, ocean, rivers, plastic.

Техногенное загрязнение территорий и производство вредных отходов может существенно влиять на окружающую среду и жизнь человека. Это может выражаться в различных последствиях – от нарушения жизнеспособности отдельных участков растительности и загрязнения водных ресурсов, до разрушительного эффекта на региональные экосистемы через загрязнение атмосферы. Долгосрочный наземный мониторинг воздействия техногенных загрязнений на окружающую среду считается дорогостоящим процессом, что приводит к повышению роли альтернативных вариантов мониторинга экосистем, к которым в последние годы относится дистанционное зондирование земли [1].

Кемеровская область относится к числу наиболее преимущественно развитых регионов Сибири, имеющих ярко выраженную сырьевую специализацию. Для него как раз характерны все основные составляющие, которые определяют негативное влияние промышленности на окружающую среду: крупные масштабы промышленного производства, высокая степень концентрации промышленных объектов в юго-западной и западной частях области, сложная структура промышленности, включающая виды экономической деятельности с высоким уровнем воздействия на окружающую среду (добыча золота и других полезных ископаемых, металлургическое и химическое производство, производство и распределение электроэнергии, газа и воды).

Только за последние два года на территории Кузбасса специалисты зафиксировали 12 фактов загрязнения рек Большой Кундат, Полуденный Кундат, Кия, Тулуйол, Большой Тулуйол, Мунжа, Коура, Кондома, Талановка ниже по течению от участков добычи россыпного золота общей протяженностью 561 км (рисунок 1) [2].

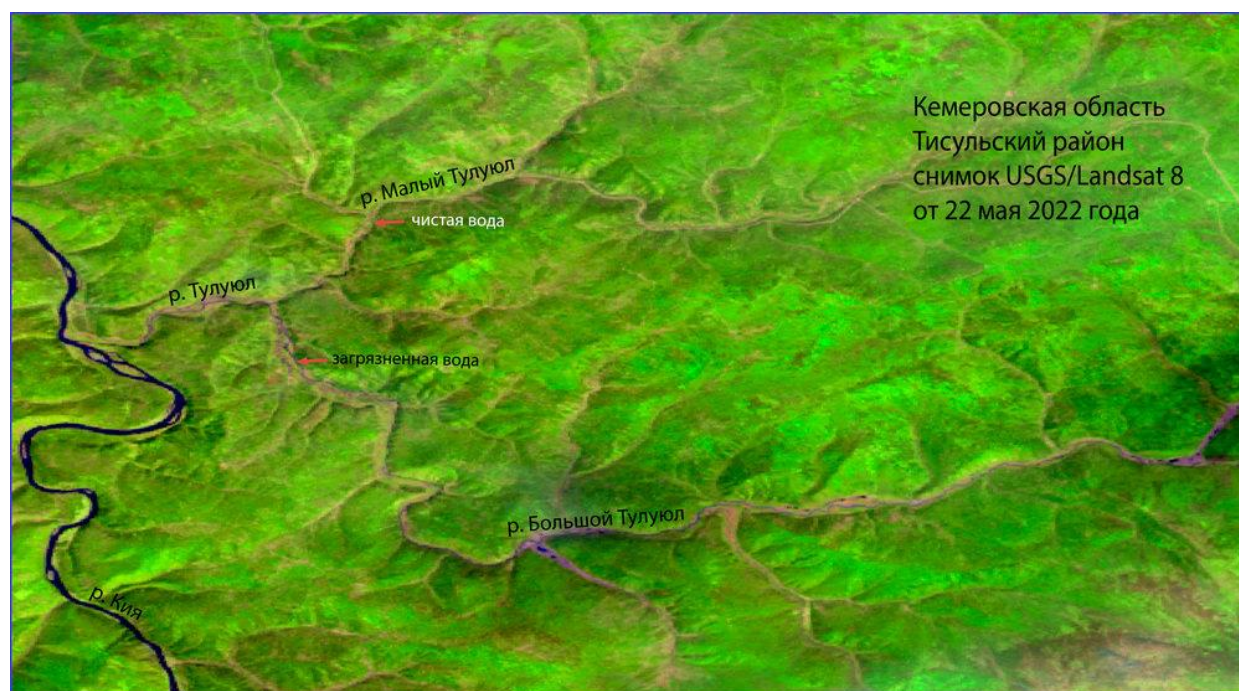


Рисунок 1 – Спутниковый снимок Landsat 8 Тисульский район от 2022 года [4]

Обнаружения фактов загрязнения были выявлены путем ручного анализа спутниковых снимков. На снимках реки с чистой прозрачной водой выглядят тёмными, почти чёрными. А реки, в которых вода мутная – ярко-синими или голубыми. По разнице цвета как раз определяют загрязнение [3].

Ученые из Плимутской морской лаборатории (PML) используют спутниковые снимки Земли для обнаружения участков морского мусора, применяя собственный метод, который позволяет им различать природные и антропогенные источники плавающих материалов, включая пластик.

Пластики, такие как бутылки для воды, упаковки и полиэтиленовые пакеты, представляют собой серьезную угрозу для морских организмов и экосистем. Если их не удалить из морской системы, со временем они распадутся на микропластик. Возможность обнаружить «горячие точки» морского мусора может помочь лучше понять источники, тенденции и закономерности загрязнения пластиком уязвимой морской среды. Информация может даже использоваться для проведения операций по очистке прибрежных вод в дополнение к мероприятиям по очистке рек и пляжей.

Спутники оптического наблюдения Земли Sentinel-2A, собирают данные над сушей и прибрежными водами каждые 2-5 дней с разрешением 10 метров. Такое высокое пространственное разрешение их датчиков мультиспектральных приборов (MSI) позволяет обнаруживать небольшие объекты, такие как лодки и отдельные ветряные турбины на побережье. Ученые из PML утверждают, что плавающие водоросли и мусор также могут быть «замечены» этими спутниками вдоль речных шлейфов, фронтов или вихрей, которые имеют тенденцию группировать плавающие материалы в группы. Сложность заключается в том, чтобы отличить пластик от естественного мусора, такого как морские водоросли и другие растительные материалы.

В основе метода лежит различная отражающая способность объектов на поверхности океана по отношению к излучению в ближнем инфракрасном диапазоне (NIR). Незагрязненная поверхность морской воды его поглощает, а плавающие на ней объекты (пластик, морская пена, водоросли и куски древесины) – отражают.

Авторы исследования определили спектральные сигнатуры всех этих компонентов, используя индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) и новый индекс FDI (Floating Debris Index), который позволяет более точно идентифицировать плавающие пятна пластика на поверхности моря. NDVI – это простой количественный показатель количества фотосинтетически активной биомассы, с помощью данного индекса можно отличить объекты неживой природы от растительности.

Исследователи обучили программное обеспечение ACOLITE возможности различать материалы с помощью методов машинного обучения. Для обеспечения автоматизированного метода обнаружения и классификации плавучих материалов, использовали наивный байесовский классификатор, который был обучен предсказывать пластик.

Общая схема работы представлена на рисунке 2.

Их методика была применена к нескольким различным прибрежным районам. На конференции Европейского союза геонаук доктор Бирманн представила два таких тематических исследования, в том числе на восточном побережье Шотландии, где общество охраны морской среды обнаружило увеличение количества мусора на 14% с 2017 года. Используя индекс плавающего мусора (FDI), материалы были обнаружены вдоль фронта за пределами залива Ферт-оф-Форт, и оказалось, что среди них преобладают нерастительные материалы. Второе тематическое исследование было посвящено водам вокруг островов Сан-Хуан в Британской Колумбии. Предыдущие исследования показали, что в этих водах наблюдается постоянный высокий уровень морского мусора, а обнаруженные к югу от острова Габриола скопления растительных материалов смешивались с нерастительными [5].

Во всех случаях скопления плавающего мусора были различимы в субпиксельном масштабе и состояли из смеси морских водорослей, морской пены и микропластика. Подозрительные пластики были успешно классифицированы как пластики с точностью 86%.

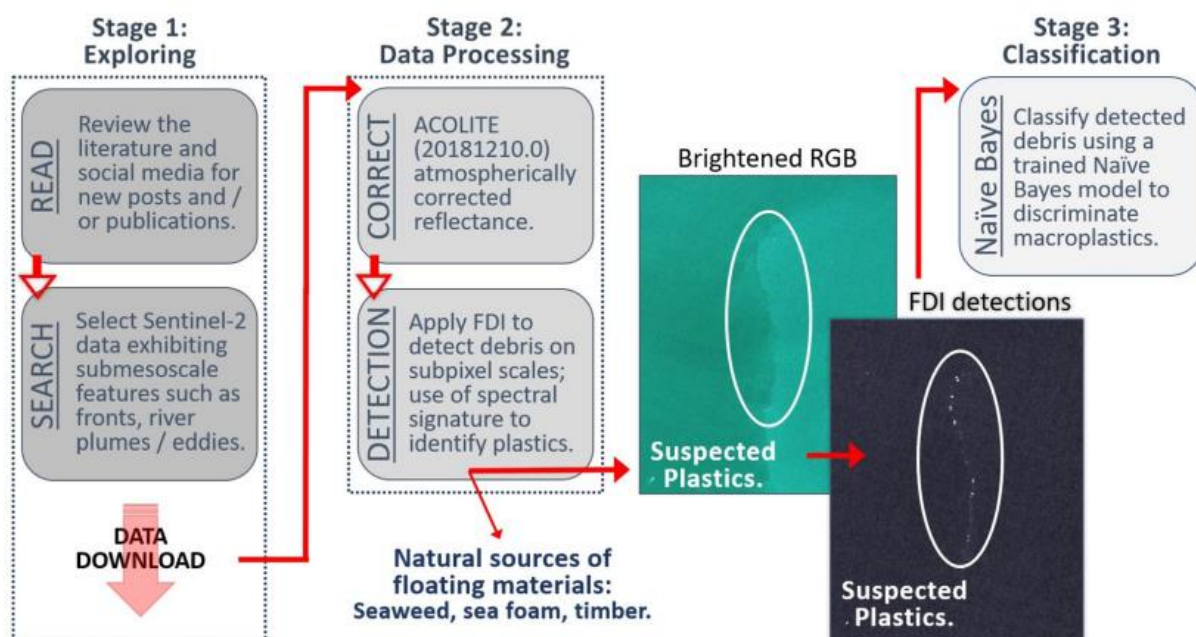


Рисунок 2 – Блок-схема, иллюстрирующая и обобщающая шаги, необходимые для обнаружения, идентификации и классификации плавающего мусора, включая микропластик, на снимках Sentinel-2 [5]

Авторы исследования составили обширные библиотеки спектральных сигнатур для различных видов пластика и сопутствующих компонентов, которыми смогут пользоваться все желающие при проведении экологического мониторинга и дешифрировании снимков водной поверхности.

Следует отметить, что методы, которые успешно применили ученые из РМЛ в своем исследовании, можно использовать для поиска загрязнений и мусора на реках Кемеровской области. А именно с помощью методов машинного обучения автоматизировать процесс обнаружения загрязнений рек по спутниковым снимкам и классификации плавучих материалов.

### Библиографический список

1. Э. А. Курбанов, О. Н. Воробьев, Ю. А. Полевщикова, С. А. Незамаев, Е. Н. Демишева Сравнительный анализ спутниковых снимков высокого разрешения при дешифрировании древостоев, загрязненных отходами силикатного производства. 2013.
2. В кемеровской области выявили 12 фактов загрязнения рек золотодобывающими компаниями // Всемирный фонд дикой природы URL: <https://wwf.ru/resources/news/altay/eksperty-wwf-vyyavili-12-faktov-zagryazneniya-rek-keмеровskoy-oblasti-u-uchastkov-dobychi-rossypnogo/>
3. Как спутниковые снимки помогают выявлять загрязнения рек – и предотвращать их // Всемирный фонд дикой природы URL: <https://peoplefornature.ru/articles/kak-sputnikovye-snimki-pomogayut-vyyavlyat-zagryazneniya-rek-i-predotvrashchat-ikh>
4. Массовое загрязнение рек на севере Кузбасса подтверждаются снимками со спутника // Ваш город URL: <https://vashgorod.ru/post1530727>
5. Бирманн Л, Кливли Д, Мартинес-Висенте В, Топузель К. Поиск пластиковых пятен в прибрежных водах с помощью данных оптических спутников. 2020.

## О НОВЫХ ПУТЯХ СБОРА СВЕДЕНИЙ О ЧС И ИНФОРМИРОВАНИИ НАСЕЛЕНИЯ

Гейль К.Э.

*ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»*

*г. Новокузнецк, Россия, ru.exe.grizzly@mail.ru*

**Аннотация.** В статье рассматриваются возможность использования социальных сетей для оперативного информирования населения о чрезвычайных ситуациях. Акцентируется внимание на привлечении инструментария социальных сетей для большей оперативности. Рассматривается концепция алгоритма, который может использоваться в будущем программном обеспечении.

**Ключевые слова:** информирование о чрезвычайных ситуациях, социальные сети, интеллектуальный анализ текста.

**Abstract.** The article discusses the possibility of using social networks to promptly inform the population about emergency situations. Attention is focused on attracting the tools of social networks for greater efficiency. The concept of an algorithm that can be used in future software is considered.

**Keywords:** emergency information, social networks, intelligent text analysis.

### Введение

За последнее время социальные сети стали использоваться не только как средство общения между людьми, но и как средство для объявления, распространения и обмена людьми какой-то информации. В том числе распространяется и критически важная для людей информация, такая как сведения об угрозе ЧС.

Использование социальных сетей уже сейчас выходит за привычные поставленные рамки в виде простого общения людей. Помимо пользователей социальной сети сами компании используют свою площадку для рассылки важной информации среди своей аудитории.

Помимо основного функционала, предназначенного для первичной задачи, площадки разрабатывают различные сервисы, которые могут помочь пострадавшим, их родственникам и друзьям, а также различным организациям при возникновении чрезвычайной ситуации.

Используя определенное программное обеспечение можно обрабатывать и анализировать сообщения пользователей в социальных сетях и вытаскивать из них имеющую ценность информацию. На основе полученной из сообщения информации можно делать вывод, который позволит информировать о чрезвычайных ситуациях пользователей социальных сетей, а также уменьшить время реагирования на возникшее ЧС.

### Информирование населения о ЧС

Информирование населения о чрезвычайных ситуациях - это доведение до населения через средства массовой информации и по иным каналам информации о прогнозируемых и возникших чрезвычайных ситуациях, принимаемых мерах по обеспечению безопасности населения и территорий, приемах и способах защиты, а также проведение пропаганды знаний в области гражданской обороны, защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, в том числе обеспечения безопасности людей на водных объектах, и обеспечения пожарной безопасности.

Система оповещения представляет собой совокупность организационно-технических сил, средств связи и оповещения, сетей вещания, каналов сети связи общего пользования, обеспечивающих доведение информации и сигналов оповещения до органов управления, сил единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций и населения.

Системы оповещения предназначены для обеспечения своевременного доведения информации и сигналов оповещения до органов управления, сил и средств гражданской

обороны и населения об опасностях, возникающих при ведении военных действий или вследствие этих действий, а также угрозе возникновения или возникновении чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера [1].

Основными способами оповещения и информирования населения на текущий момент является распространение сигналов и информации по ресурсам мобильной связи, телевизионного вещания и радиовещания.

### Популярность и охват социальных сетей

С развитием интернета социальные сети обрели огромную популярность среди его пользователей. Огромное количество людей ежемесячно посещают социальные сети для общения, например, согласно данным предоставленными MediaScope, среднестатистический охват в России за месяц социальной сети «ВКонтакте» на момент мая 2022 года равен примерно 50 миллионов человек [2].

Данные представленные организацией показывают, что ежемесячно большое количество людей в России посещают и используют социальные сети, на рисунке 1 представлена диаграмма месячного охвата населения различными за май 2022 социальными сетями.

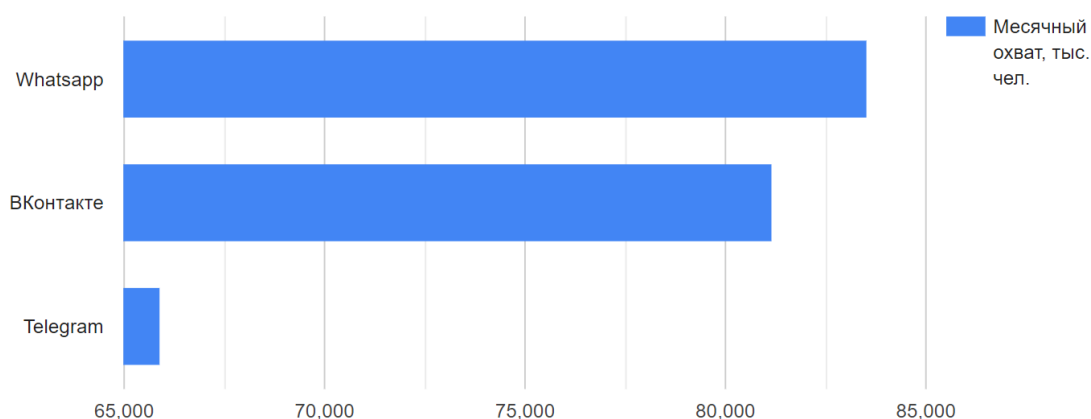


Рисунок 1 – Месячный охват, тыс. чел., май 2022, Россия 0+, люди старше 12 лет (Источник Mediascope)

Не менее важным фактором является и охват населения в процентах, который может обеспечить ресурс, на рисунке 2 представлена диаграмма месячного охвата в процентах от населения за май 2022 различными социальными сетями в России.

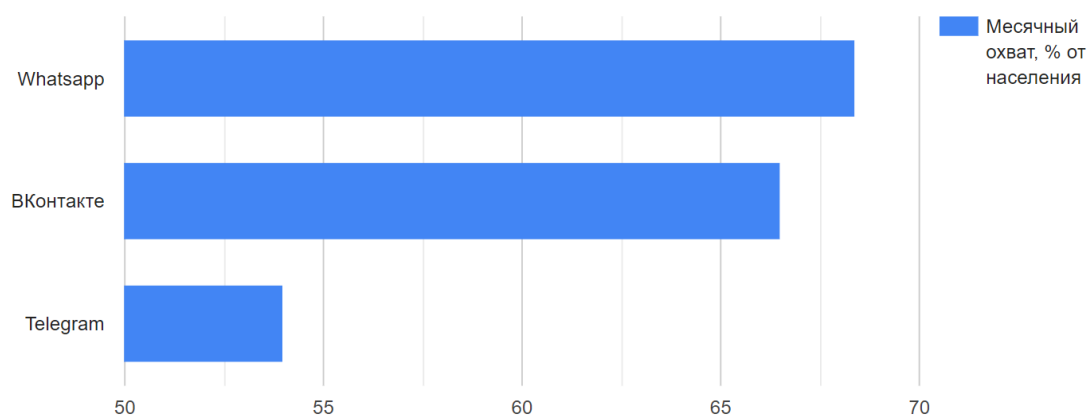


Рисунок 2 – Месячный охват, % от населения май 2022, Россия 0+, люди старше 12 лет (Источник Mediascope)



Количество уникальных пользователей социальных сетей растет с каждым годом, об этом говорят данные представленные в отчете Global Digital 2022, на рисунке 3 представлена диаграмма динамики аудитории социальных сетей в мире за последние 10 лет [3]. Рост уникальных пользователей говорит о том, что популярность и охват социальных сетей растет соответственно.

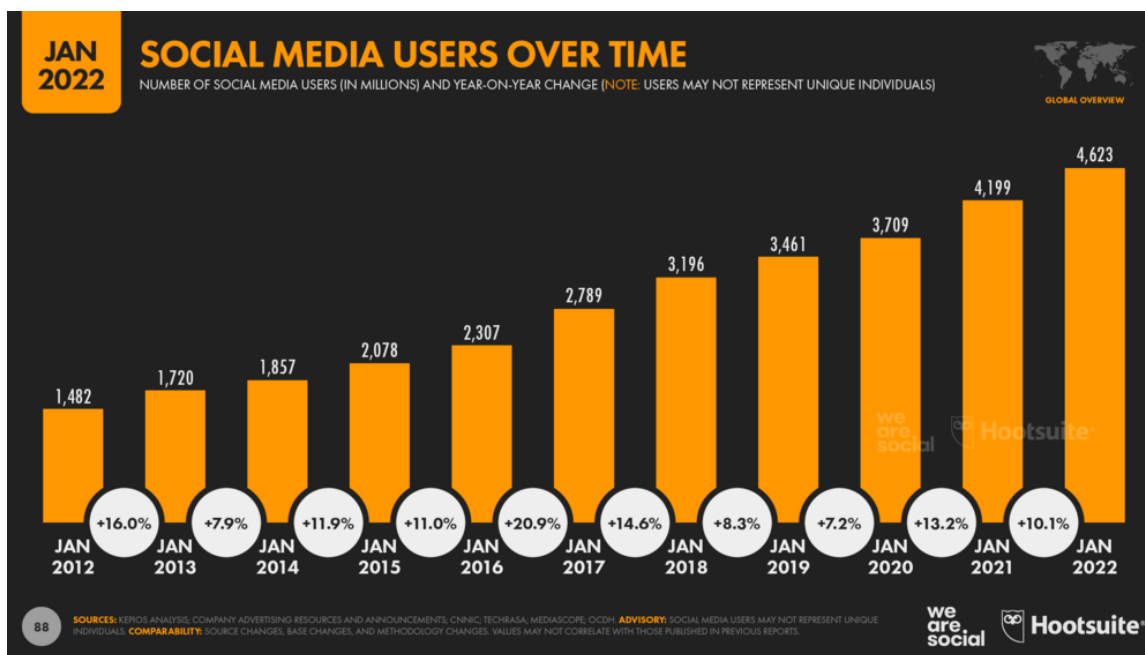


Рисунок 3 – Рост аудитории социальных сетей

На основе приведенных данных можно сказать, что на сегодняшний день социальные сети действительно имеют большую популярность, социальные сети охватывают достаточный процент населения, что бы быть одним из ресурсов оповещения при ЧС уже сейчас, а в будущем положение такого источника будет укрепляться, а его возможности расширяться.

#### Сбор и анализ данных о ЧС в сообщениях социальных сетей

Для того чтобы своевременно информировать население необходимо иметь источники из которых оперативно будут поступать сообщения. Существует несколько вариантов, как обеспечить данный источник:

- API предоставляемое социальными сетями;
- парсинг сообщений со страницы.

– Чтобы добиться максимальной оперативности необходимо использовать вариант с использованием API предоставляемым самой социальной сетью. Вариант с парсингом сообщений недостаточно эффективный т.к. у него присутствуют временные издержки связанные с затратами на сам процесс парсинга и обработки сообщения и различные задержки возникающие со стороны социальной сети по сравнению с предыдущим вариантом.

Анализировать сообщение предполагается предварительно обученной нейронной сетью. Перед нейронной сетью ставится решение задачи классификации, в ходе которой необходимо определить относится ли сообщение к одной из двух заранее известных групп. Соответственно решаемой задаче обучение нейронной сети должно проводиться с учителем.

В качестве алгоритма для обучения нейронной сети предполагается использовать метод «мешок слов». Алгоритм обучения следующий:

– на вход подается исходный текст, который представляется в виде набора слов называемым «мешком слов»;

– слова представляются в виде вектора (слово-количество, иначе словарь) и суммируются;

– вектор пропускается через несколько плотных слоёв нейронов, в результате чего образуется «семантический вектор».

Главная особенность такого вектора в том, что он позволит приближать сложные «смысловые» свойства текста с помощью математических операций. Например, чтобы оценить смысловую связь запроса и документа, можно каждый из них сначала превратить в отдельный вектор, а затем вектора скалярно перемножить друг на друга. На рисунке 4 представлена работа алгоритма.

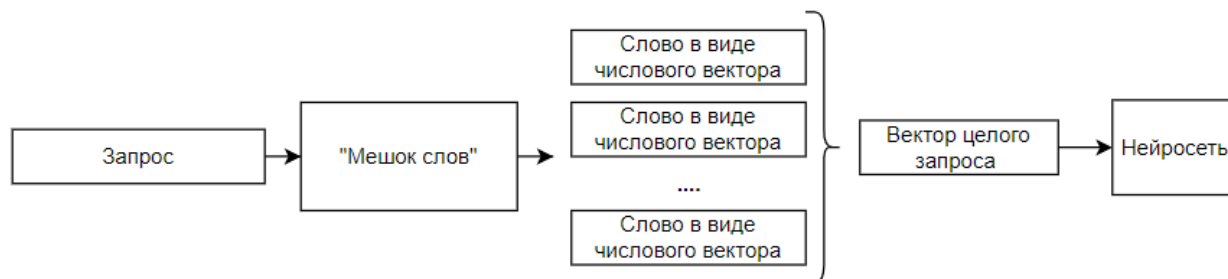


Рисунок 4 – Схема работы алгоритма

В случае обработки сообщений будет сформирован словарь, вектор которого будет считаться как пример относящийся к ЧС. Производится скалярное произведение вектора с преобразованным через описанный алгоритм сообщением и на основе полученного результата делается вывод.

В будущем можно изменять алгоритм и переобучать модель с целью повышения её точности.

### **Заключение**

В ходе работы было описано, что такое информирование и как оно осуществляется на сегодняшний день.

Также были представлены данные и графики на основе данных, которые демонстрируют сколько человек посещают социальные сети и какой охват населения в России. Дополнительно представлена статистика пользователей социальных сетей в мире за последние 10 лет. Представленные данные наглядно демонстрируют, что социальные сети могут использоваться как один из способов информирования населения.

Был определен способ сбора данных, который обеспечит максимально оптимальную и эффективную работу. Описано каким способом можно проанализировать данные и определить их причастность к ЧС.

### **Библиографический список**

1. Приказ МЧС России № 422, Министерства информационных технологий и связи РФ № 90, Министерства культуры и массовых коммуникаций РФ № 376 от 25.07.2006 года «Об утверждении Положения о системах оповещения населения».
2. MediaScope URL: <https://mediascope.net/data> (дата обращения: 29.10.2022).
3. DIGITAL 2022: GLOBAL OVERVIEW REPORT // Datareportal URL: <https://datareportal.com/reports/digital-2022-global-overview-report> (дата обращения: 29.10.2022).

## О ТИПАХ ПЕРЕДАВАЕМЫХ ДАННЫХ И ОЦЕНКЕ ИХ ВЛИЯНИЯ НА СОСТОЯНИЕ ПРОМЕЖУТОЧНОГО СЕТЕВОГО УЗЛА-ПОСРЕДНИКА

Грачев А.В.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»

г. Новокузнецк, Россия

**Аннотация.** Предложен метод оценивания возможностей промежуточного узла в сетях с разной топологией для задачи маршрутизации. Решение основано на использовании методов оценки состояния узла-посредника. Оценка произведена для нескольких наборов данных, собранных при работе узлов на передаче разных типов трафика.

**Ключевые слова:** сети связи, узлы связи, маршрутизация, топология сети, передача данных.

**Abstract.** Methods for estimating the capabilities of an intermediate node in networks with different topologies are proposed for the routing problem. The solution is based on the collection of methods for assessing the state of the intermediary office. An estimate made on several datasets collected by running nodes on the transmission of various types of data.

**Keywords:** network, communication nodes, routing, network topology, data transmission.

### Введение

Современные сети передачи данных чаще всего состоят из неопределенного, постоянно изменяемого числа узлов. Решение задачи управления узлами или их маршрутизации должно опираться на контроль за сегментами связанных узлов. Для этого решается задача выбора контролирующего узла. Задача становится сложнее для работы сетей с топологией, находящихся в состоянии неопределённости.

Развитие сетевых технологий включает в себя также учет различного количества устройств, от мобильных телефонов до транспортных средств, включенных в единый контур. Это дает дополнительную нагрузку на сетевую структуру.

Вариантом решения задачи может выступать сегментация с аппаратом прогнозирования состояний сегмента с разделением трафика по типам данных.

### Типы данных и их влияние на прогноз состояния сегмента

Следует принять условие: дана распределённая сетевая структура, в ней присутствуют группы узлов, связанных между собой контактами более плотно, чем со всей остальной сетью. Для управления такой сложной сетью в автоматическом режиме необходимо сначала выделить управляющий узел, который для этого должен соответствовать определённым критериям. С этой целью необходимо оценивать влияние типа данных на прогноз состояния узла.

Трафик - это поток данных, но он не однороден и сильно зависит от того, какие именно данные передаются в канале связи: легковесный текстовый документ или потоковое видео.

Для этого принято условие разделить трафик на типы данных и выделить диапазоны, в рамках которых можно считать, что оценка узла происходит именно в момент передачи данных этого типа. Поскольку передаваемые пакеты однородны согласно техническим характеристикам устройств и требованиям протоколов работы сети, то одним из критериев оценки можно считать загрузку узла в момент передачи данных определенного типа. Основные типы данных, выделенные в рамках исследования, приведены в таблице 1.

Также в рамках данного исследования была проведена экспериментальная оценка работы набора узлов при передаче разных типов данных. Для этого использовалась малая локальная вычислительная сеть (ЛВС) в рамках работы малого предприятия. Было выделено несколько диапазонов для каждого типа данных. В таблице 2 приведен пример диапазонов долей доступной широты канала связи для используемых типов данных.

Таблица 1 – Наборы разных типов данных

Типы данных.	Краткое описание
<b>Постоянный активный поток</b> (активная передача)	Узел нагружен максимально согласно своим характеристикам, используется при постоянной передаче больших объёмов.
<b>Аудио–видео данные</b> (высокая загрузка)	Узел является, активным участником приёма-передачи данных, например, потоковой видеотрансляции.
<b>Транзитный поток</b> (сервисные данные)	Узел служит промежуточной точкой маршрута передачи данных.
<b>Текстовые данные</b> (малая загрузка)	Простая пересылка текстовых сообщений.
Незначительная загрузка	На узле в основном присутствуют сервисные данные, необходимые для нормального функционирования самой сети.

Таблица 2 – Наборы разных типов данных в рамках диапазонов

Типы данных	Доля <b>недоступности</b> полосы пропускания (максимально (max) и минимально (min) допустимая) (в долях)	
	max	min
Активная передача	0,3	0,1
Аудио-видео поток	0,5	0,2
Транзитный поток данных	0,4	0,8
Текстовые данные	0,9	0,7
Сервисные данные	0,9	1

Далее в рамках работы проведены исследования нагрузки при работе системы. Использовался набор данных тестовой выборки при моделировании работы узла для выделенных типа данных.

Набор данных №1. Узел передает постоянный, чаще всего высоконагруженный поток данных. В моменты наибольшей нагрузки канал узла имеет интервал доступной полосы пропускания не более, чем на 30 процентов.

Постоянный активный поток	0,3	0,1
---------------------------	-----	-----

Сравнение результатов приведено на рисунке 1.

Набор данных № 2. Узел передает аудио-видео данные, чаще всего поток данных постоянный. В моменты наибольшей нагрузки канал узла имеет доступной полосы пропускания не более, чем на 50 процентов.

Высокая загрузка	0,5	0,2
------------------	-----	-----

Сравнение результатов приведено на рисунке 2.

Набор данных № 3. Узел практически не используется и не передает данные, весь поток данных практически состоит из технической информации. В моменты наибольшей нагрузки канал узла свободен на 90 процентов.

Незначительная загрузка	0,9	1
-------------------------	-----	---

Сравнение результатов приведено на рисунке 3.

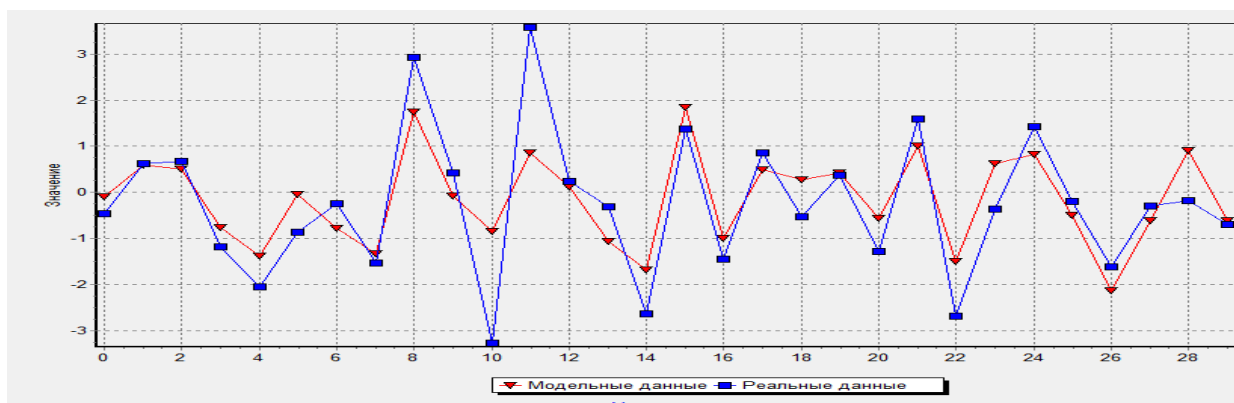


Рисунок 1 – Сравнение результатов моделирования состояния узла с реальными данными (набор 1)

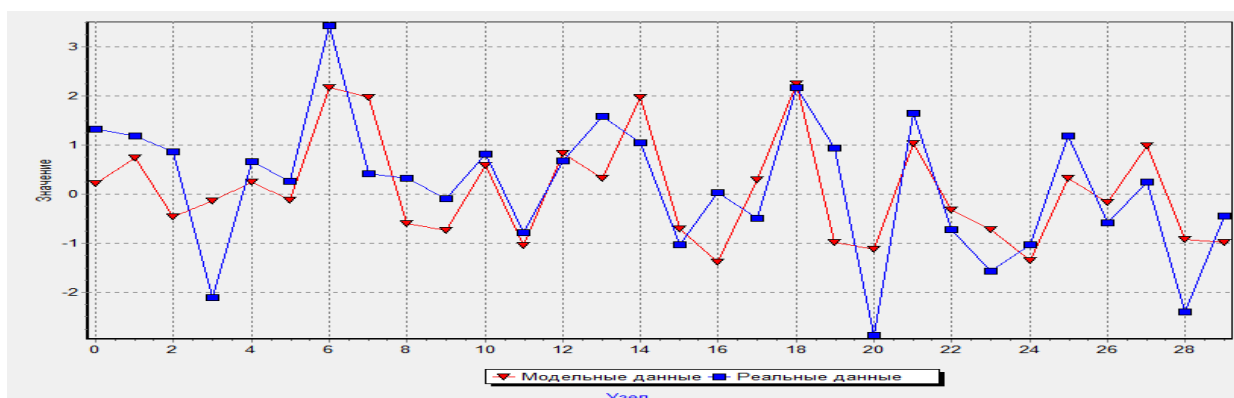


Рисунок 2 – Сравнение результатов моделирования состояния узла с реальными данными (набор 2)

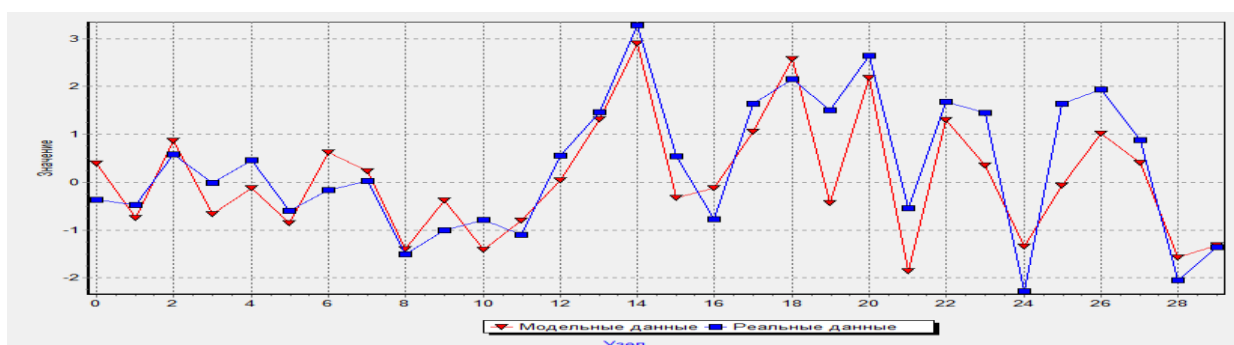


Рисунок 3 – Сравнение результатов моделирования состояния узла с реальными данными (набор 3)

### Заключение.

В результате работы сети в нормальном режиме было выявлено, что при определенном типе трафика, в частности, при передаче видео-потока при средней загрузке узла, точность прогноза ниже при сравнении с реальными данными статистики.

### Библиографический список

1. О методе оценивания промежуточных узлов передачи данных для маршрутизации в иерархических сетях разной топологии / А.В. Грачев, Т.В. Киселева, А.С. Добрынин, Р.С. Койнов // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2015. – № 1. – С. 32–38.

## ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕМА СНИЖЕНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГОПРИНИМАЮЩИХ УСТРОЙСТВ В ПРОЕКТЕ УПРАВЛЕНИЯ СПРОСОМ НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ

Городнов Я.А., Кузнецова Е.С.,

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»  
г. Новокузнецк, Россия, igorodnov96@gmail.com

**Аннотация.** Исследованы методы определения и контроля снижения объема потребления электроэнергии энергопринимающими устройствами в дни событий по снижению потребления в рамках проекта по управлению спросом. Приведены примеры определения оптимального метода в зависимости от графика и объема нагрузки потребителя электроэнергии. Приведены выводы по применимости методов к различным потребителям.

**Ключевые слова:** управление спросом на электроэнергию, методы определения объема снижения потребления, методы контроля, график базовой нагрузки, заявленный график нагрузки, максимальная базовая нагрузка.

**Abstract.** The methods of determining and controlling the reduction in the volume of electricity consumption by energy receiving devices during the days of events to reduce consumption within the framework of the demand management project are investigated. Examples of determining the optimal method depending on the schedule and the amount of load of the electricity consumer are given. Conclusions on the applicability of the methods to various consumers are presented.

**Keywords:** electricity demand management, methods for determining the volume of consumption reduction, control methods, base load schedule, declared load schedule, maximum base load.

Возможность потребителей влиять на спрос – ключевая черта любого эффективно функционирующего конкурентного рынка. Это утверждение справедливо для любого рынка, и рынок электроэнергии не исключение. Особые свойства электроэнергии как товара (одновременность производства и потребления, невозможность создания складских запасов или замены другим товаром) привели к тому, что исторически потребители не имели практической возможности влиять на баланс спроса и предложения, а, следовательно, и на цены на рынке. Потребители электроэнергии не уменьшают потребление при росте цены на электроэнергию. В условиях такой неэластичности спроса активной стороной, полностью определяющей цену электроэнергии, выступают производители.

Благодаря современным тенденциям в электроэнергетике, появлению цифровых интервальных приборов учета электроэнергии, развитию телекоммуникаций и «интеллектуальных сетей» появилась возможность повышения эластичности рынка электроэнергии и привели к появлению концепции demand response (управление спросом).

Таким образом, в 2017 году в России был запущен пилотный проект по управлению спросом на электроэнергию для потребителей – участников оптового рынка, а в июне 2019 года, согласно постановлению Правительства РФ № 287 от 20.03.2019г, стартовал пилотный проект по формированию механизма управления спросом розничных потребителей. Данный проект включен в стратегию энергетического развития Российской Федерации на период до 2035 года, утвержденной распоряжением Правительства РФ.

Управление спросом, являясь новым источником гибкости в энергосистеме, конкурирует как с наименее эффективной и наиболее дорогой частью действующей генерации, так и с инвестициями в новую генерацию и сетевые объекты, снижая потребность в них. Цели внедрения механизмов управления спросом можно разделить по времени проявления эффектов:

– в краткосрочной перспективе это уменьшение затрат потребителей на энергоснабжение за счет более эффективного балансирования на рынках электроэнергии и снижения цен на РСВ;

– в среднесрочной перспективе это вывод из эксплуатации неэффективного энергооборудования, замещенного в рамках реализации программ по управлению спросом;

– в долгосрочной перспективе это временный отказ от строительства генерации или сетевого оборудования в энергорайонах быстрого роста спроса, территориальных, топливных, режимных или стоимостных ограничений на ввод новых энерго мощностей.

Основными участниками проекта управления спросом являются:

– системный оператор - осуществляет централизованное оперативно-диспетчерское управление Единой энергетической системой России;

– агрегатор управления спросом - специализированные организации, координирующие способность группы розничных потребителей управлять своим электропотреблением;

– потребители розничного рынка.

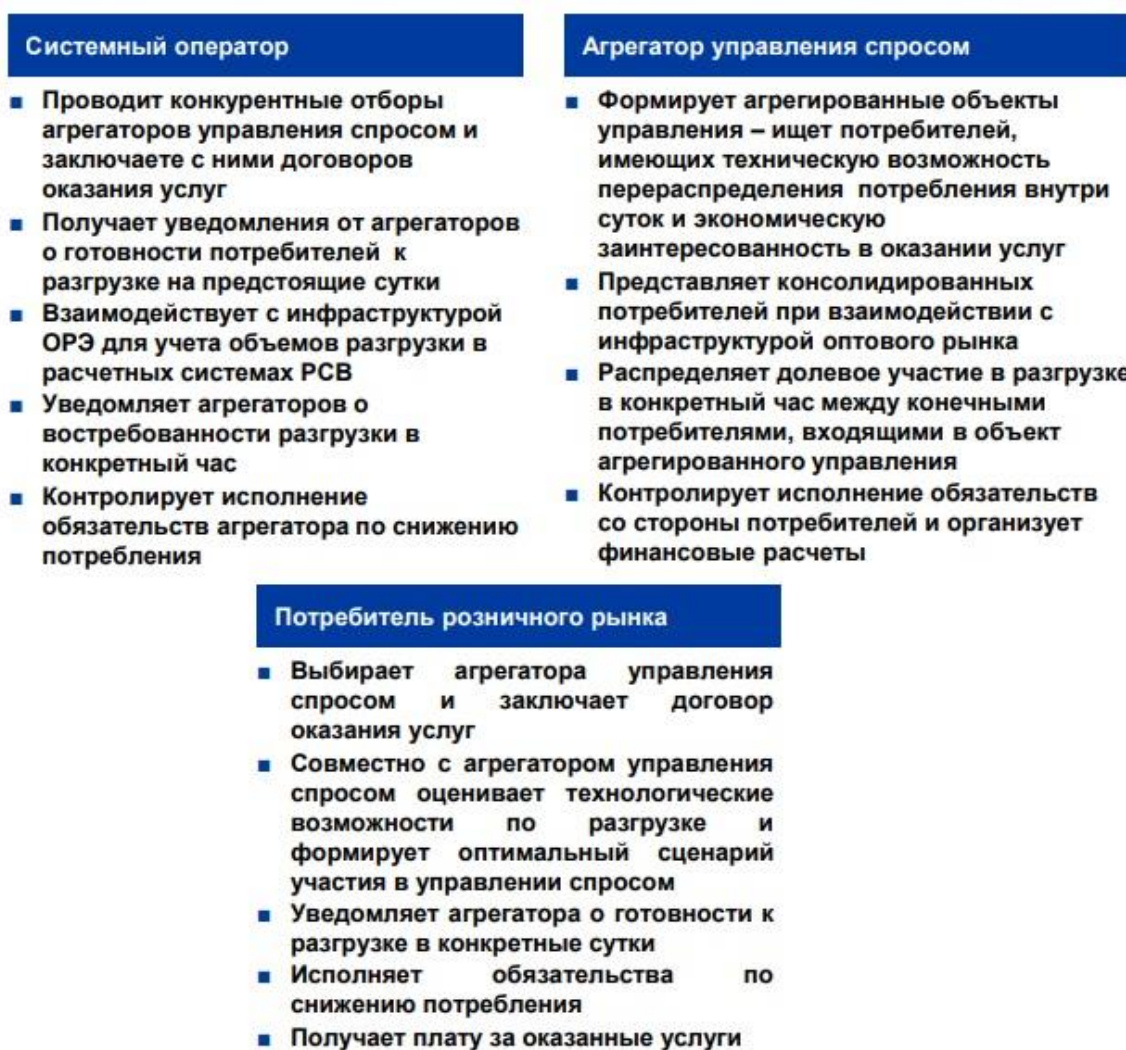


Рисунок 1 – Основные функции участников проекта управления спросом на электроэнергию

Модель взаимодействия субъектов проекта выглядит следующим образом:

1. потребитель заключает договор оказания услуг по изменению нагрузки с агрегатором управления спросом;

2. имея договор с потребителем, агрегатор получает возможность принять участие в конкурентном отборе исполнителей услуг по управлению спросом. Организатором конкурентного отбора является Системный оператор;
3. в случае успешного прохождения конкурентного отбора агрегатор заключает с Системным оператором договор оказания услуг по управлению спросом.

Согласно условиям проекта количество необходимых разгрузок энергопотребляемого оборудования в месяц может варьироваться от 1 до 5. Продолжительность разгрузки – 2 или 4 часа подряд по выбору агрегатора (с учетом возможностей конечного потребителя). Объем снижения потребления также заявляется агрегатором управления спросом, и также исходя из возможностей потребителя к снижению потребления.

В рамках реализации услуг по управлению спросом применяются различные методы контроля исполнения и оценки показателя участия в снижении потребления. Согласно стандартам «NAESB Business Practice Standards for Measurement and Verification for demand response» к методам контроля исполнения событий по снижению энергопотребления предъявляются такие требования как: точность, гибкость, простота, воспроизводимость.



Рисунок 2 – Модель взаимодействия субъектов проекта по управлению спросом

Для оценки эффективности участия потребителя в проекте по управлению спросом и расчета денежного вознаграждения за выполнение задания Системного оператора на снижение нагрузки необходимо качественно определить объем фактического снижения потребления энергопринимающих устройств в требуемые часы относительно теоретической нагрузки, которая, имела бы место при отсутствии события управления спросом.

Для этих целей применяются три основных метода:

1. график базовой нагрузки;
2. заявленный график;
3. максимальная базовая нагрузка.

Все эти методы в качестве информации о фактическом потреблении используют данные коммерческого учета электроэнергии. Методы графика базовой нагрузки и максимальной базовой нагрузки также применяют данные коммерческого учета как источник информации о теоретической нагрузке в отсутствие события.

Методы контроля за исполнением обязательств по снижению нагрузки различаются по критериям применимости к объектам энергопотребления, а также по точности и сложности расчетов.



Метод графика базовой нагрузки основан на применении информации об объемах потребления объекта в предыдущие периоды. Для расчета принимаются предыдущие 10 дней фактического потребления.

Точность данного метода определяется, при сопоставлении графика базовой нагрузки с фактическим энергопотреблением объекта в те дни, когда отсутствуют события по управлению спросом (нет команд от Системного оператора). Оценить применимость метода для конкретного потребителя можно по характеристике RMSE – среднеквадратическое отклонение ошибки. Однако более удобным способом будет являться характеристика RRMSE – относительное среднеквадратическое отклонение.

$RRMSE = RMSE/C$ , где  $C$  – среднее потребление за период. Относительное среднеквадратическое отклонение – величина безразмерная и удобна для нормирования.

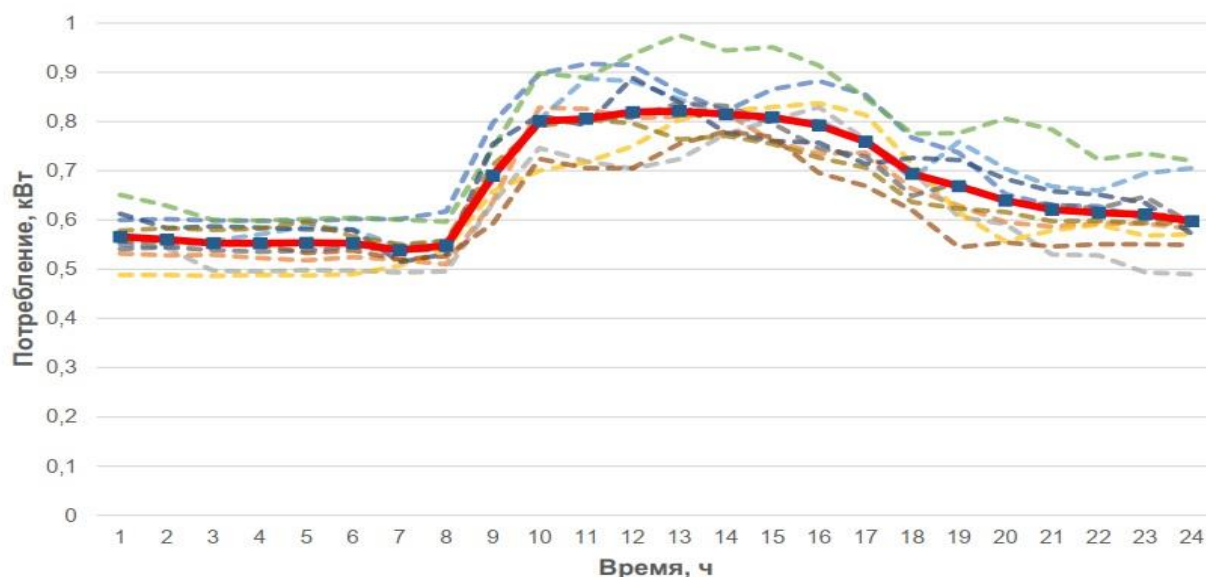


Рисунок 3 – График базовой нагрузки на основе энергопотребления за предыдущие 10 дней

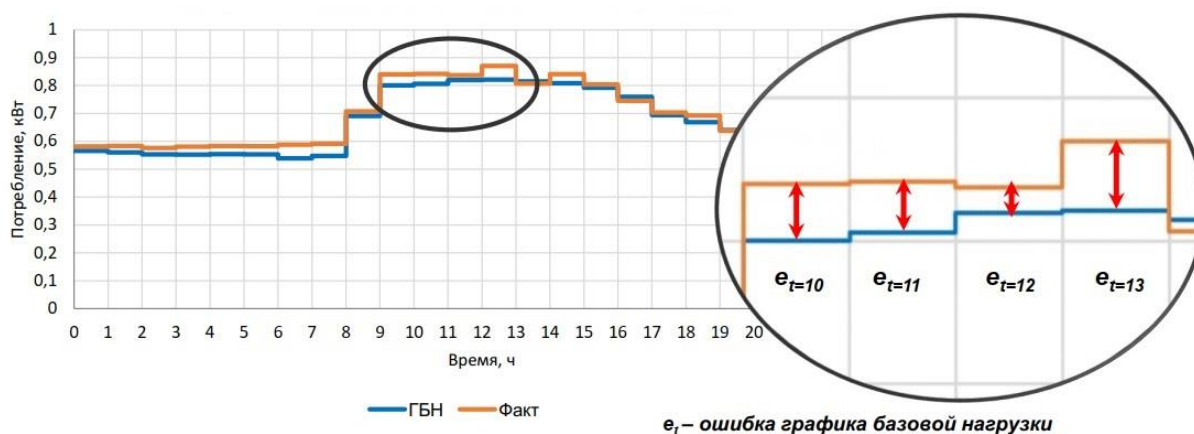


Рисунок 4 – Сопоставление графика базовой нагрузки и фактического потребления

Ошибка графика базовой нагрузки ( $e_t$ ) – это разница между ГБН и фактическим потреблением в каждый час. Совокупность ошибок можно описать среднеарифметическим значением.

Требованием проекта по управлению спросом регламентировано требование  $RRMSE \leq 0,2$ . Это значит, что среднеквадратическое отклонение ошибки не должно превышать 20% от среднего потребления объекта.

Плюсами метода графика базовой нагрузки являются:

- подходит к большому количеству потребителей;
- простота расчета;
- устойчивость к манипулированию.

К минусам ГБН можно отнести требовательность к объемам потребления и наличие относительно типового графика нагрузки каждый день.

Метод заявленного графика нагрузки схож с методом графика нагрузки, но вместо расчетного теоретического потребления принимается типовой график нагрузки в дни отсутствия события по управлению спросом. Объем разгрузки также определяется аналогичным с ГБН способом: сравнением фактического потребления в часы события и заявленным графиком.

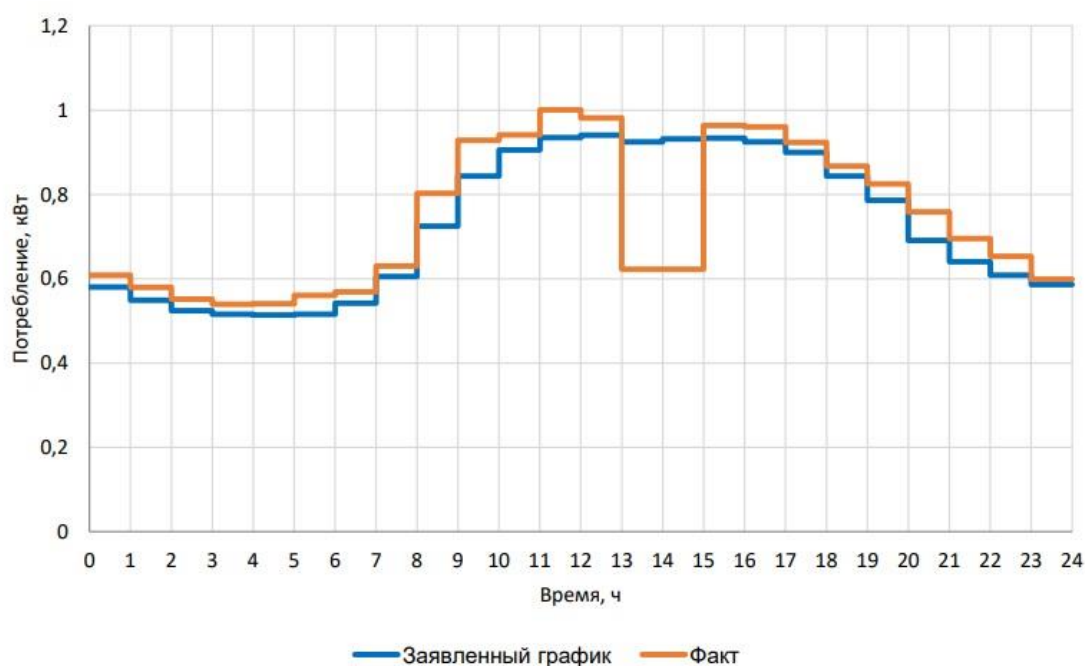


Рисунок 5 – Сопоставление графика заданной нагрузки и фактического потребления в день события по управлению спросом

Данный метод имеет существенный минус, заключающийся в возможном манипулировании графиком со стороны участников проекта – потребителей.

Подходит к ограниченному кругу потребителей из-за необходимости точного планирования своего потребления. Однако для потребителей с относительно небольшим потреблением и качественным планированием метод заданного графика нагрузки будет более предпочтительным из-за его простоты и гибкости применения.

Метод максимальной базовой нагрузки представляет собой алгоритм расчета объема снижения потребления как разницу между условной максимальной нагрузкой и максимальной базовой нагрузкой. Величина максимальной базовой нагрузки задается потребителем (агрегатором). А величина МБН определяется как средняя величина максимальной нагрузки за последние 10 дней.

Данный метод лучше всего подходит потребителям с переменным графиком нагрузки при стабильном суточном потреблении (повторно-кратковременный или иные подобные режимы работы).

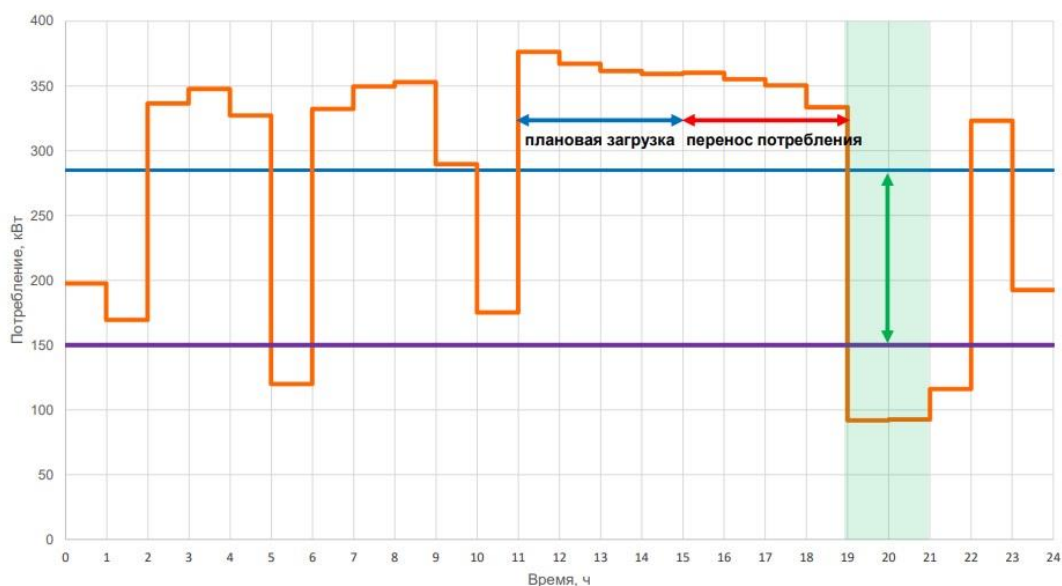


Рисунок 6 – Метод максимальной базовой нагрузки в день события по управлению спросом

#### Выводы.

Приведена краткая теория по функционированию проекта по управлению спросом на электроэнергию. Описаны функции участников проекта и приведена модель их взаимодействия.

Проведено исследование методов контроля потребителей, участвующих в проекте, и оценки результатов снижения их нагрузки в дни событий по управлению спросом. Приведены графики, иллюстрирующие каждый метод для расчета результатов снижения. Сделаны краткие выводы о плюсах и минусах методов контроля и их применимости к различным потребителям.

#### Библиографический список

1. Ф. Опадчий, Д. Холкин. Управление спросом в электроэнергетике России: открывающиеся возможности. - Москва, 2019. – 100 с.
2. Л.Д. Гительман, Б.Е. Ратников. Экономика и бизнес в электроэнергетике: междисциплинарный учебник - Москва: Экономика, 2014г. – 432 с.
3. О механизме управления спросом на электроэнергию. Пилотный проект по вовлечению потребителей розничного рынка электроэнергии в управление спросом на электроэнергию. АО «Системный оператор единой энергетической системы», 2019г. – 31 с.
4. Постановление Правительства РФ от 20 марта 2019г. №287 О внесении изменений в некоторые акты правительства российской федерации по вопросам функционирования агрегаторов управления спросом на электрическую энергию в единой энергетической системе России.
5. М. Кулешов, С. Рычков. Концепция функционирования агрегаторов распределенных энергетических ресурсов в составе Единой энергетической системы России. Москва, 2018г. 46 с.

**АСПЕКТЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ  
ПРОБНЫХ ПЛОЩАДЕЙ В КАЧЕСТВЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗРАСТНЫХ  
ИНТЕРВАЛОВ НА ОСНОВЕ РАЗМЕРОВ КРОН ЛИСТВЕННОЙ СИБИРСКОЙ  
(ПОЛЯРНЫЙ УРАЛ)**

Агапитов Е.М.<sup>1</sup>, Фомин В.В.<sup>1</sup>, Михайлович А.П.<sup>1</sup>, Рогачев В.Е.<sup>1</sup>, Голиков Д.Ю.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Уральский государственный лесотехнический университет  
г. Екатеринбург, Россия, agapitovet@m.usfeu.ru; fominvv@m.usfeu.ru;  
anna.mikhailovich@gmail.com; rogachevve@m.usfeu.ru

<sup>2</sup> Ботанический сад УрО РАН  
г. Екатеринбург, Россия, mit2704@gmail.com

**Аннотация.** В статье приведены результаты математико-статистического распределения проекций кроны по трем возрастным группам. Наземные данные показали высокую математическую зависимость. Это позволило на основе разработанных методик распознавания древесной растительности дешифровать более 90 тысяч деревьев в границах исследуемого участка. Затем проведено соотношение размеров проекций кроны каждого дерева с вероятностным возрастным распределением.

**Ключевые слова:** дешифрирование, математический анализ, экотон верхней границы древесной растительности, лиственница сибирская, аэроснимки, беспилотный летательный аппарат.

**Abstract.** The article presents the results of the mathematical and statistical distribution of crown projections for three age groups. Ground data showed a high mathematical dependence. This made it possible, on the basis of the developed methods for recognizing woody vegetation, to decipher more than 90 thousand trees within the boundaries of the study area. Then, the ratio of the sizes of projections of the crowns of each tree was carried out with a probabilistic age distribution.

**Keywords:** interpretation, mathematical analysis, ecotone of the upper boundary of tree vegetation, Siberian larch, aerial photographs, unmanned aerial vehicle.

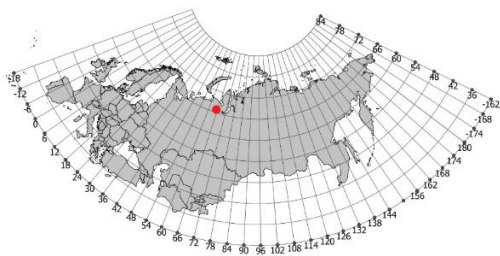
Тенденции потепления климата позволяют изучать растительные сообщества и проводить мониторинг распространения древесной растительности. До появления высокоточных систем геопозиционирования мониторинг за растительностью осуществлялся при помощи ландшафтных снимков [1]. Самые ранние снимки в любом районе исследований несут большой пласт информации о распределении древесно-кустарниковой растительности в пространстве. Повторение ландшафтных снимков с одних и тех же точек с периодичностью в несколько лет позволяло оценивать динамику без применения высокоточных инструментов. У некоторых форм древесной растительности есть такой показатель как предел произрастания, смещения границ существующих пределов позволяет строить климатические модели прошлого и давать вероятностный прогноз на будущее. Вся территория от Южного до Полярного Урала является предметом мониторинга из-за горных образований, которые и являются естественными ограничениями для произрастания растительных сообществ [2,3].

Современная промышленность позволила сделать доступными беспилотные летательные аппараты в качестве инструмента для изучения разного рода растительности по всей планете. Для использования таких технологий требуются базовые навыки управления беспилотными аппаратами (далее БПЛА). Один из таких БПЛА был использован в качестве инструмента для создания ортофотопланов местности района исследований.

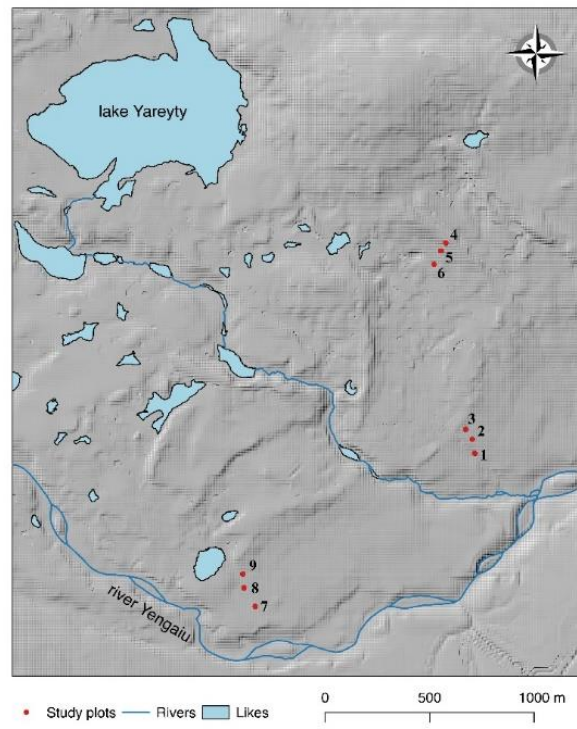
Расположение района исследований позволило изучать древесную растительность с минимальным антропогенным влиянием [4,5]. Район находится на юго-западном макросклоне горного массива Рай-Из (Полярный Урал), расположение на карте показано на рисунке 1 под литерой А и Б. Исследования ведутся с 1960-х годов группой ученых [6].



а



б



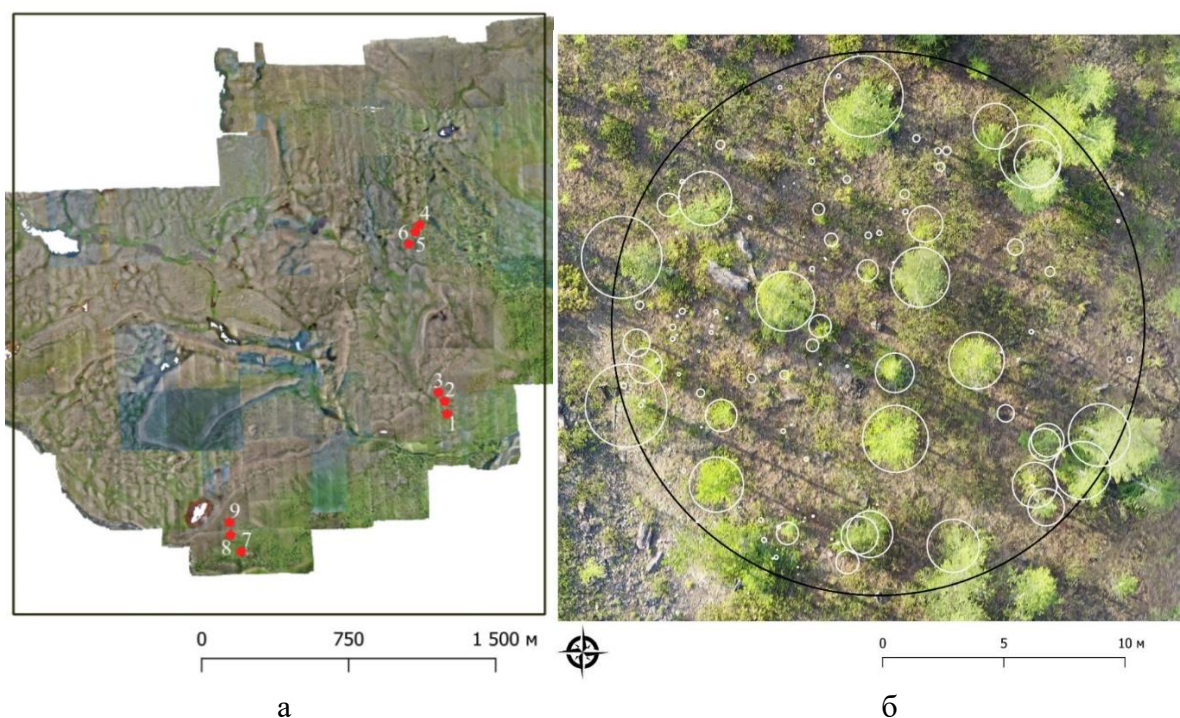
в

а – на карте мира (белая точка), б – на карте Евразии (красная точка), в – цифровая модель рельефа с водной системой и расположение пробных площадей

Рисунок 1 – Расположение района исследований

Методика закладки пробных площадей включала в себя определение координаты центра пробной площади и на основе этой координаты и расстояний от центра и углов относительно С-Ю, определение координаты каждого дерева в границе пробной площади. Затем измерялись все биометрические параметры каждого дерева: проекцию кроны в двух взаимно перпендикулярных проекциях, высоту, диаметры шейки корня и ствола на высоте 1,3 м (если дерево достигало высоты 1,3 м). Измерялись все деревья без исключений – высотой от 2 см. Возраст крупных деревьев определялся при помощи приростного бурава, маленьких – при помощи образцов. Модель одной из пробных площадей представлена на рисунке 2 под литерой Б.

Ортофотоплан района исследований создавался при помощи БПЛА DJI Phantom 4 Advanced (Китай), в качестве визуализации полетов в полевых условиях использовался телефон AGMX2 (Китай). Приложение для облета территорий – Pix4Dcapture, которое позволило в автоматическом режиме, под управлением данного программного обеспечения, получать равномерно распределенные снимки над территорией вылета. Сшивка производилась в лабораторных условиях при помощи программного обеспечения Agisoft Photoscan Professional (ГК Геоскан). Это позволило сшить отдельные снимки в ортофотоплан, который представлен на рисунке 2 под литерой А.



а – ортофотоплан района исследований, б – модель пробной площади и растровое изображение местности

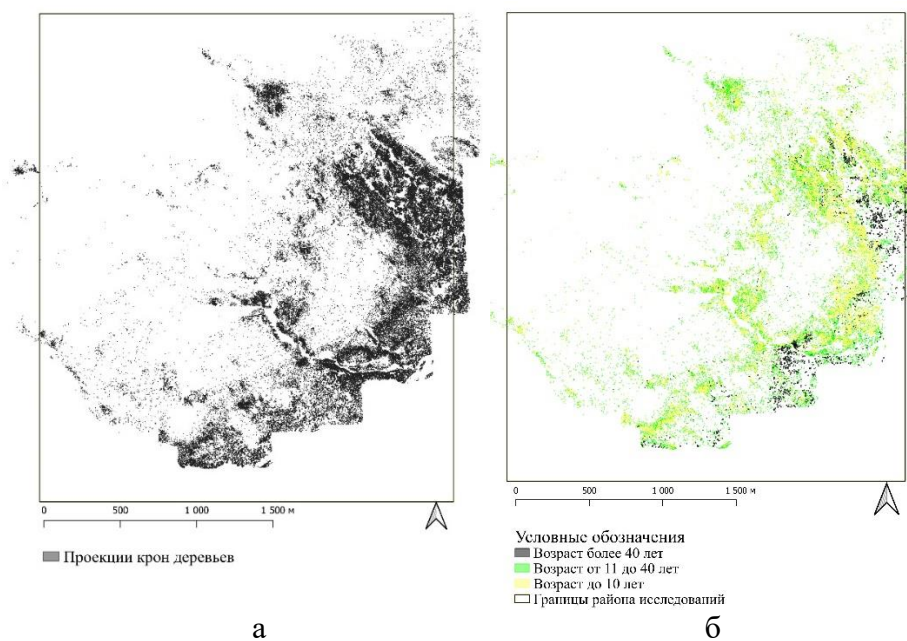
Рисунок 2 – Данные полученные при помощи БПЛА

Полученные математические модели пробных площадей позволили выявить зависимости размеров проекций крон и возрастов деревьев. Распределение имело вероятностный характер, что позволило разделить по возрасту на 3 разные группы. Первая группа – до 10 лет, составляет 36% от общего числа, вторая группа наибольшая по количеству – от 11 до 40 лет, составляет 44% от общего числа и наименьшая группа – более 40 лет, что составляет 20 % от общего распознанного количества деревьев[7].

Была проведена оценка выбранными операторами текстурных и цветовых характеристик крон для распознавания [8,9]. В оценке участвовали 4 оператора, выборка пробных площадей была распределена на 3 учебных и 6 тестовых пробных площадей. оценку согласованности проводили в соответствии с ГОСТ [10].

Распознавание проводилось в лабораторных условиях, работа по дешифрированию проводилась одним оператором. В границах района исследований распознано более 90 тысяч деревьев, статистическое распределение на группы позволило соотнести каждое дерево с нужной группой по радиусу кроны. Результаты распознавания и возрастного распределения представлена на рисунке 3 под литерой А и Б.

В целях исследования были заложены и обработаны биометрические данные деревьев на 9 пробных площадях. Это позволило получить данные о более 800 деревьев наземным способом. При помощи беспилотного летательного аппарата отснята территория равная 8,3 км<sup>2</sup>. Проведено дешифрирование в границах района исследований, которое позволило распознать более 90 тысяч экземпляров лиственницы сибирской. Математический анализ позволил выявить вероятностную зависимость распределения крон на возрастные группы. Полученные данные по распознаванию имеют большой потенциал для углублённых исследований и увеличения статистического материала, математические модели и их доработка может позволить в дальнейшем обучать искусственный интеллект в целях дешифрирования древесной растительности.



а – все распознанные кроны, б – распределение распознанных кроны на 3 возрастных группы

Рисунок 3 – Границы района исследований с распознанными кронами лиственницы сибирской

Это исследование было совместно профинансировано Министерством науки и образования России (проекты № FEUG-2020-0013, № FEUG-2021-0009). Подход к отбору поколений деревьев по диаметру кроны был разработан в рамках проекта Министерства науки и образования Российской Федерации № FEUZ-2021-0014.

#### Библиографический список

1. Моисеев, П. А. Программа мониторинга экотона верхней границы древесной растительности на особо охраняемых природных территориях Алтае-Саянского экорегиона / П. А. Моисеев, С. Г. Шиятов, Н. М. Дэви ; Институт экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук; Проект ПРООН/МКИ «Расширение сети ООПТ для сохранения Алтае-Саянского экорегиона». – Красноярск : Издательство «Город», 2010. – 86 с. – ISBN 978-5-904314-28-6.
2. Дэви Н. М., Кукарских В. В., Галимова А. А. Современная динамика высокогорных лесов на Северном Урале: основные тенденции / Н. М. Дэви, В. В. Кукарских, А. А. Галимова [и др.] // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Биология. – 2018. – Т. 11. – № 3. – С. 248-259. – DOI 10.17516/1997-1389-0069.
3. Шиятов, С. Г. Реакция древесной и кустарниковой растительности на современные изменения климата в горах полярного Урала / С. Г. Шиятов // Динамика экосистем в голоцене : Материалы второй Российской научной конференции – Екатеринбург: Рифей, 2010. – С. 222-227.
4. Григорьева, А. В. Особенности возобновления лиственницы сибирской на верхнем пределе ее произрастания на Урале и факторы, его определяющие / А. В. Григорьева, П. А. Моисеев // Сибирский экологический журнал. – 2018. – Т. 25. – № 1. – С. 17-31. – DOI 10.15372/SEJ20180102.
5. Мазепа, В. С. Образование многоствольных жизненных форм деревьев лиственницы сибирской в экотоне верхней границы леса на полярном Урале как индикатор изменения климата / В. С. Мазепа, Н. М. Дэви // Экология. – 2007. – № 6. – С. 471-475.

6. Шиятов, С. Г. Современная экспансия лиственницы сибирской в горную тундру полярного Урала / С. Г. Шиятов, В. С. Мазепа // Экология. – 2015. – № 6. – С. 403-410. – DOI 10.7868/S0367059715060165.
7. Fomin V., Agapitov E., Mikhailovich A., Golikov D. Reconstruction of the Expansion of Siberian Larch into the Mountain Tundra in the Polar Urals in the 20th-Early 21st Centuries / V. Fomin, E. Agapitov, A. Mikhailovich, D. Golikov // Forests. – 2022. – Vol. 13. – No 3. – DOI 10.3390/f13030419. – EDN OIWRPB.
8. Методика распознавания лиственницы сибирской на верхнем пределе ее произрастания на полярном Урале с использованием снимков беспилотного летательного аппарата / Е. М. Агапитов, В. Е. Рогачев, А. П. Михайлович, В. В. Фомин // Научное творчество молодежи - лесному комплексу России : материалы XVIII Всероссийской (национальной) научно-технической конференции. – Екатеринбург: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный лесотехнический университет», 2022. – С. 7-11.
9. Методические аспекты распознавания деревьев лиственницы сибирской в экотоне верхней границы древесной растительности на Полярном Урале на аэро- и космоснимках высокого пространственного разрешения / В. В. Фомин, А. П. Михайлович, Е. М. Агапитов [и др.] // Лесная наука в реализации концепции уральской инженерной школы: социально-экономические и экологические проблемы лесного сектора экономики : материалы XII Международной научно-технической конференции – Екатеринбург: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский государственный лесотехнический университет», 2019. – С. 243-246.
10. ГОСТ Р ИСО 5725-2-2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 2. Основной метод определения повторяемости и воспроизводимости стандартного метода измерений / Постановление Госстандарта России от 23 апреля 2002 г. № 161-ст 2002 г. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200029976> (дата обращения 23.10.2022).

УДК 004.891

## РОЛЬ И МЕСТО ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ИНВЕСТИЦИЯХ

Гайнутдинов Л.Н.

*ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»  
г. Новокузнецк, Россия, Linar1911@mail.ru*

***Аннотация.** В работе рассматривается, как применяются информационные технологии в инвестициях, их влияние на инвесторов и экономику, а также их роль для инвесторов в кризисных условиях.*

***Ключевые слова:** инвестиционный рынок, информационные технологии, инвестор, инвестиции, интеллектуальный советник.*

***Abstract.** The paper discusses how information technologies are used in investments, their impact on investors and the economy, as well as their role on investors in crisis conditions.*

***Keywords:** investment market, information technology, investor, investments, intellectual advisor.*

### **Введение**

Информационные технологии с развитием все больше проникают в сферы человеческой деятельности, автоматизируя процессы, которые раньше выполнялись человеком.

Данная тенденция оказывает положительное влияние, так как правильно построенная информационная система имеет множество плюсов:

- сводит до минимума вероятность возникновения ошибок;
- имеет большую производительность, по сравнению с человеком;



– способна легко выполнять задачи, которые были бы не под силу человеку (например, задачи, связанные большим объемом информации – прогнозирование, кластеризация и т.д.).

Целью данной работы является определение роли и места информационных технологий в инвестициях.

В рамках заданной цели можно выделить следующие задачи:

1. рассмотреть где и как применяются информационные технологии в инвестициях;
2. проанализировать их влияние на инвесторов и экономику;
3. определить роль информационных технологий для инвесторов в кризисных условиях.

### **Информационные технологии в инвестициях**

Информационные технологии нашли широкое применение в сфере инвестиций.

Крупные инвестиционные банки ежедневно проводят многочисленные операции на национальных и международных рынках. Для эффективного функционирования инвестиционных организаций необходима хорошо развитая ИТ-система, начиная от приложений продаж и торговли, заканчивая трудоемкой обработкой статистических данных, анализа рисков организации, расчета и хранения данных [1].

Для того чтобы увеличить инвестиционный процесс были созданы приложения, которые упрощают его, делая легко доступным как для физических, так и юридических лиц.

Перед каждым инвестором стоит ряд вопросов: какой объем ресурсов необходимо вложить; какой проект выбрать; когда осуществлять инвестиции. Для ответа на них были разработаны системы поддержки принятия решений [2].

Большую часть проблем частных инвесторов можно решить с помощью информационных технологий, таких как робо-эдвайзеры, программы на основе блокчейн-технологий, облачные вычисления и т.д. [3].

### **Влияние информационных технологий на инвесторов и экономику**

С каждым годом вовлеченность населения в инвестиционный процесс растет все больше и больше. Это связано с возможностью получения выгоды от инвестирования.

Данная тенденция оказывает положительное влияние не только на инвесторов, но и на экономику. Развитие экономики тесно связано с инвестиционным процессом. Инвестиции – один из основных движущих факторов развития экономики, вне зависимости от того, идет ли речь о государстве, регионе или предприятии.

Информационные технологии для инвесторов, рассмотренные выше повышают уровень их доверия к инвестициям.

В инвестиционной деятельности предприятий выделяют ряд ключевых преимуществ использования ИТ:

- ИТ сокращают расходы компании;
- ИТ упрощают и ускоряют коммуникацию;
- ИТ способствуют стратегическому мышлению;
- обеспечение надежности, безопасности данных и систем;
- создание стратегии инвестирования;
- создание прогноза.

ИТ также широко используются в экономике при анализе огромного количества информации и автоматизации экономических процессов, что положительно сказывается на ее развитии.

### **Роль информационных технологий для инвесторов в кризисных условиях**

В условиях повышенной финансовой и социальной нестабильности и неопределенности развития, рынок становится непредсказуемым. Многие инвесторы, находясь в панике, начинают продавать свои активы, тем самым ещё сильнее усугубляя ситуацию.

Чтобы быть готовым к таким событиям, нужно грамотно составлять инвестиционный портфель отталкиваясь от своих целей и границ риска. Но для этого нужно обладать

знаниями в этой сфере, а также необходимо постоянно быть в курсе новостей, анализировать их и быстро принимать решения.

С решением данной задачи может помочь интеллектуальный советник на базе искусственных нейронных сетей.

Суть его работы заключается в сборе и анализе информации, построении прогнозов и формировании на их основе индивидуального инвестиционного портфеля, который бы соответствовал критериям инвестора.

### **Выводы**

Информационные технологии занимают значимую роль в сфере инвестиций и экономики в целом. Они применяются для проведения операций на рынках, хранения данных и их анализа. Среди населения широко распространяется идея инвестирования через приложения, которые делают эту возможность легко доступной. Но для инвестора получить доступ к рынку недостаточно, необходимо ещё грамотно сформировать инвестиционный портфель, чтобы в случае кризисной ситуации не потерять все. Интеллектуальный советник на базе искусственных нейронных сетей позволяет решить данную задачу. За счёт этого повышается уровень доверия к инвестициям, и экономика развивается.

### **Библиографический список**

1. Нерсисян А.А., Мишура Л.Г. Исследование внедрения информационных технологий в инвестиционную деятельность // Экономика и экологический менеджмент. 2019. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-vnedreniya-informatsionnyh-tehnologiy-v-investitsionnyu-deyatelnost> (дата обращения: 07.11.2022).

УДК 681.5.08

## **ЦИФРОВАЯ МЕТРОЛОГИЯ: ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ЕЕ МЕСТО В МОДЕЛИРОВАНИИ СИСТЕМ**

**Тагильцев-Галета К.В., Лактионов С.А.**

*ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»  
г. Новокузнецк, Россия, [tagister463@gmail.com](mailto:tagister463@gmail.com)*

***Аннотация.** Термин «цифровая метрология» возник относительно недавно, но уже имеет весьма широкое распространение. Однако определение понятия «цифровая метрология» нет в направляющих документах, таких, как ГОСТ Р 8.596-2002 или РМГ 29-2013. Цель данной работы – исправить данный недостаток.*

***Ключевые слова:** цифровая метрология, определение, модель измерения.*

***Abstract.** The term «digital metrology» appeared relatively recently, but is already very widespread. However, the definition of the concept of «digital metrology» is not in the guiding documents, such as GOST R 8.596-2002 or RMG 29-2013. The purpose of this work is to correct this shortcoming.*

***Keywords:** digital metrology, definition, measurement model.*

Термин «цифровая метрология» возник относительно недавно, но уже имеет весьма широкое распространение. Однако определение понятия «цифровая метрология» нет в направляющих документах, таких, как ГОСТ Р 8.596-2002 или РМГ 29-2013. Цель данной работы – исправить данный недостаток.

Необходимо начать с обзора работ отечественных авторов.

В публикации 2008 года был проведен обзор метрологии цифровых измерений. Автор [1] дает следующее определение:

«Определение: **Метрология цифровых измерений (цифровая метрология)** – наука о **цифровых измерениях**, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

## Примечания

**Цифровая метрология** отличается от традиционной метрологии тем, что имеет дело только с **цифровыми измерениями**», где «цифровое измерение физической величины – измерение, результат которого представлен в цифровом виде (цифровой результат).»

**Цифровое измерение – это всегда прямое измерение (в строгом смысле понятия измерения измерение всегда прямое).** Понятие косвенного измерения в метрологии цифровых измерений для цифровых операций отсутствует, так как операции преобразований цифровых результатов измерений не являются измерением, а относятся к операциям неизмерительного назначения (например, хранения, передачи, вычисления и т.п.).

Цифровой результат измерения физической величины – числовое значение величины, полученное путем ее измерения, представленное в позиционной системе счисления в виде рационального числа определенного формата с известной точностью и достоверной вероятностью.

Данное определение само по себе является некорректным, т.к. прямое измерение (с учетом современных реалий) не позволяет получать результат непосредственно, всегда требуется дополнительное преобразование.

В качестве примера можно представить линейку, на которой каждый штрих имеет над собой цифру, характеризующую значение величины. Тогда любое прямое измерение длины такой линейкой может считаться цифровым.

Это определение не было включено в следующую редакцию РМГ-29 и попытки определить понятие были отложены до 2020-х годов.

Дальнейшие попытки дать определение цифровой метрологии состоялись относительно недавно: авторами [2] было предложено следующее определение: «**цифровая метрология** - деятельность в области метрологии, основанная на использовании цифровых технологий.»

Данное определение также не выдерживает никакой критики по причине отсутствия понятия «цифровые технологии».

Резюмируя отечественные попытки определить цифровую метрологию, можно заметить, что авторы определяют цифровую метрологию, как раздел метрологии, использующий исключительно современные технологии обработки данных, отличный от прочих разделов исключительно этим. В таком случае, цифровая метрология представляет собой раздел практической метрологии.

Далее рассмотрим зарубежные попытки дать определение цифровой метрологии.

В статьях [3 и 4] указываются следующие особенности цифровой метрологии (определение авторами не приводится):

- известность неопределенности в измерении;
- прослеживаемость измерений;
- структурированность данных об измерениях (метаданные).

Первые два пункта имеются и в РМГ 29-2013 (Федеральный закон от 26 июня 2008 г. N 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений») [5 и 6].

Метрологическая прослеживаемость - свойство результата измерения, в соответствии с которым результат может быть соотнесен с основой для сравнения через документированную непрерывную цепь калибровок, каждая из которых вносит вклад в неопределенность измерений.

Отсюда следует, что главной особенностью цифровой метрологии является структурированность данных об измерениях. Алгоритм построения структур таких данных описывается в стандарте ИСО 29053 [7] Automation systems and integration – Quality information framework (QIF) – An integrated model for manufacturing quality information, разработанным Консорциумом Цифровой метрологии в 2020. Именно появление междуна-

родного стандарта от организации, имеющей в своем названии слова «цифровая метрология» и возродило интерес к понятию.

В самом же стандарте описывается алгоритм получения модели производства продукции.

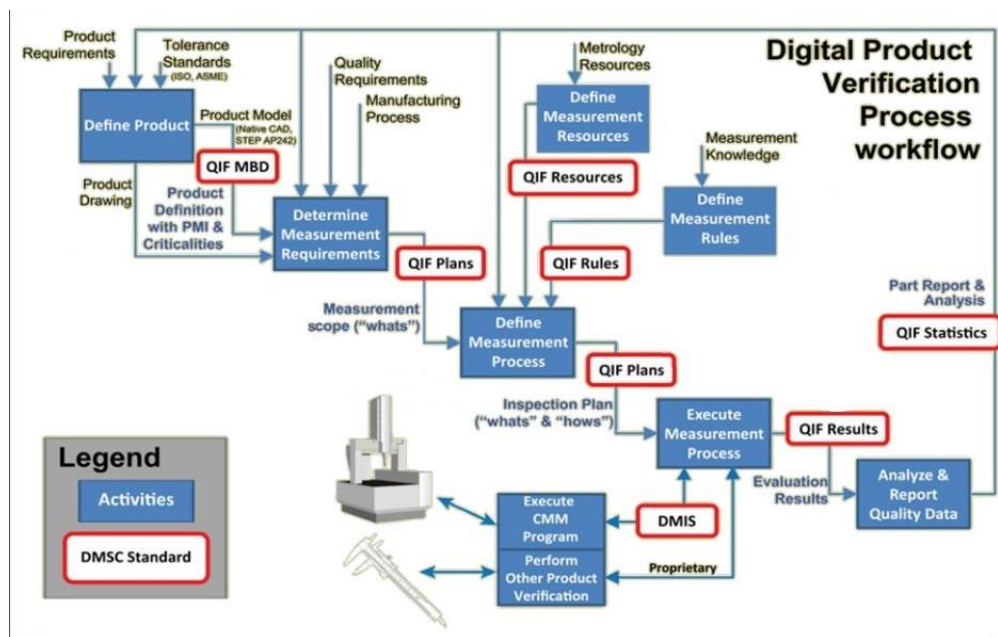


Рисунок 1 – Структура модели контроля качества продукции

Структура модели контроля качества продукции:

1. описание продукта (define product) – исходя из требований к продукту, стандартов на неопределенности при изготовлении продукции и статистики производства разрабатываются модель продукта (CAD и пр.) и чертежи;
2. определение требований к измерениям (determine measurement requirements) – исходя из модели продукта, структуры производственного процесса и стандартов качества определяются необходимые измерения;
3. описание процесса измерения (define measurement process) – на основе требований к измерениям, метрологических ресурсов предприятия и методик измерения определяется порядок измерений;
4. выполнение измерений (execute measurement process) – на основе порядка измерений выполняются измерения (программируемые, если прибор это позволяет) и формируется оценка качества продукции;
5. анализ качества (analyze & report quality data) – на основе оценки качества продукции производится оценка статистики производства.

Данный стандарт позволяет описывать всю структуру измерительного канала в едином документе.

В самом стандарте отсутствует определение «цифровая метрология», однако дается описание одной из ее частей.

Таким образом определить понятие «цифровая метрология» можно следующим образом:

**Цифровая метрология** - раздел практической метрологии, изучающий вопросы гармонизации структуры модели измерений, обеспечения единообразия структур измерительных цепей и каналов измерения.

Принципиальное отличие от прочих разделов практической метрологии заключается в направленности: рассматриваются не вопросы применения положений теоретиче-

ской метрологии (теории измерений), а гармонизация параметров измерительных каналов [8] в измерительных системах.

#### Заключение

В данной работе рассмотрены понятия «цифровой метрологии» и приведено определение цифровой метрологии в связи с другими стандартами.

#### Библиографический список

1. Гуртовцев А. Метрология цифровых измерений, СТА 2 2008 с.80-88
2. Миронов Д.Е., Горбачев П.А., «Цифровая метрология: особенности и терминология» [Электронный ресурс] URL: <https://metro.ru/html/Stati/staty/cifr-metr.html> (дата обращения: 8.11.2022)
3. S. Eichstadt et al. «Metrology for the digital age», Measurement: Sensors 18 (2021), p.18-21
4. T. Mustapaa, J. Autiosalo, P. Nikander, J.E. Siegel, R. Viitala, Digital metrology for the internet of Things, in: 2020 Global Internet of Things Summit (GIoTS), Dublin, Ireland, 2020, pp. 1–6,
5. РМГ 29-2013 ГСИ Метрология Основные термины и определения (2016) // Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Москва: Стандартинформ
6. Федеральный закон от 26 июня 2008 г. N 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений»
7. ISO 29053 Automation systems and integration – Quality information framework (QIF) – An integrated model for manufacturing quality information
8. ГОСТ Р 8.596-2002 Метрологическое обеспечение измерительных систем (2003) // Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Москва: Стандартинформ.

УДК 621.391.823

## ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЙ МОЛНИИ НА НИЗКОВОЛЬТНЫЕ СИСТЕМЫ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОДСТАНЦИЙ 110 КВ

Романова В.А., Дробышев В.К., Титова Т.К., Поползин И.Ю.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»  
г. Новокузнецк, Россия, romanovaviktoria2908@gmail.com

***Аннотация.** Представлены результаты исследований влияний молнии на низковольтные системы высоковольтных электрических подстанций с открытыми распределительными устройствами 110 кВ. Актуальность исследований обусловлена широким распространением таких подстанций, высокими требованиями к надежности их работы, а также повсеместным распространением и высокой вероятностью ударов молнии в подстанции или вблизи них. Для установленного перечня опасных влияний на основе физических процессов молнии разработаны адекватные физико-математические модели. В статье приводятся результаты критического обзора литературных источников, физико-математического моделирования влияний молнии, а также их функциональный анализ, результаты натурных измерений, инженерных расчетов и расчетов по специализированным компьютерным программам. Изучены факторы, входящие в состав моделей, определены их природа (естественный или искусственный) и диапазон возможных значений в условиях подстанции, рассчитаны коэффициенты эластичности. Полученные результаты позволяют установить вклад фактора во влияние молнии и возможность управления фактором.*

***Ключевые слова:** низковольтные системы, низковольтные электрические подстанции, молния, распределительное устройство, помехоустойчивость, электромагнитная обстановка.*

**Abstract.** The article presents the results of studies of the effects of lightning on low voltage systems of high voltage electrical substations with outdoor switchgears of 110 kV. The topicality of research is associated with a wide spreading of such substations as well as with a high reliability requirements of their work and with their widespread distribution and high probability of lightning strikes to the substation or around it. Adequate physical models were developed for the list of hazardous effects based on physical processes of lightning. A model of each effect was studied on the basis of the sensitivity theory. The factors that had been included in the models were studied and were defined in accordance with their nature (natural or artificial), the range of possible values in a substation was determined; the coefficients of elasticity were calculated. The obtained results enable to ascertain the contribution of the factor in the effect of lightning and the ability to control the factor.

**Keywords:** low voltage systems, high voltage electric substations, lightning, switchgear, noise immunity, electromagnetic environment.

Вопросы влияния ударов молний на низковольтные системы высоковольтных электрических подстанций (ПС) с открытыми распределительными устройствами 110 кВ (далее – ОРУ 110 кВ) является сложными актуальным, поскольку подстанции данного типа распространены в Российской Федерации, России и являются важнейшими составляющими системы передачи и распределения электрической энергии. Настоящая статья продолжает исследования, начатые в [1].

ПС с ОРУ 110 кВ занимают большую площадь, высота расположенных на них сооружений составляет 11 м и более, что определяет высокую вероятность их поражения прямыми ударами молнии. Также высока вероятность попадания тока молнии на подстанцию по грозозащитным тросам воздушных линий электропередачи. Кроме того, на ПС с ОРУ 110 кВ широко используются различные низковольтные системы (устройства релейной защиты и автоматики, система собственных нужд, система постоянного оперативного тока, связь и т. п.) с малым уровнем помехоустойчивости. Большинство низковольтных систем выполняют ответственные функции, и сбой в их работе может привести к тяжелым последствиям. Для исключения подобных сбоев должны предусматриваться мероприятия по обеспечению электромагнитной совместимости оборудования, в частности защита систем от электромагнитных влияний молнии [2].

Влияние молнии на оборудование можно представить в виде схемы, показанной на рисунке 1. Объекты влияния – это низковольтные системы электрических ПС: устройства релейной защиты и автоматики, устройства системы собственных нужд, устройства системы постоянного оперативного тока, связь, приборы регистрации и измерения и т.п.



Рисунок 1 – Структура влияния молнии

Вопросы влияния молнии на электрооборудование и механизмы связи являются предметом исследований. Анализ показал, что влияние молнии на низковольтные системы ПС с ОРУ 110 кВ с наибольшей вероятностью происходят при ее ударе в молниеотводы подстанции и грозозащитные тросы высоковольтных линий электропередачи. По данным анализа литературы и из практического опыта установлено, что в результате названных событий возникают следующие последствия:

1. перенапряжения на заземлителе молниеотвода при стекании с него тока молнии;
2. искровой пробой при стекании тока молнии с заземлителя;
3. перенапряжения на конструкции пораженного молнией объекта;
4. перенапряжения между двумя объектами, один из которых поражен молнией;
5. перенапряжения на металлических оболочках при протекании по ним тока молнии;
6. перенапряжения на проводниках, прокладываемых для дополнительной защиты вдоль кабельных трасс;

7. напряжения и токи в петлях проводников, которые возникают при дистанционных влияниях молнии.

Модель влияния молнии может быть представлена в виде функции  $Y$  из  $n$  переменных  $(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n)$  [3]:

$$Y = f(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n), \quad (1)$$

где  $x_1, \dots, x_i, \dots, x_n$  – факторы, определяющие величину влияния молнии.

Для оценки влияния фактора  $x_j$  на величину  $Y$  вычисляется коэффициент чувствительности  $s_j$ :

$$s_j = \frac{\partial Y}{\partial x_j}. \quad (2)$$

Максимальное приращение значения  $\Delta Y$  при изменении исследуемого фактора на величину  $\Delta x_j$  определяется следующим образом:

$$\Delta Y = \sum_{j=1}^n s_j \Delta x_j. \quad (3)$$

Оценка вклада  $x_j$  величину влияния  $Y$  выполняется на основании коэффициентов эластичности:

$$\delta_j = \frac{\partial Y}{\partial x_j} \cdot \frac{x_j}{Y} = s_j \cdot \frac{x_j}{Y}. \quad (4)$$

Коэффициент эластичности  $\delta_j$  показывает, на сколько процентов изменится функция  $Y$  при изменении факторной переменной на 1 %. В связи с тем, что приведенные функции нелинейны, величина коэффициента эластичности не имеет определенного значения. Поэтому его расчет выполняется для всей области возможных значений фактора, что позволяет построить функциональные зависимости изменения коэффициента эластичности. Полученные зависимости дают возможность оценить вклад фактора в величину влияния  $Y$  в любой области значений фактора или влияния.

Приведем пример влияния, вызванного перенапряжениями на заземлителе молниеотвода, возникающими при ударе молнии в молниеотвод. Такие перенапряжения появляются вследствие наличия сопротивления, которое встречает ток молнии при стекании с заземлителя в грунт. При этом поведение заземлителя при стекании с него мощного импульсного тока молнии имеет ряд отличительных особенностей, в частности, возникновение ионизации, индуктивные и емкостные связи, которые необходимо учитывать при анализе.

Указанные процессы могут быть описаны следующей функцией:

$$U_{\text{имп}} = f(I_{\text{м(з)}}, \alpha_{\text{и}}, R_{\text{н}}), \quad (5)$$

где  $I_{\text{м(з)}}$  – ток молнии, стекающий с заземлителя молниеотвода в грунт, А;

$\alpha_{\text{и}}$  – импульсный коэффициент, учитывающий особенности поведения заземлителя при протекании по нему тока молнии;

$R_{\text{н}}$  – сопротивление заземлителя молниеотвода постоянному току, Ом.

Составляющие функции (5) также являются зависимыми переменными и имеют вид:

$$I_{\text{м(з)}} = f(I_{\text{м}}, n_{\text{т}}); \quad (6)$$

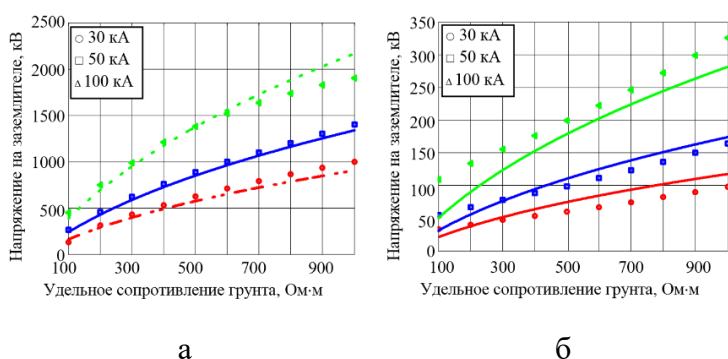
$$\alpha_{и} = f(\rho, I_M); \quad (7)$$

$$R_{п} = f(\rho, L, n, S, d_1, d_2, H, l), \quad (8)$$

где  $n_T$  – число токоотводов молниеотвода, шт.;  
 $I_M$  – ток молнии, кА;  
 $S_3$  – площадь заземлителя молниеотвода, м<sup>2</sup>;  
 $\rho$  – удельное сопротивление грунта, Ом·м;  
 $L$  – суммарная длина горизонтальных заземлителей, м;  
 $H$  – глубина прокладки горизонтальных заземлителей, м;  
 $n$  – число вертикальных заземлителей, шт.;  
 $l$  – длина одного вертикального заземлителя, м;  
 $d_1, d_2$  – диаметр горизонтального и вертикального заземлителя соответственно, м.

Проверка адекватности анализируемой модели выполнена путем сопоставления ручных расчетов и по специализированной программе «ОРУ-М». Расчеты проведены для различных значений удельного сопротивления грунта (от 100 до 1000 Ом·м), тока молнии (30, 50, 100 кА), для заземлителей следующего вида: простой заземлитель молниеотвода с конфигурацией по требованиям: четырехлучевой заземлитель с длиной каждого луча 3 м, на концах лучей – электроды длиной 3 м, глубина прокладки заземлителей 0,7 м, материал – сталь круглая диаметром 12 мм; сложный заземлитель молниеотвода, совмещенный с сетчатым заземляющим устройством подстанции площадью 100×100 м<sup>2</sup> с шагом сетки 20×20 м.

Полученные функциональные зависимости импульсного сопротивления от величины удельного сопротивления грунта для токов молнии 30, 50, 100 кА показаны на рисунке 2.



а – простая модель; б – сложная модель; знаками  $\circ$ ,  $\square$ ,  $\Delta$  отмечены результаты расчетов по компьютерной программе при токах 30, 50, 100 кА соответственно; сплошные линии – результаты расчетов по принятой модели

Рисунок 2 – Зависимость напряжения на заземлителе от удельного сопротивления грунта при разных значениях тока молнии (инженерный и компьютерный расчеты)

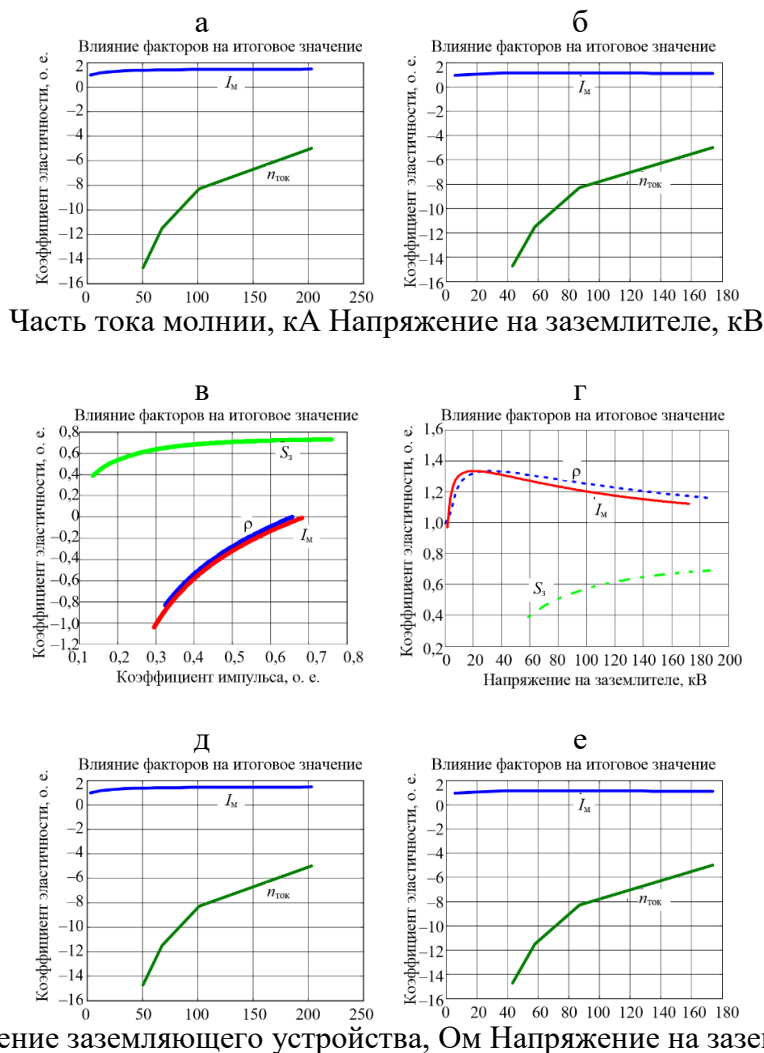
Анализ расчетов показал, что импульсное напряжение имеет одинаковый тренд при изменении удельного сопротивления грунта и тока молнии, максимальная разность полученных значений составляет 18 и 14 % для простого и сложного заземлителей соответственно. На основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что исследуемая модель адекватно и с достаточной точностью отражает рассмотренный процесс.

На следующем этапе проанализированы факторы, составляющие модель, изучена их природа (искусственная или естественная). Искусственными факторами можно управлять (параметры заземлителей, конфигурация и т. п.), естественные факторы можно толь-



ко учитывать (величина тока молнии, удельное сопротивление грунта и т. п.). Определен диапазон возможных значений факторов в условиях высоковольтной подстанции на основании практического опыта и анализа литературных источников [4,5].

Рассчитаны коэффициенты эластичности факторов и построены графические зависимости коэффициентов эластичности от изменения факторов и величины рассматриваемого влияния. Пример названных графических зависимостей факторов функции (5) от изменения  $U_{\text{имп}}$ ,  $I_{\text{М(э)}}$ ,  $\alpha_{\text{и}}$  показан на рисунке 3.



а –  $I_{\text{М(э)}}$ ; б, в, г –  $U_{\text{имп}}$ ; д –  $\alpha_{\text{и}}$ ; е –  $R_{\text{ст}}$

Рисунок 3 – Коэффициенты эластичности факторов функции (5)

Кроме приведенного выше, выполнена систематизация факторов функции (5) по степени их влияния на модель и по их природе [6,7], а именно:

- природные факторы, которые необходимо контролировать: ток молнии, удельное сопротивление грунта;
- искусственные факторы, которыми возможно управлять: число токоотводов, площадь заземляющего устройства подстанции, площадь заземляющего устройства молниеотвода, суммарная длина горизонтальных заземлителей, глубина погружения горизонтальных заземлителей, диаметр горизонтального заземлителя, диаметр вертикального заземлителя, длина вертикального заземлителя, число вертикальных заземлителей.

Аналогичным образом проведены исследования прочих влияний молнии:

– искровой пробой при стекании тока молнии с заземлителя (модель описывается функцией  $r_{и}$  радиуса искровой зоны):

$$r_{и} = f(I_{м}, n_{т}, l, \rho, E_{пр}), \quad (9)$$

где  $l$  – длина заземлителя, м;

$E_{пр}$  – пробивная напряженность грунта, В/м;

– перенапряжения на конструкции пораженного молнией объекта (модель процесса описывается функцией магнитной составляющей индуктированного напряжения  $U_{м}$ , электрической составляющей индуктированного напряжения  $U_{эи}$ , составляющей падения электрического напряжения  $U_{э}$ ):

$$U_{м} = f(a, h, h', r_{э}, v_{т}, t); \quad (10)$$

$$U_{эи} = f(a, h, h', r_{э}, v_{т}, t), \quad (11)$$

где  $a$  – скорость изменения тока молнии, А/с;

$h$  – высота рассматриваемого объекта, м;

$h'$  – высота точки, для которой рассчитывается перенапряжение, м;

$r_{э}$  – эквивалентный радиус токопровода, м;

$v_{т}$  – скорость перемещения прямоугольной волны заряда вдоль канала молнии, м/с;

$t$  – длительность разряда, с;

– перенапряжения между двумя объектами, один из которых поражен молнией (модель процесса описывается магнитной  $U_{м2}$  и электрической  $U_{э2}$  функциями, электростатической составляющей напряжения  $U_{э.ст}$ ):

$$U_{м2} = f(h_{об}, \partial i, \partial t, d, r_{т}); \quad (12)$$

$$U_{э2} = f(R_{вз}, I_{м(2)}); \quad (13)$$

$$U_{э.ст} = f(C, R_{з}, h, I_{м}, d), \quad (14)$$

где  $\partial i$  – величина импульса тока фронта молнии, А;

$\partial t$  – длительность фронта импульса, с;

$h_{об}$  – высота непораженного объекта, м;

$d$  – расстояние между объектами, м;

$r_{т}$  – усредненный радиус непораженного объекта, м;

$R_{вз}$  – сопротивление заземления между объектом и молниеотводом, Ом;

$I_{м(2)}$  – часть тока молнии, протекающего по заземлителю, кА;

$C$  – емкость объекта, пФ;

$R_{з}$  – сопротивление заземления объекта, Ом;

$h$  – высота рассматриваемого объекта, м;

$d$  – расстояние от точки удара до объекта, м;

– перенапряжения на металлических оболочках  $U_{обол}$  при протекании по ним тока молнии:

$$U_{обол} = f(R_0, I_{м}, \rho, \tau_{в}), \quad (15)$$

где  $R_0$  – удельное сопротивление экрана, Ом/м;

$\tau_{в}$  – время спада импульса тока молнии до половины амплитуды, мкс;

– перенапряжения на проводниках  $U_{\text{пзп}}$ , прокладываемых для дополнительной защиты вдоль кабельных трасс:

$$U_{\text{пзп}} = f(R_0, I_M, \rho); \quad (16)$$

– напряжения  $U_{\text{оп}}$  и токи  $I_{\text{эп}}$  в петлях проводников, которые возникают при дистанционных влияниях молнии:

$$U_{\text{оп}} = f(I_M, T_1, h_B, e, f, d_B, \eta, K_S, K_C, r); \quad (17)$$

$$I_{\text{эп}} = f(I_M, T_1, h_B, e, f, d_B, \eta, K_S, K_C, r); \quad (18)$$

где  $h_B$  – ширина или высота витка, м;  
 $e$  – длина витка, м;  
 $f$  – расстояние от канала разряда до стены сооружения, м;  
 $d_B$  – расстояние от витка до стены сооружения, м;  
 $\eta$  – коэффициент экранирования для экрана сооружения (экран LPZ 1);  
 $K_S$  – коэффициент экранирования, учитывающий экранирующий эффект экрана кабеля;  
 $K_C$  – коэффициент, который учитывает распределение тока между идущими вниз проводниками;  
 $r$  – радиус проводника в витке, м.

**Выводы.** На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. представлены результаты исследований влияний молнии на низковольтные системы высоковольтных электрических подстанций с открытыми распределительными устройствами 110 кВ;
2. разработаны, верифицированы и проанализированы физико-математические модели следующих влияний молнии: перенапряжения на заземлителе молниеотвода при стекании с него тока молнии; искровой пробой при стекании тока молнии с заземлителя; перенапряжения на конструкции пораженного молнией объекта; перенапряжения между двумя объектами, один из которых поражен молнией; перенапряжения на металлических оболочках при протекании по ним тока молнии; перенапряжения на проводниках, прокладываемых для дополнительной защиты вдоль кабельных трасс; напряжения и токи в петлях проводников, которые возникают при дистанционных влияниях молнии;
3. изучены факторы моделей (определена природа: естественный или искусственный; диапазон возможных изменений), рассчитаны коэффициенты эластичности для каждого входящего в модель фактора; выполнена систематизация результатов исследований в виде графов, отражающих взаимосвязь между факторами и влияниями молнии;
4. полученная информация систематизирована в виде контрольных перечней, которые применяются при сборе исходной информации для разработки молниезащиты подстанции, обследования существующей молниезащиты подстанции, расследования аварийных ситуаций, связанных с ударами молнии;
5. результаты исследований рекомендуются к применению в следующей практической деятельности: при предпроектных обследованиях подстанций для сбора информации о текущем состоянии молниезащиты, разработке задания на проектирование, проектировании молниезащиты подстанции, приемосдаточных испытаниях молниезащиты и ее периодической инспекции.

## Библиографический список

1. Проблемы обеспечения электромагнитной обстановки вторичного оборудования на электрических подстанциях для питания угольных шахт / В. А. Романова [и др.] // Научно-технические разработки использования минеральных ресурсов. – 2022. – №8. – С. 265-272.
2. Базелян, Э. М. Физика молнии и молниезащиты / Э. М. Базелян, Ю. П. Райзен. М.: Физматлит, 2001. 320 с.
3. Базелян, Э. М. Физические и инженерные основы молниезащиты / Э. М. Базелян, Б. Н. Горин, В. И. Левитов. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 223 с.
4. Криксин, П. В. Оценка электромагнитных влияний на подстанции / П. В. Криксин, М. И. Фурсанов // 65-я науч.-техн. конф. проф.-препод. состава, науч. работников, докторантов и аспирантов Белорус. нац. техн. ун-та. Минск, 2012.
5. Криксин, П. В. Моделирование и анализ процессов, происходящих при стекании тока молнии в грунт / П. В. Криксин // Энергия и Менеджмент. 2012.
6. IEC 62305-1:2010. Protection Against Lightning. Part 1: General Principles. 137 p.
7. VDB Blitzschutz Montage-Handbuch Online. Verband Deutscher Blitzschutzfirmen [Электронный ресурс]. Режим доступа: [www.vdb.blitzschutz.com](http://www.vdb.blitzschutz.com).

УДК 004.75

## DATA MINING В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

Пермякова Е.П., Бочаров Вик.В., Бочаров Вяч.В.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»  
г. Новокузнецк, Россия, [permyakova-ep@yandex.ru](mailto:permyakova-ep@yandex.ru); [bocharov.vitya@gmail.com](mailto:bocharov.vitya@gmail.com);  
[privateinslava@gmail.com](mailto:privateinslava@gmail.com)

**Аннотация.** Анализ данных в реальном времени является одной из самых популярных проблем в сфере обслуживания потребителя, от того насколько точно и актуально система выдаст ответ или рекомендацию, зависит успешность приложения, следовательно, и прибыль разработчика. Идеальное представление такой системы может звучать так, на основе текущих потребностей пользователя выдать ему рекомендацию, в которой он точно заинтересуется. Основной целью представленной статьи является анализ вопросов, касающихся использования средств и методов реализации алгоритмов Data Mining в реальном времени.

**Ключевые слова:** оптимизация, моделирование, классификация, система, поведение пользователя или системы, рекомендательная система.

**Abstract.** Real-time data analysis is one of the most popular problems in the consumer service industry, the success of the application, and therefore the profit of the developer, depends on how accurately and up-to-date the system will give an answer or recommendation. The ideal representation of such a system may sound like this, based on the current needs of the user, give him a recommendation in which he will definitely be interested. The main purpose of this article is to analyze issues related to the use of tools and methods for real-time implementation of Data Mining algorithms.

**Keywords:** optimization, modeling, classification, system, user or system behavior, recommender system.

Интеллектуальный анализ данных и машинное обучение прибывают наиболее выразительной областью исследований и приложений. Все приложения реального времени напрямую либо косвенно зависят от интеллектуального анализа данных и машинного обучения. Так же имеется множество примеров применения Data Mining в реальном времени не только в потребительских системах, но и в других, таких как анализ данных в сфере финансов, розничной торговли, телекоммуникаций, анализ биологических данных и иные научные применения. Вот лишь несколько примеров, где его возможно использовать. Наиболее выразительной сферой исследований и приложений является интеллектуальный анализ данных и машинное обучение.

Data Mining в реальном времени или адаптивная добыча данных – это обновление текущей или существующей модели классификации на основе новых пребывающих данных, которые затем используются повторно для выдачи предсказания. Результатом применения является новая модель классификация, которая с высокой точностью определит потенциального клиента на основе его характеристик или потенциальный товар, который клиент захочет купить.

В адаптивном подходе существует две задачи, первая задача называется исследование (exploring) (построение хорошей модели), вторая задача называется эксплуатирование (exploiting) (использование модели для достижения бизнес-цели). Правильная комбинация данных задач прибывает важной темой в направлении Data Mining в реальном времени [1].

Наблюдение за событиями в режиме реального времени и возможность действовать в соответствии с ними, а не просмотр ежеквартальных отчетов, – это монументальное улучшение процесса.

Поговорим, о предке приложений в реальном времени, а именно о рекомендательных системах. Работа рекомендательных систем заключается в том, чтобы предоставлять клиенту различные продукты, которые возможно могут его заинтересовать. Особенно часто рекомендательные применяются в коммерции. Так как данные системы являются относительно новыми технологиями спектр их применения непрерывно возрастает, новые области включают в себя стационарную розничную торговлю, справочные центры, системы самообслуживания и мобильные телефоны. Все эти системы имеют одну общую черту или характеристику, она заключается в том, что они автоматически представляют рекомендации юзерам и принимают от них обратную связь. Из-за стремительного роста рынка рекомендательных систем и из-за трудоемких алгоритмов, требующих обучения в реальном времени, рекомендательные системы стали одной из основных тем исследования Data Mining.

Рекомендательные системы можно разделить по способу сбора данных:

– явный сбор данных – система собирает данные прямо спрашивая пользователя, например, просит пользователя оценить пункты или заполнять опросы;

– неявный сбор данных – система скрыто наблюдает за действиями, который совершает пользователь, например, просмотр, щелчки, покупки и т.п.).

Очевидно, что неявный сбор лучше всего подходит в сфере обслуживания потребителя.

Формирование рекомендаций может происходить по следующим подходам:

– на основе содержания – составление рекомендаций на основе изучения содержание элементов;

– на основе транзакции – составление рекомендаций на основе поведения пользователя.

При использовании подхода на основе содержания задействуются такие свойства объектов, как цена, описание, название и т.п., для того чтобы вычислить степень сходства между ними. Зачастую к объектам с подобными свойствами применяют кластеризацию и методы Text Mining. Следствием является рекомендация элементов аналогичных выбранному. В большинстве случаев рекомендации построенные на основе содержания, приносят менее вероятные прогнозы, нежели рекомендации на основе транзакций. Однако в случае если новый элемент не имеет глубокой операционной истории, подобные системы являются достаточно полезными.

Коллаборативное фильтрование – это метод информационного поиска, использующего наборы явно или неявно полученных пользовательский предпочтений, в качестве меры информационного уместности или качества. Классическая формулировка, такова: имеется некое количество пользователей и какое-то количество элементов, они составляют собой матрицу ячейками которой является интерес пользователя к элементу. Для

предсказания интереса пользователя к элементу мы выбираем всех пользователей, который также выбрали данный элемент и берем взвешенное среднее число их интересов к данному элементу. Таким образом в зависимости от величины полученных характеристик можно оценить интерес пользователя к элементу на основе интереса других схожих пользователей. Описанный метод коллаборативного фильтрации дает хорошее предсказание, т.к. использует полную историю пользователя. Однако он обладает серьезным несовершенством – это плохая масштабируемость по памяти и по скорости [2].

Так же существует подобный метод, но основанный на сходстве между элементами, а не пользователями. Такой метод называется поэлементным совместным фильтрованием. Он очень похож на метод коллаборативного фильтрации, только мы подсчитываем взвешенное среднее не для всех подобных пользователей, а для всех подобных элементов и оцениваем интерес пользователя на основе значения полученной характеристики.

При использовании методов Data Mining в реальном времени появляется вопрос: точно ли данная стратегия лучшая? Может, было бы лучше предложить абсолютно несхожий элемент, такой, что ни сам пользователь, ни другие подобные никогда не видели. Кроме того, предсказания всегда производится исключительно для одного шага. И тут же возникает вопрос о том, что было бы лучше прогнозировать полную последовательность следующих выборов пользователя и оптимизировать рекомендации для всех последующих шагов.

Данными вопросами максимизации задачи бизнеса для всего множества шагов путем последовательных итераций занимается область усиления обучения (Reinforcement Learning). Усиление обучения рассматривается как набор состояний, в которых можно выполнять действия, и каждое действие переводит систему в новое состояние, приобретая некоторое вознаграждение. Сумма всех вознаграждений должна быть максимизирована.

Формулировка задачи усиления обучения: агент приобретает новое состояние и вознаграждение из среды, принимает решение о соответствующем действии и воздействует на среду. Среда отзывается на действие, переводя агента в новое состояние и передавая ему соответствующее вознаграждение и т.д. Схема взаимодействия представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Взаимодействие агента и среды в усилении обучения

В случае, когда усиление обучения необходимо выполнить для важных случаев, оно базируется на методах динамического программирования. В нем задействованы подобные характеристики как: функция оценки состояния, вероятности перехода из одного состояния в другое, требуемая стратегия, функция оценки действия. Комбинация функций оценки состояния и функции оценки действия приводит к уравнению Белмана [3].

В общем существует 3 основных метода решения задачи усиленного обучения;

– динамическое программирование (ДП). Считается, что модель известна, если вероятность перехода и вознаграждения известны или могут быть оценены. Тогда можно явно определить оптимальные стратегии и решения функции оценки состояния, используя методы итерации по стратегиям и значениям;

– метод Монте-Карло (МК). Главное превосходство этого метода является то, что он требует только данные приобретенные опытным путем или путем имитационного моделирования в среде. Методы Монте-Карло решают проблему усиления обучения через последовательные усреднения с возвращением. Поэтому они являются полным обобщением классических методов Монте-Карло в случае нескольких шагов. Главное несовершенство этого метода – для обновления стратегии и функции необходимо дожидаться завершения выполнения эпизода [4];

– обучение временного отличия Temporal-Difference Learning (TD). TD-обучение один из многих методов, который комбинирует в себе идеи других алгоритмов, в данном случае, это динамическое программирование и метод Монте-Карло. Так же, как и методы МК, методы TD могут приобретать знания прямо из сырых данных без модели среды. Так же, как и методы ДП, TD обновляют оценки, опираясь отчасти на другие полученные оценки, не дожидаясь завершения. Главным образом, они улучшают свои стратегии непрерывно в течение выполнения эпизодической задачи, и поэтому этот подход является более гибким, нежели методы Монте-Карло и с позиции оценки, и управления [5].

Среди всех методов наиболее современными и подходящими для успешного продвижения рекомендательной системы или приложения можно выделить методы усиленного обучения, т.к. они дают достаточно точный и дальновидный прогноз выбора пользователя.

Таким образом, основной целью представленной статьи являлось проведение анализа методов реализации алгоритмов Data Mining в реальном времени. В рамках статьи были рассмотрены такие ключевые методы, как: коллаборативное фильтрование и поэлементное совместное фильтрование, затронута тема усиленного обучения и приведены основные методы, как: динамическое программирование, метод Монте-Карло, метод обучение временного отличия Temporal-Difference Learning. В заключение необходимо отметить, что использование описанных методов позволит как модернизировать систему анализа данных, так и составить свою полноценную систему способную давать достаточно точные прогнозы.

### **Библиографический список**

1. Барсегян, А. А. Анализ данных и процессов: учеб. Пособие / 3-е изд., перераб. и доп. – СПб, 2009. - 512 с.
2. Смоленчук Т. В. Метод коллаборативной фильтрации для рекомендательных сервисов // Вестник науки и образования. 2019. – 18-20 с.
3. Ханафи Я. М., Шкодырев В. П. Усиление обучения для системы управления промышленным производством // Информатика, телекоммуникации и управление. 2021.
4. Ермаков С. М., Сипин А. С. Метод Монте-Карло и параметрическая разделимость алгоритмов. - СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2014. - 248 с.
5. Введение в обучение с подкреплением // Хабр URL: <https://habr.com/ru/company/otus/blog/429090/>

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОДСТАНЦИИ В СРЕДЕ «MATLAB – SIMULINK»

Кузнецова Е.С., Дурнев А.А., Пестрецов А.Е., Арбузов И.С., Полосухин А.Е.

*ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»*

*г. Новокузнецк, Россия, kuzlena00@yandex.ru*

**Аннотация.** Разработана имитационная модель подстанции 110/6 кВ. Применение модели позволит исследовать различные режимы работы подстанции: без нагрузки, под нагрузкой, просадка напряжения, в различных режимах короткого замыкания.

**Ключевые слова:** имитационная модель, подстанция, трансформатор, ток, напряжение, холостой ход, просадка напряжения, короткое замыкание, осциллограмма.

**Abstract.** A simulation model of a 110/6 kV substation has been developed. Application of the model will allow investigating various modes of substation operation: no load, under load, voltage drop, in various modes of short circuit.

**Keywords:** simulation model, substation, transformer, current, voltage, idle, voltage drop, short circuit, oscillogram.

Имитационное моделирование является одним из видов компьютерного моделирования. В настоящее время имеется значительное количество программных комплексов, позволяющих с помощью последовательности вычислений и графического отображения их результатов воспроизводить (имитировать) процессы функционирования объекта при условии воздействия на него различных факторов. Среди систем компьютерного моделирования особо выделяется программа MATLAB (матричная лаборатория), ориентированная в первую очередь на научно-технические вычисления и моделирование.

Моделирование систем электроснабжения возможно как с помощью создания своей программы на языке MATLAB, так и путем использования моделей типовых элементов системы электроснабжения из пакета расширения Simulink.

Пакет расширения Simulink программы MATLAB позволяет выполнить имитационное моделирование объектов, состоящих из графических блоков с заданными параметрами. В свою очередь в пакет Simulink входит крупный пакет расширения SimPowerSystems, предназначенный специально для моделирования электротехнических устройств и энергетических систем большой мощности.

Приложение Simulink является своего рода «виртуальной лабораторией», позволяющей собирать и исследовать работу многих видов электрических цепей и устройств.

В данной работе разработана модель подстанции ОП-4 для исследования различных режимов работы как нормальных так ненормальных и аварийных. На подстанции установлены два трансформатора по 40000 кВ·А типа ТРДН–40000/110 напряжением 110/6 кВ. Параметры трансформатора задаются в окне Block Parameters.

Модель электроснабжения трансформатора представлена на рисунке 1 и содержит силовой трансформатор ТРДН-40000/110, генераторы синусоидальных сигналов фаз А, В, С, а также высоковольтный выключатель.

На рис. 2 показаны осциллограммы переходных процессов напряжения и тока при включении трансформатора без нагрузки в момент времени 5 секунд.

Из осциллограмм видно, что при включении трансформатора на холостой ход возникает значительный бросок тока, равный 600 А, а сам процесс намагничивания равен около 18 секунд.

На рисунке 3 показаны переходные процессы токов фаз А, В, С в момент включения трансформатора без нагрузки.



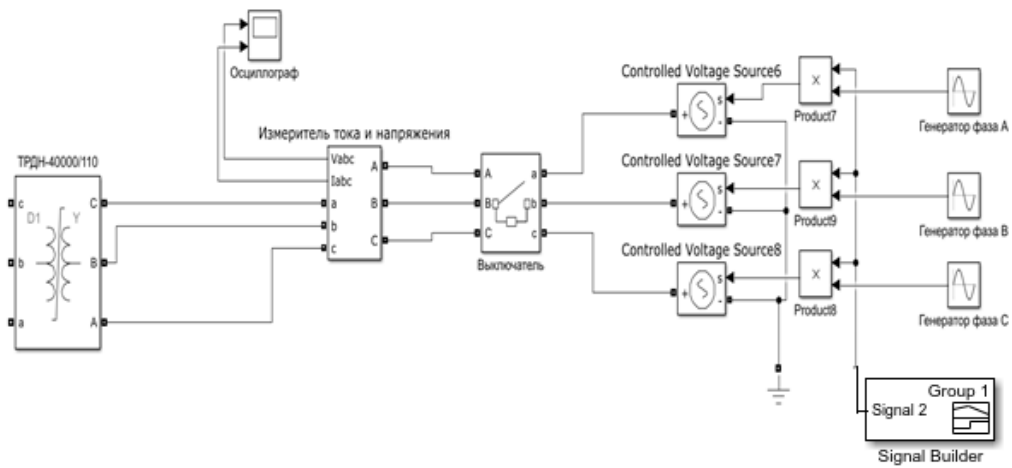


Рисунок 1 – Модель электроснабжения трансформатора

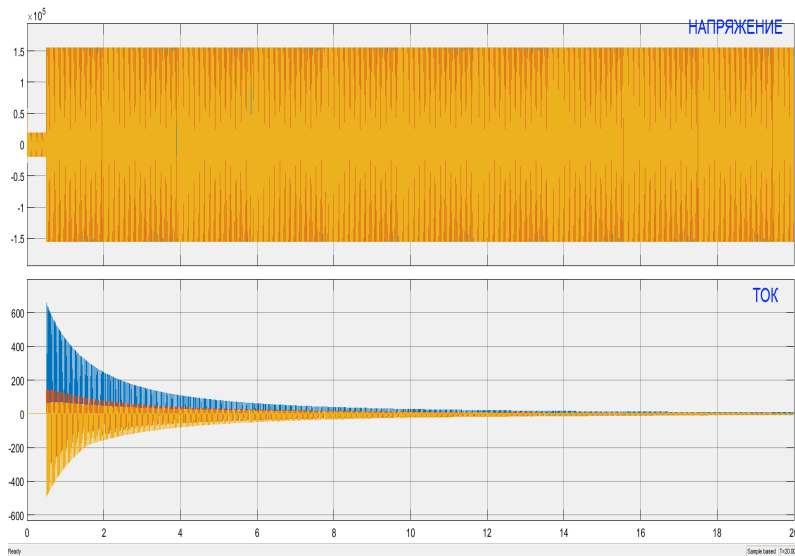


Рисунок 2 – Осциллограммы переходных процессов напряжения и тока при включении трансформатора без нагрузки

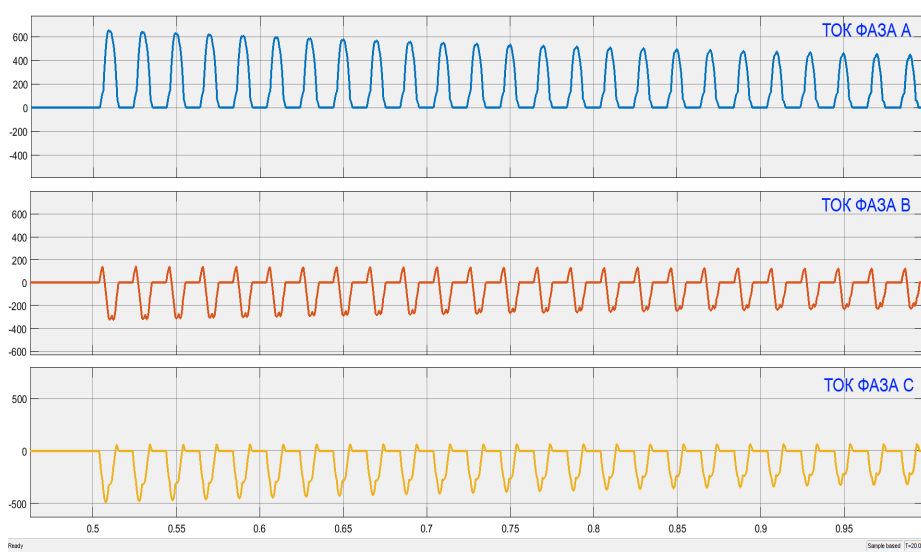


Рисунок 3 – Осциллограммы токов фаз А, В, С

На рисунке 4 показаны осциллограммы параметры трансформатора на высокой и низкой сторонах при просадке напряжения в диапазоне 6 – 8 секунд. Просадка напряжения формируется в блоке Signal Builder.

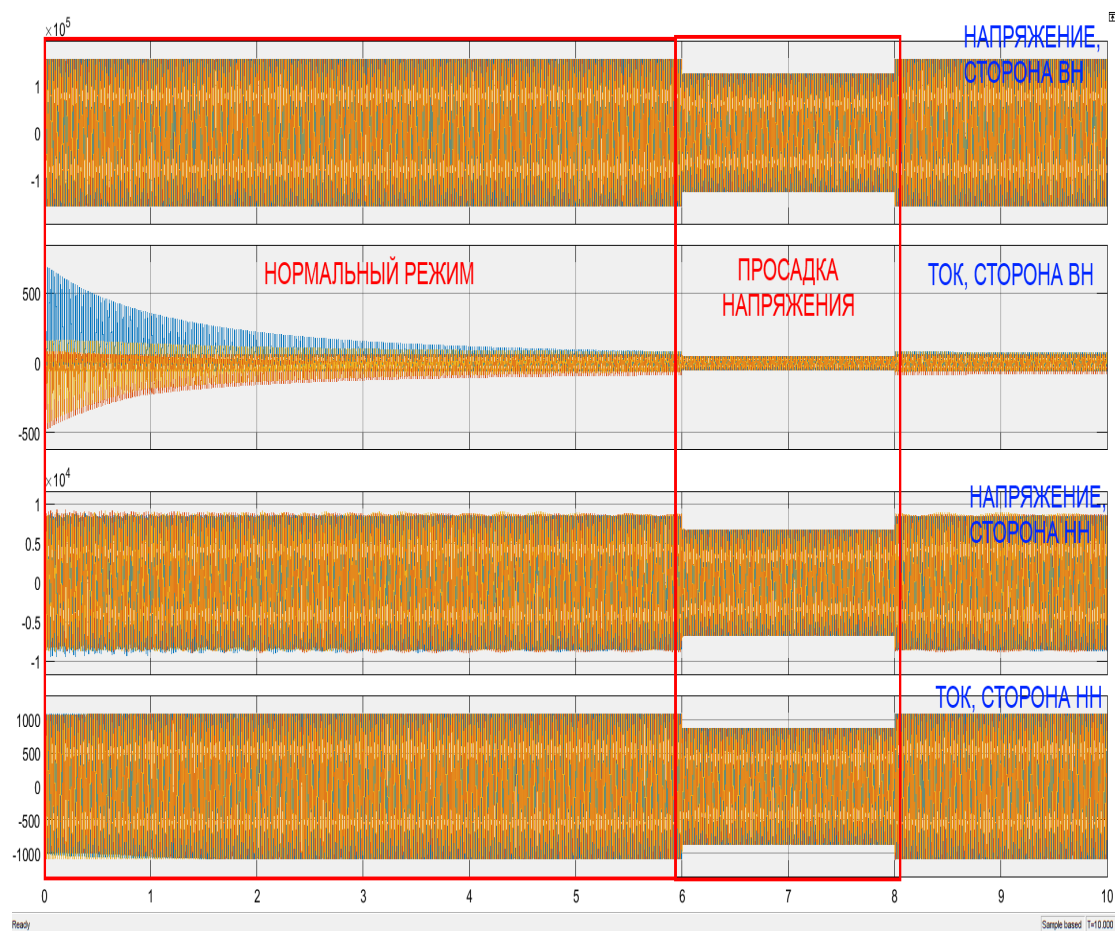


Рисунок 4 – Осциллограммы параметров трансформатора при просадке напряжения на высокой стороне

На рисунке 5 показана модель подстанции ОП-4 для исследования режимов короткого замыкания. Симуляция короткого замыкания производится с помощью блока Three-Phase Fault (трехфазный короткозамыкатель).

На рисунке 6 показана осциллограмма переходных процессов тока и напряжения на стороне ВН трансформатора в момент короткого замыкания в точке К1. Ударный ток на высокой стороне составит 4,8 кА, а амплитудное значение установившегося тока короткого замыкания - 1,8 кА.

На рисунке 7 показана осциллограмма переходных процессов параметров трансформатора на стороне НН в точке К1. В момент к.з происходит значительная просадка напряжения, при этом ударный ток составляет – 74 кА, а амплитудное значение установившегося тока короткого замыкания – 39,6 кА.

На рисунке 8 показана осциллограмма переходных процессов параметров трансформатора в точке К2. В момент короткого замыкания ударный ток составляет 51 кА, а амплитудное значение установившегося тока короткого замыкания – 23,4 кА.

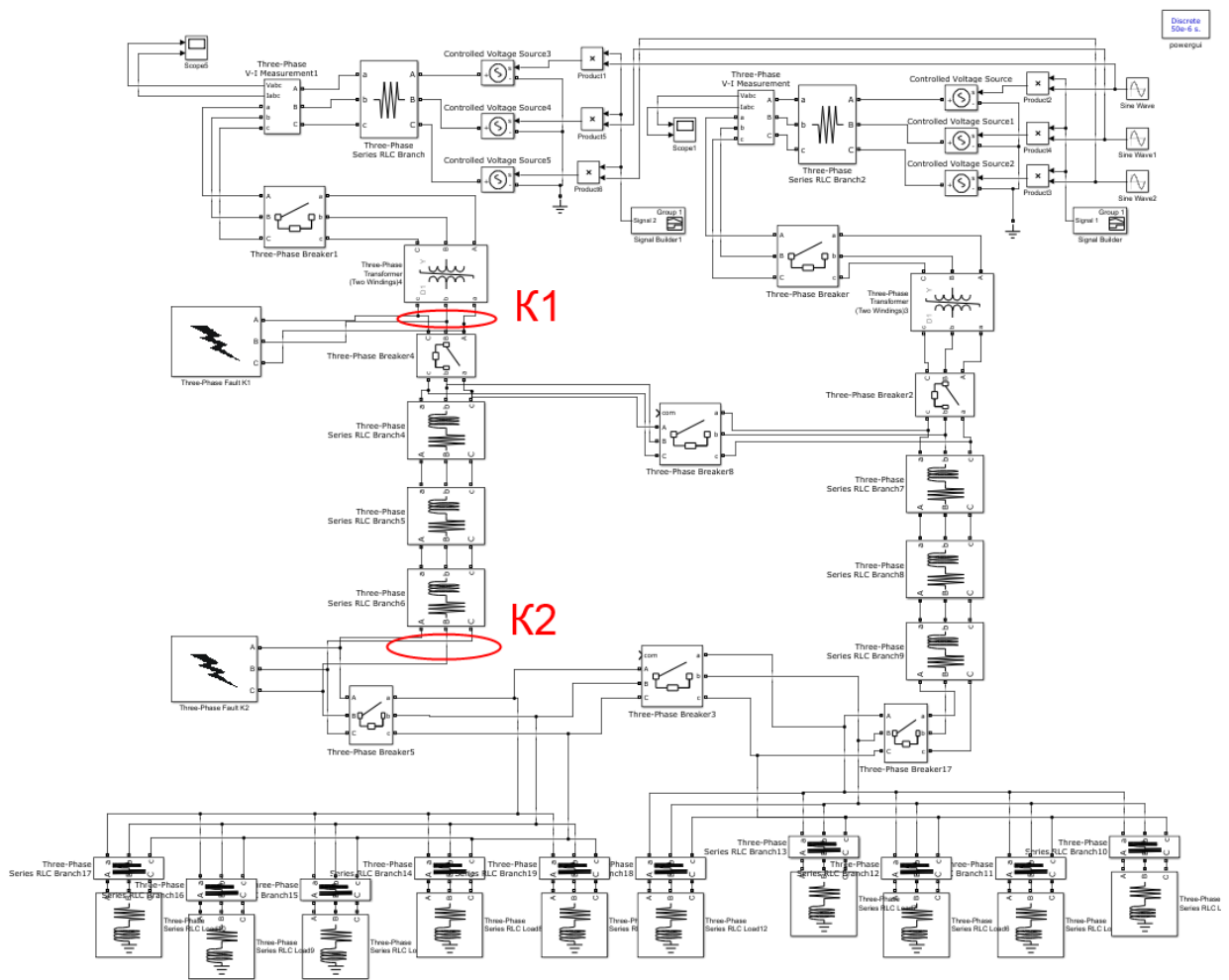


Рисунок 5 – Модель схемы подстанции ОП-4

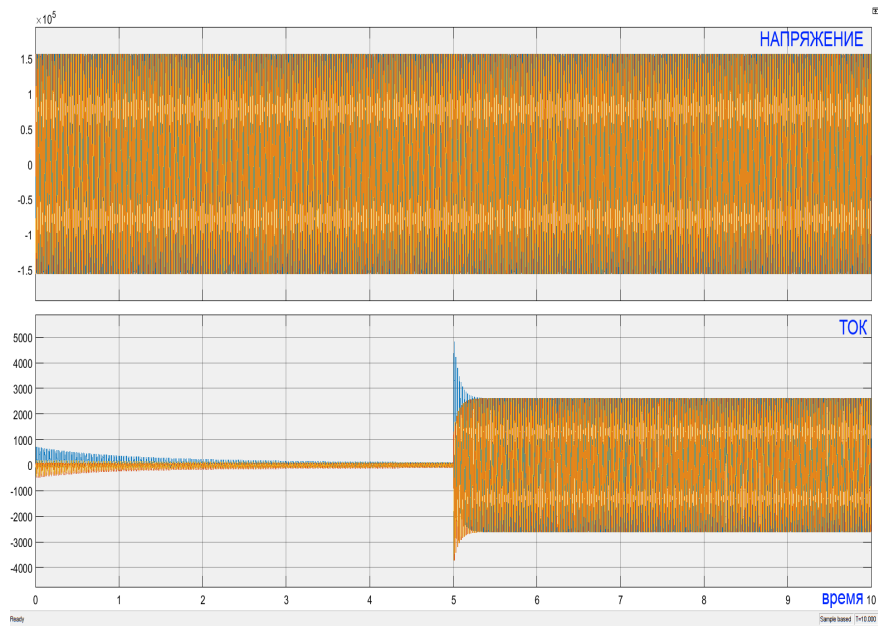


Рисунок 6 – Осциллограмма тока и напряжения в момент короткого замыкания на стороне ВН

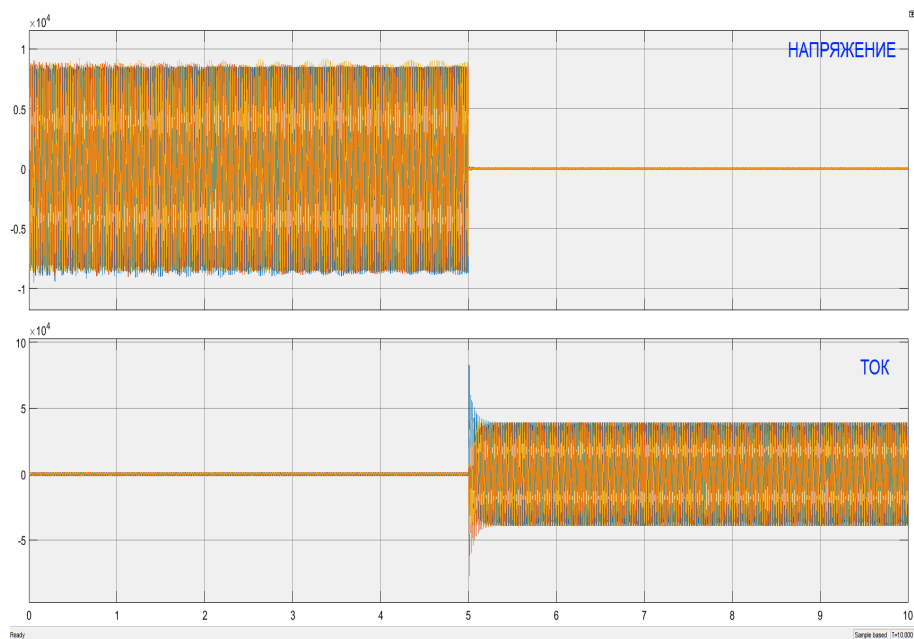


Рисунок 7 – Осциллограмма переходных параметров трансформатора в К1 на стороне НН

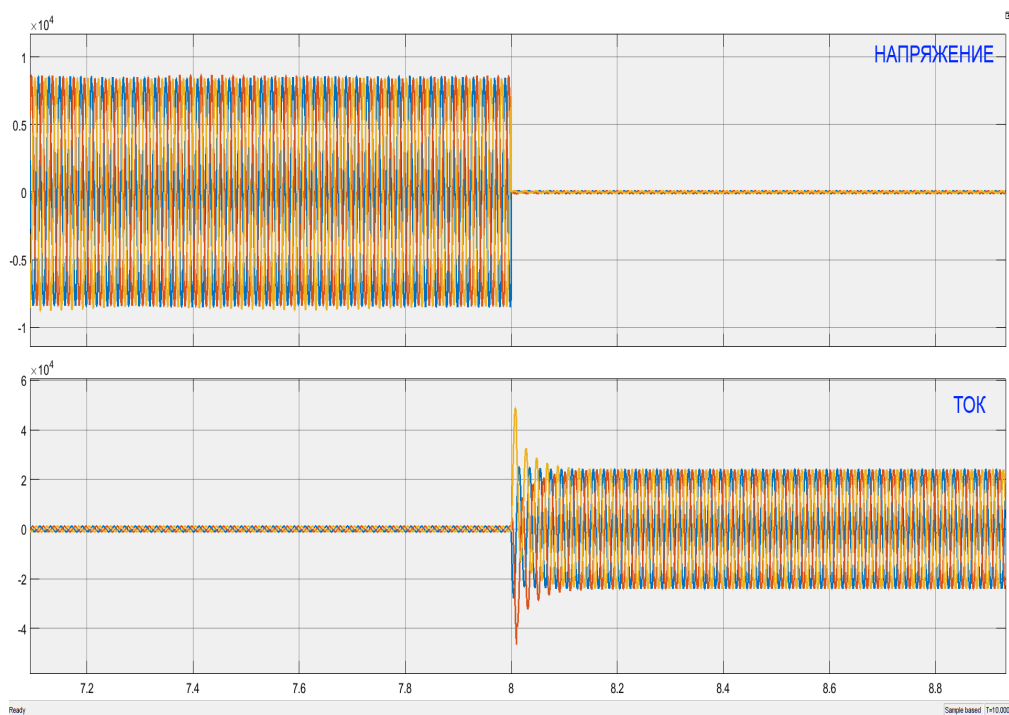


Рисунок 8 – Осциллограмма переходных параметров трансформатора в точке К2 на стороне НН

Выводы. Разработанная модель подстанции ОП-4 позволяет исследовать нормальные и аварийные режимы ее работы, с целью оптимизации и повышения надежности системы электроснабжения.

#### Библиографический список

1. Кудрин Б. И. Электроснабжение промышленных предприятий: Учебник для студентов высших учебных заведений/Б.И.Кудрин. - М.: Интермет Инжиниринг, 2005. -672 с.: ил.

2. Черных И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystem и Simulink. -М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. - 288 с.
3. Кончакова, О. В. Разработка модели мини-ТЭЦ в MATLAB / О. В. Кончакова, В. А. Кузнецов, Е. С. Кузнецова // Автоматизированный электропривод и промышленная электроника: труды Девятой научно-практической конференции, 25-26 ноября 2020 г. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2020. – С. 108-117.
4. Разработка модели подстанции 110/6 кв в среде «Матлаб – Симулинк» = Evelopment of the scheme of a 110/6 kv substation in the «Matlab – Simulink» environment / Кузнецов В. А., Кузнецова Е. С., Видинеев А. А. // Современная наука: актуальные вопросы, достижения и инновации : сборник статей XXII Международной научно-практической конференции, 5 ноября 2021 г. – Пенза : МЦНС «Наука и просвещение», 2021. – С. 42–47.

УДК 004.942

## МЕТОДИКА РАСЧЁТА МАТЕРИАЛЬНОГО БАЛАНСА КИСЛОРОДНО-КОНВЕРТЕРНОГО ПРОЦЕССА

**Рыбенко И.А., Белавенцева Д.Ю., Гасымов Р.Р., Качалкова К.И.**

*ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»  
г. Новокузнецк, Россия, rybenkoi@mail.ru*

***Аннотация.** В статье рассмотрена методика расчета материального баланса кислородно-конвертерного процесса и представлена математическая модель баланса потоков, веществ и элементов в кислородной конвертере, которая позволяет решать задачу определения оптимальных расходов шихтовых материалов на плавку.*

***Ключевые слова:** кислородно-конвертерный процесс, математическая модель, материальный баланс, потоки, вещества, элементы.*

***Abstract.** The article considers the method of calculating the material balance of the oxygen converter process and presents a mathematical model of the balance of flows, substances and elements in an oxygen converter, which allows solving the problem of determining the optimal consumption of charge materials for melting.*

***Keywords:** oxygen converter process, mathematical model, material balance, flows, substances, elements.*

Конвертерное производство является одним из ресурсоемких отраслей металлургии. Необходимость снижения материалоемкости конвертерной стали требует совершенствования традиционных схем производства с использованием новых современных методов моделирования, позволяющих определять оптимальные соотношения расходов шихтовых материалов [1].

В настоящее время при расчете шихтовки кислородно-конвертерной плавки используется упрощенная модель, основанная на уравнениях балансов тепла, кислорода, железа и основности шлака. Такая модель реализует последовательно уточняемый расчет, что не может обеспечить решение задачи по определению оптимальных расходов шихтовых материалов на плавку [2, 3]. Поэтому разработка комплексной математической модели расчета материального баланса кислородно-конвертерного процесса является актуальной задачей.

Кислородно-конвертерный процесс является многомерным, нелинейным, нестационарным объектом с большим количеством взаимосвязанных и взаимодействующих между собой элементов и сопровождается сложным комплексом физико-химических превращений, протекающих в условиях твердых, жидких и газообразных сред при высокой температуре. В общем виде кислородно-конвертерный процесс можно представить в виде совокупности следующих стадий и подпроцессов: горение углерода, окисление компо-

нентов чугуна, восстановление металлов из оксидов, фазовые переходы, растворение элементов в жидком железе, испарение влаги шихты и шлакообразование [4].

Уравнения материального баланса для кислородно-конвертерного процесса базируются на законе сохранения масс относительно составляющих гетерогенной системы и на уровне входных-выходных потоков имеют вид [5]:

$$\sum_{k=1}^K G_k = \sum_{l=1}^L G_l, \quad (1)$$

где  $K, L$  – общее количество входных и выходных потоков;

$G_k, G_l$  – массы входных и выходных потоков соответственно, кг.

Для любого металлургического процесса выходными потоками являются металл, шлак и газ. С учетом этого, а также при разделении входных потоков на конденсированные и газообразные, уравнение материального баланса можно представить следующим образом:

$$\sum_{k=1}^{K^f} G_k^f + \sum_{k=1}^{K^g} G_k^g = G_M + G_{шл} + G_g, \quad (2)$$

где  $K^f, K^g, G_k^f, G_k^g$  – количество и масса конденсированных и газообразных потоков соответственно, кг;

$G_M, G_{шл}, G_g$  – масса металла, шлака и газа, кг.

Общая масса веществ, поступающих в систему с входными потоками соответственно равна:

$$\sum_{k=1}^K G_k = \sum_{k=1}^{K^f} \sum_{m=1}^{N_k^f} \frac{G_k^f / R_m / k}{100} + \sum_{k=1}^{K^g} \sum_{m=1}^{N_k^g} \frac{G_k^g \{R_m\}_k}{100}, \quad (3)$$

где  $N_k^f, N_k^g$  – количество веществ в  $k$ -ом потоке;

$/R_m/k, \{R_m\}_k$  – содержание вещества  $R_m$  в  $k$ -ом потоке, %.

Масса веществ выходных потоков определяется массой веществ в металлической, шлаковой и газовой фазах:

$$\sum_{l=1}^L G_l = \sum_{n=1}^{N_M} \frac{G_M [R_n]}{100} + \sum_{n=1}^{N_{шл}} \frac{G_{шл} (R_n)}{100} + \sum_{n=1}^{N_g} \frac{G_g \{R_n\}}{100}, \quad (4)$$

где  $N_M, N_{шл}, N_g$  – количество веществ в металле, шлаке и газе;

$[R_n], (R_n), \{R_n\}$  – содержание  $n$ -го вещества в металле, шлаке и газе, %.

Таким образом, материальный баланс на уровне потоков веществ имеет вид:

$$\begin{aligned} & \sum_{k=1}^{K^f} \sum_{m=1}^{N_k^f} \frac{G_k^f / R_m / k}{100} + \sum_{k=1}^{K^g} \sum_{m=1}^{N_k^g} \frac{G_k^g \{R_m\}_k}{100} = \\ & = \sum_{n=1}^{N_M} \frac{G_M [R_n]}{100} + \sum_{n=1}^{N_{шл}} \frac{G_{шл} (R_n)}{100} + \sum_{n=1}^{N_g} \frac{G_g \{R_n\}}{100}. \end{aligned} \quad (5)$$

Для того, чтобы определить состав фаз выходных потоков, составляются уравнения баланса по каждому элементу  $E_i$ , который может присутствовать в разных фазах в виде различных соединений:

$$\begin{aligned}
& \sum_{k=1}^{K^f} \sum_{m=1}^{N_k^{E_i^f}} \frac{G_k^f / E_{ix_m} E_{jy_m} / k}{100} \cdot \frac{x_m M_{E_i}}{M_{E_{ix_m} E_{jy_m}}} + \\
& + \sum_{k=1}^{K^2} \sum_{m=1}^{N_k^{E_i^2}} \frac{G_k^2 \{E_{ix_m} E_{jy_m}\}_k}{100} \cdot \frac{x_m M_{E_i}}{M_{E_{ix_m} E_{jy_m}}} = \\
& = \frac{G_m \cdot [E_i]}{100} + \sum_{n=1}^{N_{шл}^{E_i}} \frac{G_{шл} (E_{ix_n} E_{jy_n})}{100} \cdot \frac{x_n M_{E_i}}{M_{E_{ix_n} E_{jy_n}}} + \\
& + \sum_{n=1}^{N_g^{E_i}} \frac{G_g \{E_{ix_n} E_{jy_n}\}}{100} \cdot \frac{x_n M_{E_i}}{M_{E_{ix_n} E_{jy_n}}},
\end{aligned} \tag{6}$$

- где  $/E_{ix_m} E_{jy_m} /$ ,  $\{E_{ix_m} E_{jy_m}\}$  – концентрация  $m$ -го вещества, содержащего элемент  $E_i$  в  $k$ -ом конденсированном либо газообразном входном потоке соответственно, %;
- $[E_i]$  – концентрация вещества, состоящего из элемента  $E_i$ , в металле, %;
- $(E_{ix_n} E_{jy_n})$ ,  $\{E_{ix_n} E_{jy_n}\}$  – концентрация  $n$ -го вещества, содержащего элемент  $E_i$  в шлаковой и газовой фазах выходного потока соответственно, %;
- $N_k^{E_i^f}$ ,  $N_{шл}^{E_i}$ ,  $N_g^{E_i}$  – количество веществ, содержащих элемент  $E_i$ , в  $k$ -ом входном потоке, шлаке и газе;
- $x_m, y_m$  – стехиометрические коэффициенты  $m$ -го соединения элемента  $E_i$ ;  $M_{E_i}$ ;
- $M_{E_{ix_m} E_{jy_m}}$  – молярные массы  $E_i$  элемента и его соединений, кг/моль [5].

Таким образом, разработана математическая модель, позволяющая рассчитывать материальный баланс кислородно-конвертерного процесса на уровне потоков, веществ и элементов. С использованием модели реализован расчет материального баланса кислородно-конвертерного процесса, который на уровне потоков, веществ и элементов представлен в таблицах 1 – 3.

Таблица 1 – Баланс потоков

Входные потоки		Выходные потоки	
Наименование	Расход, кг/100 кг металлошихты	Наименование	Выход, кг/100 кг металлошихты
Жидкий чугун	76,62	Металл	85,59
Металлический лом	23,38	Шлак	20,12
Известь	4,30	Газ	6,49
Технический кислород	7,90		
<b>Всего:</b>	<b>112,20</b>	<b>Всего:</b>	<b>112,20</b>

Таблица 2 – Баланс веществ

Вещество	Приход		Расход	
	кг	%	кг	%
<i>Fe</i>	95,507	85,122	84,232	75,073
<i>C</i>	3,671	3,272	1,105	0,985
<i>Mn</i>	0,354	0,316	0,170	0,151
<i>Si</i>	0,384	0,342	0,008	0,007
<i>S</i>	0,033	0,029	0,013	0,012
<i>P</i>	0,069	0,061	0,062	0,055
<i>FeO</i>	0,022	0,019	10,929	9,741
<i>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	0,000	0,000	3,987	3,554
<i>CaO</i>	3,947	3,518	3,919	3,493
<i>SiO<sub>2</sub></i>	0,065	0,057	0,869	0,775
<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	0,043	0,038	0,043	0,038
<i>MgO</i>	0,077	0,069	0,077	0,069
<i>MnO</i>	0,000	0,000	0,238	0,212
<i>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></i>	0,000	0,000	0,016	0,014
<i>CaS</i>	0,000	0,000	0,037	0,033
<i>H<sub>2</sub>O</i>	0,086	0,077	0,086	0,077
<i>CO<sub>2</sub></i>	0,043	0,038	0,945	0,843
<i>O<sub>2</sub></i>	7,861	7,006	0,004	0,003
<i>CO</i>	0,000	0,000	5,414	4,825
<i>N<sub>2</sub></i>	0,040	0,035	0,040	0,035
<b>Всего:</b>	<b>112,200</b>	<b>100,000</b>	<b>112,200</b>	<b>100,000</b>

Таблица 3 – Баланс элементов

Элемент	Приход		Расход	
	кг	%	кг	%
<i>Fe</i>	95,523	85,137	95,523	85,137
<i>C</i>	3,683	3,283	3,683	3,283
<i>Mn</i>	0,354	0,316	0,354	0,316
<i>Si</i>	0,414	0,369	0,414	0,369
<i>S</i>	0,033	0,029	0,033	0,029
<i>P</i>	0,069	0,061	0,069	0,061
<i>Al</i>	0,023	0,020	0,023	0,020
<i>Ca</i>	2,820	2,513	2,820	2,513
<i>Mg</i>	0,046	0,041	0,046	0,041
<i>H</i>	0,010	0,009	0,010	0,009
<i>O</i>	9,186	8,188	9,186	8,188
<i>N</i>	0,040	0,035	0,040	0,035
<b>Всего:</b>	<b>112,200</b>	<b>100,000</b>	<b>112,200</b>	<b>100,000</b>



Таким образом, разработана математическая модель расчета материального баланса кислородно-конвертерного процесса, в модели производится декомпозиция всех веществ, поступающих в металлургический агрегат, сначала на вещества, а затем на элементы, которые затем перераспределяются в металл, шлак или газ. С использованием такой комплексной модели можно решать как прямую, так и обратную задачи и определять оптимальные расходы шихтовых материалов.

### Библиографический список

1. Рыбенко, И. А. Применение методики и инструментальной системы расчета металлургических процессов для разработки теоретических основ ресурсосберегающих технологий [текст]: монография / И. А. Рыбенко ; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2016. – 187 с.
2. Упрощенный расчет плавки стали в кислородном конвертере [Текст] : (Учебное пособие) / Сост. проф. д-р техн. наук А. М. Бигеев, доц. канд. техн. наук В. Н. Селиванов ; Магнитогор. горнометаллург. ин-т им. Г. И. Носова. Кафедра металлургии стали. - Магнитогорск , 1967. - 32 с.
3. Бигеев, А. М. Использование математической детерминированной термодинамической модели в управлении кислородно-конвертерным процессом / А. М. Бигеев, В. В. Байтман // Известия Челябинского научного центра УрО РАН. – 2005. – № 4. – С. 84-87.
4. Рыбенко, И. А. Разработка оптимальных технологических режимов получения металлов с использованием методов математического моделирования и инструментальных систем [текст] / И. А. Рыбенко // Бюл. Черная металлургия. – 2018. - № 2. – С. 57 – 61.
5. Рыбенко, И. А. Разработка средствами Excel системы расчета металлургических процессов / И. А. Рыбенко, С. П. Мочалов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2005. – № 2. – С. 55-58.

УДК 528.715:631.559

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ YOLOV5 ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГУСТОТЫ ВСХОДОВ ПОДСОЛНЕЧНИКА

Полезенко Д.А., Петров В.А., Михайлов И.С.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»  
г. Старый Оскол, Россия, mikhaylov.is@yandex.ru*

**Аннотация.** Для автоматического определения густоты всходов подсолнечника в статье предлагается проводить интеллектуальный анализ снимков, полученных с помощью БПЛА. Для анализа снимков используется сеть семейства YOLOv5. Приводятся результаты валидации модели на различных наборах данных. Экспериментальным образом были получены метрики моделей и выбрана наилучшая для последующих опытов.

**Ключевые слова:** густота всходов, подсолнечник, определение растений, нейронные сети, YOLOv5.

**Abstract.** To automatically determine the density of sunflower seedlings, the article proposes to conduct an intelligent analysis of images obtained using UAV. A network of the YOLOv5 family is used to analyze the images. The results of model validation on various data sets are presented. The metrics of the models were obtained experimentally and the best one was selected for subsequent experiments.

**Keywords:** seedling density, sunflower, plant identification, neural networks, YOLOv5.

Одним из важных показателей, который позволяет прогнозировать урожайность сельскохозяйственных культур, является густота всходов. С помощью оценки данного

показателя можно корректировать объем высеваемых семян, что способствует снижению общих затрат на производство [1].

Низкая густота всходов может говорить о чрезмерном потреблении высаживаемой культурой питательных веществ из почвы. Кроме этого, низкая густота всходов может привести к распространению сорных растений, что в свою очередь повлечет за собой расходы на их уничтожение. Высокая же густота всходов может привести к истощению почвы, а значит к снижению питания каждого отдельного растения, что в дальнейшем снизит общую урожайность поля.

Таким образом важным является контроль оптимальной густоты всходов для каждого поля.

Как правило, для оценки густоты всходов, агроном вручную подсчитывает число растений на определенном (зачастую небольшом) участке поля. Далее, он аппроксимирует это значение на всё поле, что очень сильно усредняет итоговое значение густоты.

В настоящее время использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) получает все большее распространение. С их помощью агрономы могут, например, оценить  $ndvi$ -индекс растений. Однако, определение густоты всходов, даже при использовании БПЛА, требует ручного подсчета растений на снимках.

Для решения данной проблемы могут использоваться алгоритмы машинного зрения, в том числе и искусственные нейронные сети.

В данной работе предлагается использовать модель YOLOv5 [2, 3], которая может работать в условиях малой выборки снимков.

Для получения обучающего набора данных над полем с подсолнечником были осуществлены полеты БПЛА DJI Phantom 4 PRO V2.0. В ходе полетов были сделаны 60 фотографий в разрешении 2592x1728 (см. рисунок 1). Из этих фотографий с помощью аугментации были получены три набора данных, состоящих из картинок размеров 1920x1080 в количестве 122, 363 и 486 штук.



Рисунок 1 – Изображения с БПЛА

Библиотека YOLOv5 предоставляет различные предобученные модели. Для рассмотрения была выбрана оптимальная по качеству и скорости обработки модель YOLOv5m. Для достижения наилучшего качества произведены эксперименты при различных гиперпараметрах.

Тестирование на валидационном наборе показало следующие результаты (см. таблицу 1, рисунок 2):

Таблица 1 – Результаты валидации модели на различных наборах данных

Размер пакета	Кол-во эпох	Размер обучающей выборки	Precision, %	Recall, %	AP@.5, %	AP@.5:.95, %
1	15	122	93,0	92,4	96,1	75,8
1	15	363	92,8	94,4	97,1	87,9
1	15	486	95,3	95,1	96,8	89,0
2	15	122	94,4	93,7	96,7	76,0
2	15	363	96,4	92,8	97,6	87,8
2	15	486	93,2	96,0	97,6	89,9
4	15	122	93,6	93,0	96,2	75,0
4	15	363	94,8	93,0	97,7	89,3
4	15	486	94,4	93,0	97,4	89,1

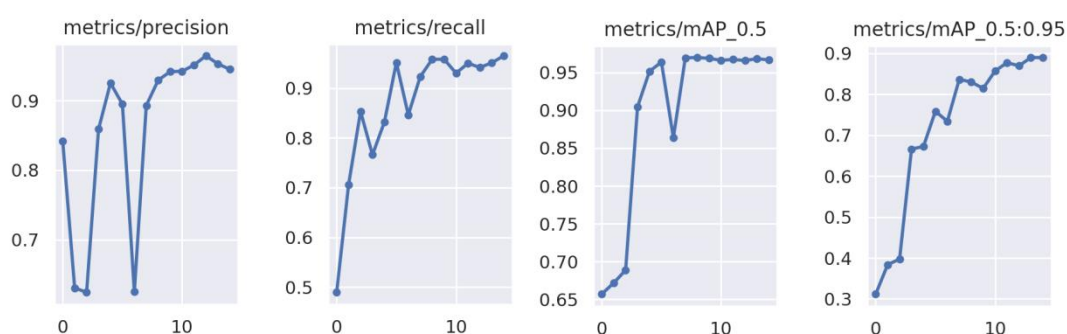


Рисунок 2 – Графики метрик модели на выборке из 486 изображений и размером пакета 1

На основании результатов валидации для тестирования была выбрана модель YOLOv5m обученная при следующих параметрах:

- размер пакета – 1;
- кол-во эпох – 15;
- размер обучающей выборки – 486.

На вход сети была подана картинка размером 2592x1728, не участвовавшая в обучении (см. рисунок 3).

Предлагаемая модель показала высокую точность определения подсолнечника, распознав все растения на снимке без ошибок.

Таким образом, использование алгоритма YOLOv5 показало себя достаточно эффективным в вопросе решения автоматического определения густоты всходов подсолнечника.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Совета по грантам Президента РФ (проект СП-551.2022.5).

### Библиографический список

1. Златопольский А. А., Яровой С. А. Автоматизированный расчёт густоты растений по фотографиям с беспилотного летательного аппарата // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2020. – Т. 17. – №. 7. – С. 155-166.
2. Nelson J. YOLOv5 is Here: State-of-the-Art Object Detection at 140 FPS [Electronic source] / J. Nelson, J. Solawetz // RoboflowBlog. – 2020. – URL: <https://blog.roboflow.com/yolov5-is-here/> (accessed 16.09.2022)
3. Jocher G. YOLOv5 Focus Layer [Electronic source] / G. Jocher // GitHub. – 2021. – URL: <https://github.com/ultralytics/yolov5/discussions/3181> (accessed 16.09.2022)

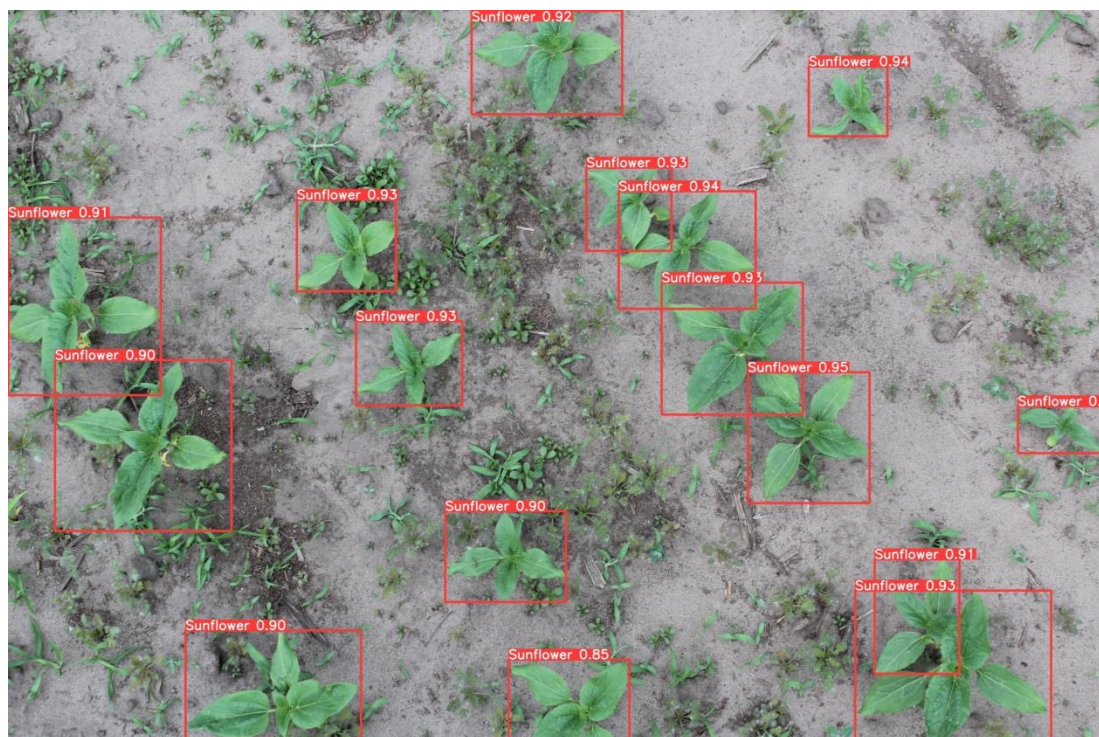


Рисунок 3 – Результат работы модели YOLOv5m

УДК 004.41

## ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ В ИНФОРМАЦИОННО-МОДЕЛИРУЮЩИХ СИСТЕМАХ

Гурин И.А., Лавров В.В., Спирин Н.А.,

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

г. Екатеринбург, Россия, [ivan.gurin@urfu.ru](mailto:ivan.gurin@urfu.ru), [v.v.lavrov@urfu.ru](mailto:v.v.lavrov@urfu.ru), [n.a.spirin@urfu.ru](mailto:n.a.spirin@urfu.ru)

**Аннотация.** В докладе рассмотрены способы решения задач оптимизации в информационно-моделирующих системах, реализованных в среде программирования Visual Studio на языке C#. Постановка задачи оптимизации выполнена на примере оптимального распределения природного газа в группе доменных печей с учетом индивидуальных технологических ограничений на каждую печь и параметров работы доменного цеха. Рассмотрены преимущества и недостатки решений при интеграции Visual Studio с математическими пакетами Microsoft Excel, MATLAB, Fortran, MathCAD, а также специализированными библиотеками Microsoft Solver Foundation и Google OR-Tools.

**Ключевые слова:** оптимизация функции, информационно-моделирующая система, Visual Studio, математические пакеты, доменный процесс, Microsoft Excel, MATLAB, Fortran, MathCAD, Microsoft Solver Foundation, Google OR-Tools.

**Abstract.** The report discusses ways to solve optimization problems in information modeling systems implemented in the Visual Studio programming environment in C#. The optimization problem was formulated using the example of the optimal distribution of natural gas in a group of blast furnaces, taking into account individual technological limitations for each furnace and the parameters of the blast furnace shop. The advantages and disadvantages of solutions for integrating Visual Studio with mathematical packages Microsoft Excel, MATLAB, Fortran, MathCAD, as well as specialized libraries of extension packages Microsoft Solver Foundation and Google OR-Tools are considered.

**Keywords:** function optimization, information modeling system, visual studio, mathematical packages, blast furnace, Microsoft Excel, MATLAB, Fortran, MathCAD, Microsoft Solver Foundation, Google OR-Tools.

Современные средства разработки программного обеспечения, например, среда Microsoft Visual Studio (C#), позволяют в короткие сроки создавать удобные кроссплатформенные приложения различного назначения и функциональности. Однако эти средства не содержат в себе встроенных математических библиотек, которые необходимы при разработке программного обеспечения для решения научно-практических задач. Существующие сторонние математические библиотеки, такие как Extreme Optimization и IMSL Numerical Library, имеют высокую лицензионную стоимость. С другой стороны, инженерные пакеты с большим количеством встроенных математических библиотек и специальных функций, например, Microsoft Excel, Fortran, MathCAD, MATLAB и др. не имеют встроенных средств создания удобного пользовательского интерфейса и не позволяют разрабатывать полноценные функциональные Windows-приложения. В этой связи для ИТ-специалистов представляется важной задачей выбор способа интеграции среды разработки Visual Studio с программными инструментами решения сложных математических задач при разработке современных информационно-моделирующих систем в различных областях научно-производственной сферы.

#### *Постановка задачи*

В докладе рассмотрен реализованный в среде Microsoft Visual Studio на языке C# метод решения задачи оптимизации на примере оптимального распределения природного газа в группе доменных печей с учетом индивидуальных технологических ограничений на каждую печь и параметров работы доменного цеха. Работа выполнена в рамках совершенствования автоматизированной информационно-моделирующей системы для оценки эффективности использования топливно-энергетических ресурсов на отдельных доменных печах, а также расчета их оптимального распределения при заданном на доменный цех общем объеме этих ресурсов [1-3].

Используемый подход основан на следующих положениях: при относительно небольших колебаниях параметров относительно базовых значений целесообразно использовать принцип малых отклонений и свести задачу оптимизации к линейному математическому программированию. В общем виде математическая модель оптимального распределения природного газа в доменном цехе содержит линейную целевую функцию и ограничения [1-3]. Целевая функция сводит к максимуму эффективность использования природного газа в цехе:

$$Z = \sum_{j=1}^n \{ \alpha (e_j C_K - C_{ПГ}) + (1 - \alpha) C_{ПГ} [\Delta П_j^{ПГ} - e_j \Delta П_j^K] \} V_j^{ПГ} \rightarrow \max \quad , \quad (1)$$

- где  $Z$  – эффективность использования природного газа в цехе, руб./ч;  
 $n$  – количество печей в цехе, шт.;  
 $\alpha$  – весовой коэффициент, который определяет различные варианты получения максимальной финансовой выгоды: эффективность распределения природного газа; экономия кокса или увеличение производительности печи ( $0 < \alpha \leq 1$ );  
 $e_j$  – эквивалент замены кокса на природный газ, кг кокса/м<sup>3</sup> природного газа;  
 $C_K$  – стоимость кокса, руб./кг кокса;  
 $C_{ПГ}$  – стоимость природного газа, руб./м<sup>3</sup>;  
 $C_{П}$  – условно постоянный коэффициент, который показывает, на сколько увеличиваются затраты при увеличении производительности, руб./т чугуна;  
 $\Delta П_j^{ПГ}$  – изменение производительности  $j$ -й печи при увеличении расхода природного газа на 1 м<sup>3</sup>, т чугуна/м<sup>3</sup> ПГ;  
 $\Delta П_j^K$  – изменение производительности  $j$ -й печи при увеличении расхода кокса на 1 кг, т чугуна/кг кокса;  
 $V_j^{ПГ}$  – расход природного газа на  $j$ -й печи, м<sup>3</sup> /час.

Как видно из выражения (1), часть, расположенная в фигурных скобках, имеет постоянное значение при данном расчете и представляет собой коэффициент эффективности использования природного газа на  $j$ -й печи. Поэтому упрощенно значение целевой функции  $Z$  можно представить по формуле:

$$Z = \sum_{j=1}^n k_j V_j^{ПГ} \rightarrow \max \quad , \quad (2)$$

где  $k_j$  – коэффициент эффективности использования природного газа, руб./м<sup>3</sup> природного газа.

Задача оптимизации включает следующие компоненты:

- целевая функция  $Z$ , которую необходимо свести к максимальному значению;
- коэффициенты, отражающие влияние расходов природного газа на показатели теплового, газодинамического и шлакового режимов доменной плавки;
- ограничения на показатели теплового, газодинамического и шлакового режимов по печам (максимальные и минимальные величины содержания  $S$  и  $S_i$  в чугуне, расхода газа на доменную печь, теоретической температуры горения на фурмах, обобщенного показателя теплового состояния низа печи, отношения теплоемкостей потоков шихты и газов в шахте, степени уравнивания шихты газовым потоком и др.);
- ограничения на цех в целом по запасам кокса и природному газу, требуемая производительность цеха.

#### Использование пакета Microsoft Excel

Одним из средств решения поставленной задачи является использование надстройки «Поиск решения», встроенной в пакет Microsoft Excel. Фрагмент листа электронной таблицы представлен на рисунке 1.

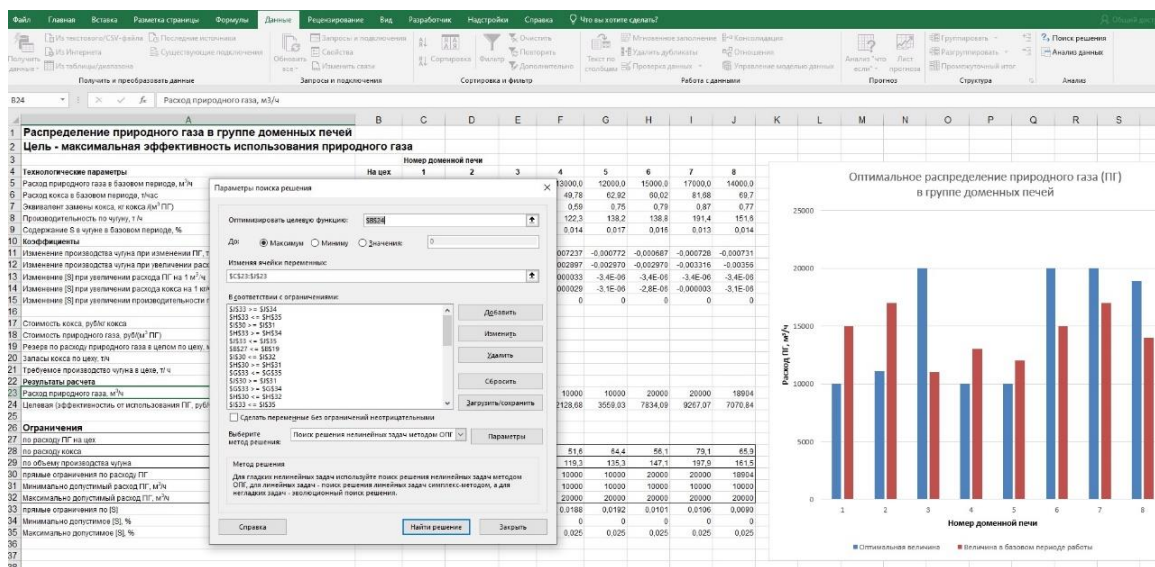


Рисунок 1 – Фрагмент окна решения задачи оптимизации в пакете Microsoft Excel

Среда разработки программного обеспечения Microsoft Visual Studio включает средства автоматизации приложений. Например, для автоматизации расчета в электронных таблицах существует библиотека объектов Microsoft Office Excel, которая позволяет выполнять практически все действия, которые можно выполнить вручную через интерфейс пользователя. Библиотека включает возможности чтения и изменения содержимого ячеек на листах книги, вызов макросов, написанных на языке Visual Basic for Application (VBA) и др. Интеграция библиотеки объектов Microsoft Excel и Microsoft Visual Studio (C#) возможна с помощью менеджера ссылок, который обеспечивает подключение к про-

екту приложения соответствующих служб из внешних платформ, расширений, сторонних проектов и COM-объектов.

Подход интеграции Microsoft Excel и Microsoft Visual Studio (C#) основан на следующей схеме взаимодействия. Excel-документ хранит модель расчета. Пользовательское приложение включает информацию о сопоставлении между исходными данными и соответствующими ячейками в электронной таблице Excel, а также исходные данные для расчета, которые хранятся в базе данных. Для решения задачи пользовательское приложение имеет возможности чтения и редактирования исходных данных, функционал выполнения процесса расчета, а также чтения его результатов.

Шаги алгоритма оптимизации при такой схеме взаимодействия представлены на рисунке 2.

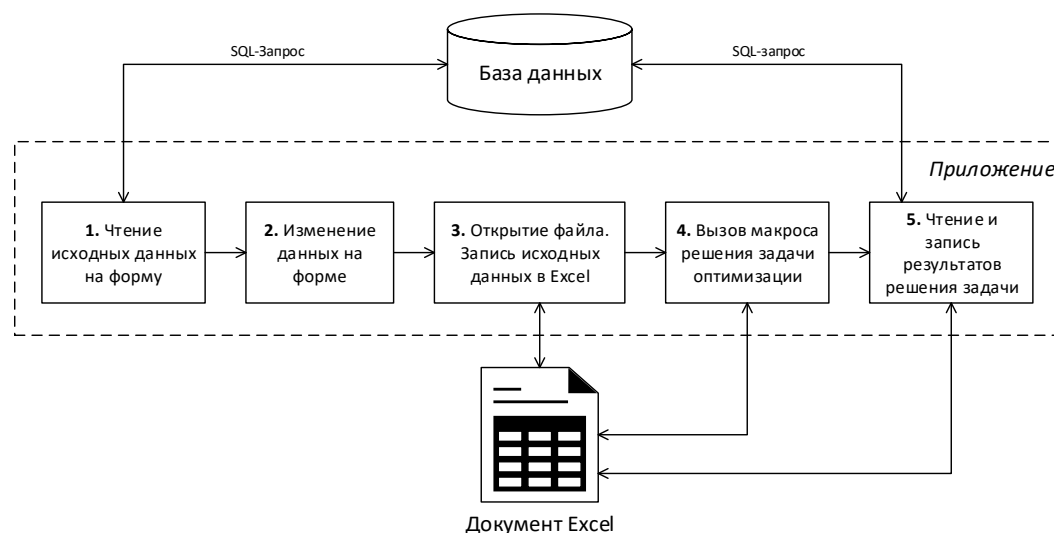


Рисунок 2 – Алгоритм работы оптимизации при интеграции с Microsoft Excel

Преимуществом такого подхода является быстрая разработка программного средства за счет сокращения времени на разработку, тестирование и отладку математической библиотеки. В отличие от первоначального варианта прямой работы пользователя с Excel-документом, этот подход имеет следующие основные преимущества:

- централизованное хранение и возможность автоматической выгрузки исходных данных для расчета из централизованной базы данных предприятия;
- оперативное представление пользователю в удобном виде нескольких вариантов расчета оптимизации в количественном и графическом виде.

Однако, решение задачи оптимизации при помощи интеграции с Microsoft Excel имеет свои недостатки:

- максимальное количество ограничений в надстройке «Поиск решения» при нахождении целевой функции составляет 100. Данное ограничение не позволяет гибко решать задачу, настраивая ограничения на каждую печь;
- низкая скорость решения задачи. Действия с Excel-файлом осуществляются через открытие приложения Microsoft Excel в фоновом режиме. Открытие занимает большой промежуток времени, а выполнение операций чтения и записи осуществляется с задержкой;
- отсутствие возможности изменять модель внутри программы. Например, изменение количества печей или ограничений по печам требует ручного изменения документа Excel, либо предполагает хранение копий документа с разными моделями;

– проблема программной совместимости версий. Библиотека объектов поставляется вместе с приложением Microsoft Excel и может быть несовместима с версией, используемой при разработке программного обеспечения.

#### *Использование MATLAB*

Еще одним способом решения оптимизационных задач является использование пакета MATLAB [4]. Особенностью этого пакета является возможность создания динамически подключаемых библиотек DLL, которые затем можно использовать при программировании приложений. Среди множества вариантов, MATLAB поддерживает сборку библиотеки для разработчиков на языке программирования Visual C#. Использование DLL не требует установки экземпляра математического пакета на конечный компьютер, а средой исполнения компонентов MATLAB является свободно распространяемый продукт MATLAB Runtime.

Решение задачи оптимизации в среде MATLAB осуществляется с помощью функции `linprog` [4]. Проанализировав особенности данного метода, можно сделать вывод, что интеграция MATLAB в среду Visual Studio полностью исключает недостатки, присущие решению в электронных таблицах Microsoft Excel.

#### *Использование MathCAD и Fortran*

Рассмотрим кратко особенности методов интеграции с известными математическими пакетами MathCAD и Fortran.

Математический пакет MathCAD, как и Microsoft Excel, использует при интеграции со средой разработки COM-подключение. Поэтому данному методу присущи те же недостатки, главными из которых являются необходимость установки дорогостоящей копии MathCAD на каждом конечном компьютере приложения, проблема программной совместимости между версиями библиотеки для работы с COM-объектом и низкая скорость решения задачи.

Язык программирования Fortran используется в первую очередь для научных и инженерных вычислений, при этом для использования своего функционала во внешних приложениях включает возможность сборки библиотек. Пример программной реализации данного подхода при решении задачи оптимизации распределения топливно-энергетических ресурсов в доменном цехе металлургического комбината представлен авторами в работах [1, 2]. Однако современная платформа Visual C# не поддерживает корректную работу с неуправляемыми библиотеками, которые созданы в Fortran 95, а современные версии языка программирования включают только коммерческие версии математических библиотек, таких как IMSL [5].

#### *Использование специализированных библиотек расширений в Visual Studio*

По мере развития средств разработки прикладного программного обеспечения у разработчиков появилась потребность в специализированных встроенных библиотеках для решения задач оптимизации с использованием языка программирования без обращений к API стороннего программного обеспечения. В 2011 году компания Microsoft выпустила первую версию библиотеки Microsoft Solver Foundation (MSF) для .NET-разработчиков. MSF – это библиотека для математического программирования, моделирования и оптимизации, которая предлагает высококачественные инструменты для оптимизации их решений. Отметим ряд ключевых особенностей MSF:

- моделирование и решение сценариев с помощью ограничений, целей и данных;
- разработка на языке Optimization Modeling Language (OML), императивно в C#, функционально в F# или на любом другом языке .NET;
- встроенные решатели задач для наиболее распространенных типов моделей;
- интеграция с популярными решателями: Gurobi, Ziena Knitro, Frontline Solver Platform SDK, Mosek, FICO Xpress, LINDO и `lp_solve`;
- интеграция с популярными инструментами Microsoft Office Excel и SharePoint для создания и решения моделей.



В 2014 году компания Google представила Google OR-Tools – бесплатный программный пакет с открытым исходным кодом, разработанный Google для решения задач комбинаторной оптимизации [6]. К ним относятся задачи маршрутизации транспортных средств, потоков, целочисленного и линейного программирования, а также программирования в ограничениях. Этот набор содержит ряд решателей, а именно: решатель программирования ограничений; решатель линейного программирования; оболочки для коммерческих решателей (таких как Gurobi или CPLEX) и других решателей с открытым исходным кодом (SCIP, GLPK и т. д.); среди прочих. OR-Tools написан на C++, но поставляется с оболочками для Python, C# и Java. OR-Tools – отмеченный наградами проект, завоевавший в общей сложности одиннадцать золотых медалей в период с 2018 по 2020 год в MiniZinc Challenge, международном соревновании по программированию в ограничениях [7].

Использование специализированных встроенных библиотек с открытым исходным кодом, в частности Google OR-Tools, является, на наш взгляд, одним из наиболее перспективных средств решения оптимизационных задач при построении информационно-моделирующих систем. На рисунке 3 представлен фрагмент веб-приложения с решением задачи оптимального распределения топливно-энергетических ресурсов в группе доменных печей, реализованный с использованием данного средства.

Результаты расчета  
localhost:5000/Home/Results?

Данные по расходу природного газа

Печь	Текущее значение	Оптимальное значение	Минимальное	Максимальное
Дп-1	15781.7	11000	11000	17208
Дп-2	16753	12792	12792	18410
Дп-4	13006.4	12756	12756	17742
Дп-6	13780.8	10472	10472	16460
Дп-7	12430	10000	10000	15681
Дп-8	12100	6527	6527	12896
Дп-9	19192.8	13543	13543	19193
Дп-10	16717.8	18910	13502	20000

Минимальные значения расхода ПГ по различным видам ограничений

Ограничение	Дп-1	Дп-2	Дп-4	Дп-6	Дп-7	Дп-8	Дп-9	Дп-10
Допустимый расход ПГ, м3/ч	11000	0	0	0	10000	0	12000	10000
Допустимая температура горения, °С	2114	12792	12756	10472	8978	6527	13543	11861
Допустимое содержание кремния в чугуна, %	-23460	12290	10456	9811	5912	3961	-7259	12636
Допустимое содержание серы в чугуна, %	7908	8369	2697	4249	4988	5025	8184	5516
Допустимое отношение теплоемкостей потоков, доли	261	12389	-2283	-524	-598	-7351	10292	13502
Допустимая степень уравнивания шихты	-171412	-170419	-178323	-173787	-172215	-172715	-146581	-154786

Максимальные значения расхода ПГ по различным видам ограничений

Ограничение	Дп-1	Дп-2	Дп-4	Дп-6	Дп-7	Дп-8	Дп-9	Дп-10
Допустимый расход ПГ, м3/ч	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000
Допустимая температура горения, °С	17208	18410	18076	16460	15681	12896	22511	20058
Допустимое содержание кремния в чугуна, %	51286	18446	17742	17751	15750	13004	19193	20800
Допустимое содержание серы в чугуна, %	27593	27424	24175	25913	28244	24679	31119	30974
Допустимое отношение теплоемкостей потоков, доли	72941	68820	45497	80142	60470	102337	106693	112964

Рисунок 3 – Фрагмент окна веб-приложения решения задачи оптимизации с использованием решателя из пакета Google OR-Tools

### Библиографический список

1. Компьютерные методы моделирования доменного процесса / О.П. Онорин, Н.А. Спирин, В.Л. Терентьев, Л.Ю. Гилева, В.Ю. Рыболовлев, И.Е. Косаченко, В.В. Лавров, А.В. Терентьев; под ред. Н.А. Спирина. – Екатеринбург: УГТУ–УПИ. 2005. – 301 с. – Электронный научный архив УрФУ. URL: <https://elar.urfu.ru/handle/10995/40111>.
2. Математическое моделирование металлургических процессов в АСУ ТП: учебное пособие / Н.А. Спирин, В.В. Лавров, В.Ю. Рыболовлев, Л.Ю. Гилева, А.В. Краснобаев,

- В.С. Швыдкий, О.П. Онорин, К.А. Щипанов, А.А. Бурыкин; под ред. Н.А.Спирина. – Екатеринбург: УрФУ, 2014. – 558 с. – Электронный научный архив УрФУ. URL: <https://elar.urfu.ru/handle/10995/27839>.
3. Оптимизация распределения природного газа в доменном цехе при изменении параметров плавки / Н.А. Спирин, Л.Ю. Гилёва, В.В. Лавров, А.С. Истомин, И.А. Гурин, А.А. Бурыкин, К.А. Щипанов // Известия вузов. Черная металлургия. 2014. № 6. – С. 45–49.
  4. Кетков Ю.Л. MATLAB 7: программирование, численные методы. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 752 с.
  5. Фортран для профессионалов. Математическая библиотека IMSL: В 3 ч. / О.В. Бартедьев. Ч. 1. – М.: Диалог-МИФИ, 2000. – 448 с.; Ч. 2.– М.: Диалог-МИФИ, 2001. – 319 с.; Ч. 3. – М.: Диалог-МИФИ, 2001. – 368 с.
  6. Route. Schedule. Plan. Assign. Pack. Solve. OR-Tools is fast and portable software for combinatorial optimization [сайт]. URL: <https://developers.google.com/optimization>.
  7. OR-Tools – Инструменты оптимизации Google. Программный пакет Google для комбинаторной оптимизации [сайт]. URL: <https://sourceforge.net/projects/or-tools.mirror>.

УДК 53.082.6:536.212.2

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛАСТИН

Костылева Л.Ю.

*Южно-Уральский государственный университет  
г. Челябинск, Россия, kostylevali@susu.ru*

**Аннотация.** Приведены результаты исследования теплового состояния трехслойной сталеалюминиевой пластины с дефектом в виде воздушной прослойки между металлами методами математического и компьютерного моделирования. Получены расчетные данные, на основе которых построены распределения дифференциального температурного сигнала по поверхности пластины со стороны дефекта при различных размерах дефекта, режимах нагрева и мощности теплового потока, а также определена зависимость температурного сигнала над дефектом от времени нагрева.

**Ключевые слова:** биметаллы, активный тепловой неразрушающий контроль, численное моделирование, дефект соединения между слоями металлов, дефектоскопия.

**Abstract.** The results of numerical modeling of heat transfer in three-layer steel-aluminum plate with a delamination defect between the metals have been presented. Calculated data were obtained, on the basis of which differential temperature signal distribution over the plate surface on the defect side was plotted at different defect sizes, heating modes and heat flow power, as well as dependence of temperature signal over the defect on heating time was determined.

**Keywords:** bimetal, active thermal non-destructive testing, numerical modeling, delamination in metal layers, flaw detection.

### Введение

Многослойные биметаллические материалы позволяют получить новые свойства производимых изделий при экономии дефицитных или дорогостоящих материалов. Сочетание металлов с различными свойствами позволяет получить повышенные прочностные характеристики, стойкость к коррозии, истиранию, износу рабочих поверхностей деталей и узлов, высокие режущие свойства обрабатывающего инструмента, снижение веса конструкций и соединений [1].

Нарушение сплошности соединения слоев металлов с появлением воздушных пузырей между ними является распространенным дефектом многослойных металлических композитов. К расслоениям приводят несовершенства технологии при производстве биметаллических материалов, обработка биметаллов давлением при производстве изделий, воздействие эксплуатационных нагрузок [1]. Выявление подобных дефектов является ак-

туальной задачей, поскольку они могут вызвать частичное или полное хрупкое разрушение конструкций в процессе эксплуатации.

Для контроля качества биметаллических полуфабрикатов и изделий применяют различные методы неразрушающего контроля, наиболее распространенным среди которых является ультразвуковая диагностика [2]. Помимо ультразвукового контроля довольно перспективным в плане простоты и доступности является метод активного теплового контроля (ТК), при котором исследуемое изделие подвергается тепловому воздействию путем нагрева (или охлаждения) и последующему измерению температуры на его поверхности [2, 3].

При проведении теплового (тепловизионного) контроля выполняется дистанционная регистрация и визуализация тепловых (температурных) полей исследуемых объектов, обычно при помощи тепловизора [3, 4]. Характер распределения температуры по поверхности объекта зависит от теплофизических и геометрических характеристик объекта, его внутренней структуры, а также параметров проведения процедуры контроля (режима нагрева, взаимного расположения источника теплового нагружения и измерительного устройства). При наличии дефектов внутренней структуры на поверхности объекта появляются аномальные зоны повышенной или пониженной температуры. Их последующий анализ позволяет судить о наличии изменений в материале в целом или на отдельных участках.

Тепловой неразрушающий контроль применяют для выявления различных видов дефектов при обследовании строительных конструкций, огнеупорных покрытий, электрооборудования и других объектов. С его помощью можно обнаружить трещины, поры, пустоты и раковины, нарушение контакта материалов в местах сварки или склейки, наличие посторонних включений в слое материала. Для определения типа и характеристик дефекта используют различные алгоритмы, основанные на математических моделях теплового состояния объекта. Модель представляет собой систему линейных и нелинейных дифференциальных уравнений, которые описывают распределение теплового поля в материале под влиянием воздействия источников теплового нагружения и условий окружающей среды [3, 5]. Для решения таких задач можно применять численные методы на основе сеточной аппроксимации исследуемого объекта, в частности, методы конечных разностей и конечных элементов, которые предполагают замену исходных дифференциальных уравнений алгебраическими за счет дискретизации объекта моделирования [5–7].

Основным информативным параметром при выявлении дефектов методом ТК служит величина дифференциального температурного сигнала – температурного перепада над аномальным участком. Она определяется как локальная разность температур поверхности объекта, измеренных над дефектной областью и участком без дефекта. При тепловом воздействии на объект эта величина изменяется в зависимости от теплофизических и геометрических характеристик объекта, глубины залегания и типа дефекта [2, 3]. Оптимальным временем для регистрации температуры объекта является момент, при котором достигается оптимальное значение информативного параметра (соотношение сигнал/шум). Его величина зависит от конкретных параметров объекта контроля и режима нагрева. Для определения оптимального момента наблюдения проводят вычислительные и натурные эксперименты. В ходе численного моделирования теплового состояния объекта необходимо определить момент времени, когда величина температурного сигнала достигает максимального значения.

#### **Описание объекта, модели и методов исследования**

Рассмотрим модель теплового состояния трехслойной биметаллической пластины с дефектом. Наружные слои пластины 1 и 3 изготовлены из нержавеющей стали, между ними находится теплораспределительный слой 2 из алюминия или меди (рисунок 1).

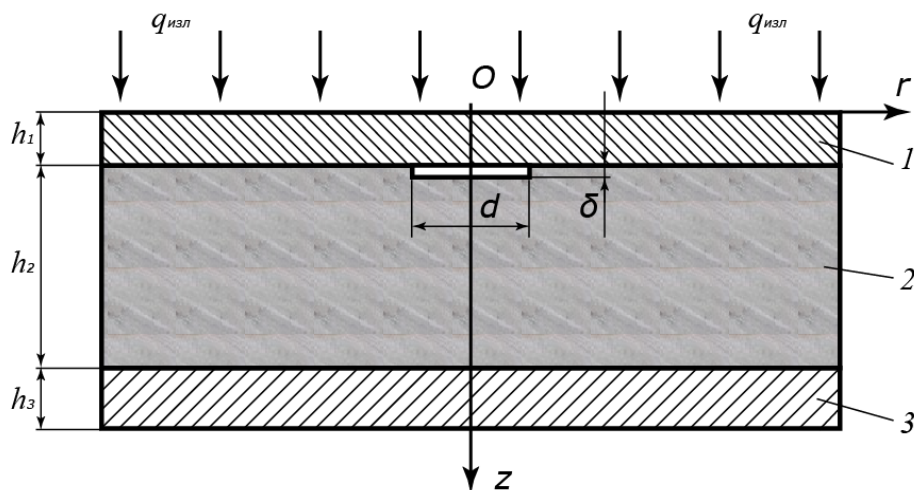


Рисунок 1 – Трехслойная пластина с дефектом

Пластина рассматривается как симметричная относительно оси  $z$  в цилиндрической системе координат  $(r, z)$ . Слои пластины, толщиной  $h_1$ ,  $h_2$  и  $h_3$  соответственно, имеют форму цилиндра радиуса  $R$ , причем  $R \gg h_i$ . Поперечные размеры дефекта (диаметр  $d$  и толщина  $\delta$ ) ограничены и существенно меньше размера пластины. Тепловой поток от источника теплового нагружения  $q_{\text{изл}}$  направлен по нормали к слоям.

При моделировании теплового состояния объекта был принят ряд допущений и ограничений. Для температурного поля имеет место осевая симметрия ( $dT/d\varphi = 0$ ). Считаем, что температурное поле нестационарное и двухмерное –  $T(r, z, \tau)$ .

Моделируемый процесс нагрева соответствует условиям проведения импульсного активного ТК, поскольку в стационарном режиме сигналы от дефектов нивелируются из-за выравнивания температуры по объему тела, а в условиях теплообмена с окружающей средой разность температур среды и тела не позволяет достичь достаточного значения амплитуды сигнала. Теплообмен со стороны источника теплового нагружения считаем адиабатическим, поскольку в активных процедурах ТК мощность потока нагрева обычно значительно превышает мощность встречного потока теплоотдачи от тела за счет конвекции и излучения.

В области контакта соседних слоев пластины отсутствует термическое сопротивление. Контакт между отдельными слоями пластины полагаем идеальным – на границе раздела выполняется равенство температур и тепловых потоков. Передачей тепла в цилиндрическом воздушном зазоре можно пренебречь.

С учетом сформулированных допущений полагаем, что распределение температуры в исследуемом объекте описывается уравнением теплопроводности ( $\tau > 0$ ,  $0 \leq r \leq R$ ,  $0 \leq z \leq (h_1 + h_2 + h_3)$ )

$$\frac{\partial T_i}{\partial \tau} = a_i \cdot \left( \frac{\partial^2 T_i}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_i}{\partial r} + \frac{\partial^2 T_i}{\partial z^2} \right), \quad (1)$$

- где  $i = 1, 2, 3$  – номер слоя;  
 $\tau$  – время;  
 $T(r, z, \tau)$  – температура,  
 $a_i = \lambda_i / (c_i \cdot \rho_i)$  – коэффициент температуропроводности;

$\lambda_i, \rho_i, c_i$  – соответственно теплопроводность, плотность и удельная теплоемкость металлов.

Индекс 1 соответствует стали при  $0 \leq z \leq h_1$ ; индекс 2 – алюминию при  $h_1 \leq z \leq (h_1 + h_2)$ ; индекс 3 – стали при  $(h_1 + h_2) \leq z \leq (h_1 + h_2 + h_3)$ .

Исследуемый параметр – дифференциальный температурный сигнал  $\Delta T$ , равный разности температур в исследуемой точке  $T$  и в зоне, принятой за бездефектную,  $T_{\text{бд}}$

$$\Delta T(r, z, \tau) = T(r, z, \tau) - T_{\text{бд}}(r, z, \tau). \quad (2)$$

Подробное описание модели импульсного нагрева и последующего остывания многослойной пластины при наличии дефекта расслоения с учетом граничных условий и различных вариантов нагрева и охлаждения (односторонний и двухсторонний тепловой контроль) приведено в [6]. Также разработан алгоритм решения методом конечных разностей и его программная реализация для математических пакетов GNU Octave/Matlab [6]. Кроме этого, разработана модель и проведен расчет методом конечных элементов в пакете Agros2D [7].

Результаты проведенных вычислительных экспериментов на описанной модели трехслойной пластины [6, 7] показали, что дефект в виде тонкой воздушной прослойки между металлами оказывает термическое сопротивление тепловому потоку. При этом температура над дефектом увеличивается, если снимать сигнал со стороны нагреваемой поверхности (односторонняя процедура ТК), и понижается, если устройство регистрации температуры находится по другую сторону пластины (при двухсторонней процедуре ТК). Температурный сигнал более информативен, если использовать для его определения значения температур, измеренных с той стороны, где располагается дефект и производится нагрев пластины. На оси пластины наблюдается максимальная величина дифференциального температурного сигнала. Увеличение мощности теплового потока нагрева ведет к росту температурного сигнала. Также установлено, что характерный момент времени, до наступления которого температурный сигнал устойчиво растет, для одного и того же объекта, но при различной мощности тепловой стимуляции, наступает практически одновременно.

### **Моделирование теплового состояния трехслойной пластины при различных размерах дефекта**

На следующем этапе моделирования рассмотрим решение задачи для различных значений диаметра воздушного зазора между пластинами. Размеры пластины (см. рисунок 1)  $h_1=h_3=1,7$  мм,  $h_2=5,6$  мм, радиус пластин  $R=50$  мм, толщина воздушного зазора  $\delta=0,2$  мм. Начальная температура пластины  $T_0=20^\circ\text{C}$ , температура окружающей среды  $t_{\text{окр}}=20^\circ\text{C}$ .

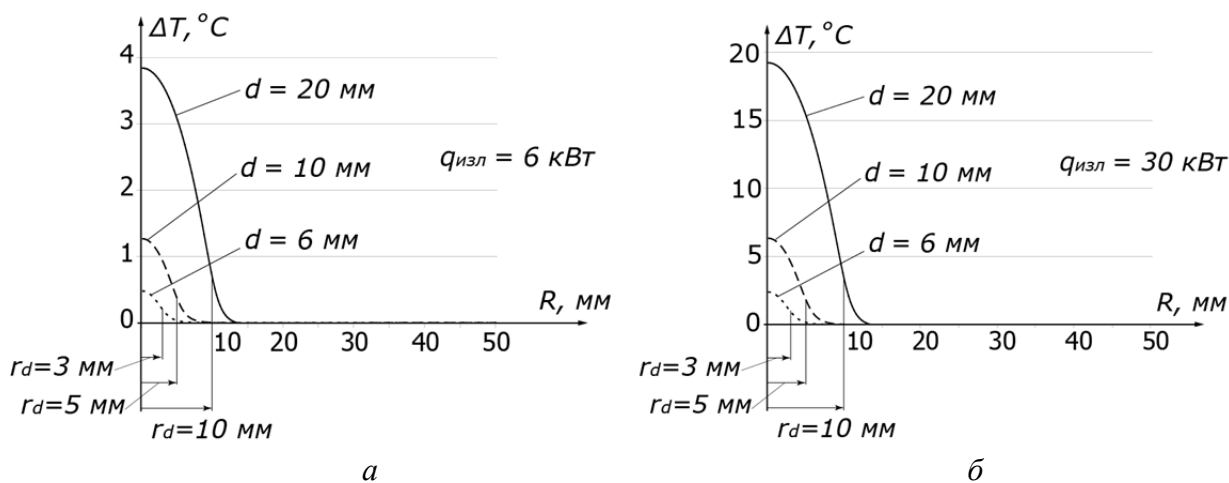
Нагрев и измерение температуры выполняются со стороны дефекта. Время нагрева  $\tau=10$  с, шаг расчета 0,05 с.

Теплофизические свойства стали: плотность  $\rho_{\text{ст}}=7850$  кг/м<sup>3</sup>, удельная теплоемкость  $c_{\text{ст}}=504$  Дж/(кг·К), коэффициент теплопроводности  $\lambda_{\text{ст}}=17$  Вт/(м·К). Теплофизические свойства алюминия: плотность  $\rho_{\text{ал}}=2712$  кг/м<sup>3</sup>, удельная теплоемкость  $c_{\text{ал}}=897$  Дж/(кг·К), коэффициент теплопроводности  $\lambda_{\text{ал}}=203,5$  Вт/(м·К).

В различных вариантах решения диаметр воздушного зазора  $d$  принимается равным 6 мм, 10 мм и 20 мм, мощность теплового потока нагрева  $q_{\text{изл}}$  составляет 6 кВт/м<sup>2</sup>, 10 кВт/м<sup>2</sup> и 30 кВт/м<sup>2</sup>. Решение выполнено методом конечных элементов в пакете Agros2D, подробное описание алгоритма решения приведено в одной из предыдущих работ автора [7].

## Результаты моделирования

В результате моделирования получены расчетные значения температуры на поверхности пластины, на основе которых построены графики распределения дифференциального температурного сигнала по радиусу пластины (рисунок 2).

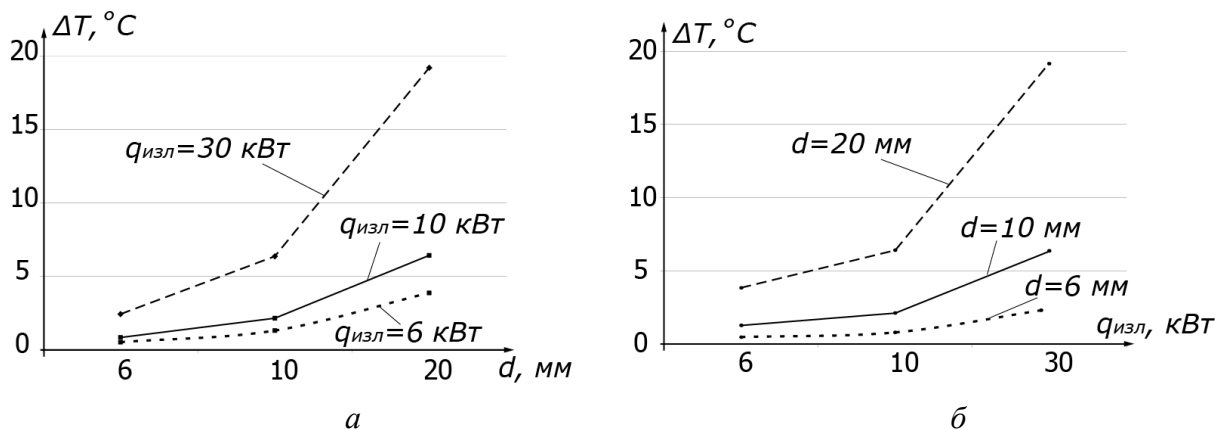


*а* – температурные сигналы при мощности теплового потока  $q_{изл} = 6 \text{ кВт/м}^2$ ;  
*б* – температурные сигналы при мощности теплового потока  $q_{изл} = 30 \text{ кВт/м}^2$

Рисунок 2 – Распределение температурного сигнала по поверхности пластины при различной протяженности дефектов

Показаны результаты для мощности теплового потока  $q_{изл}$ , равной  $6 \text{ кВт/м}^2$  и  $30 \text{ кВт/м}^2$ . Установлено, что при приближении к границе дефекта величина дифференциального температурного сигнала существенно снижается. Можно сделать вывод, что для качественного выявления дефектов малого размера необходимо увеличивать интенсивность тепловой стимуляции. Для определения оптимального режима нагрева образцов с небольшими дефектами необходимо проведение дополнительных вычислений.

На рисунке 3 приведены зависимости температурного сигнала над дефектом в центральной точке поверхности пластины от теплового потока и диаметра дефекта.



*а* – зависимость температурного сигнала от диаметра дефекта;  
*б* – зависимость температурного сигнала от мощности теплового потока

Рисунок 3 – Максимальный температурный сигнал над дефектом после нагрева

Можно наблюдать, что при увеличении мощности теплового потока и размера дефекта величина полезного температурного сигнала растет.

Для определения оптимального времени нагрева пластины построены графики зависимости дифференциального температурного сигнала над дефектом в центральной точке поверхности пластины от времени (рисунок 4).

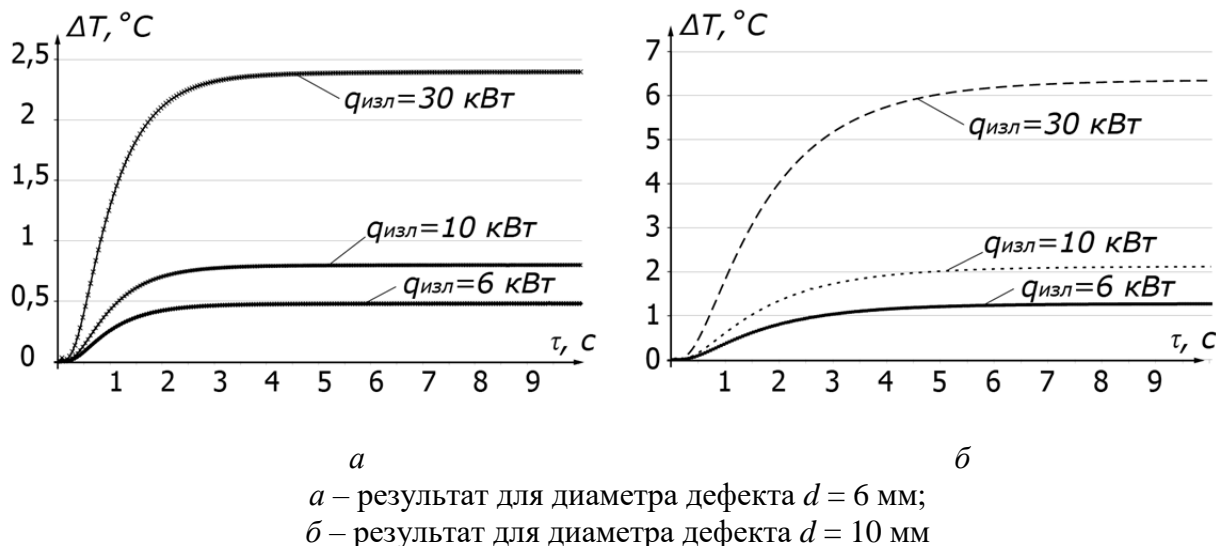


Рисунок 4 – Зависимость дифференциального температурного сигнала над дефектом от времени нагрева

Во всех рассмотренных случаях можно определить характерный момент времени, до наступления которого температурный сигнал устойчиво растет, а при дальнейшем нагреве – практически не изменяется. При сравнении температурных сигналов для различных значений диаметра дефекта и неизменной мощности теплового потока можно наблюдать, что данный момент наступает тем раньше, чем меньше размер дефекта (рисунок 5).

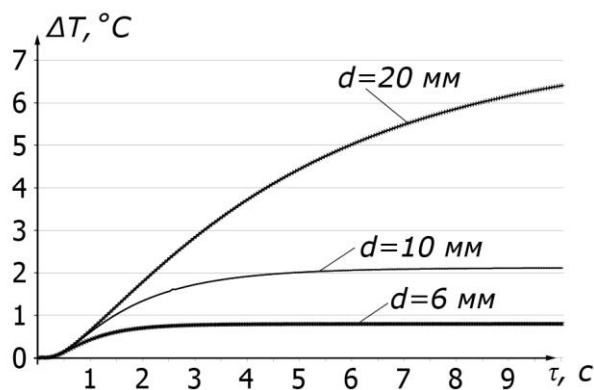


Рисунок 5 – Зависимость дифференциального температурного сигнала над дефектом от времени нагрева при мощности теплового потока  $q_{\text{изл}} = 10 \text{ кВт/м}^2$

### Заключение

Результаты проведенного моделирования согласуются с результатами предыдущих этапов исследования и показывают, при увеличении мощности теплового потока и размера дефекта величина дифференциального температурного сигнала растет. При исследовании образцов с дефектами малого размера необходимо увеличивать мощность теплового потока. Моделирование позволяет определить характерный момент времени, до наступ-

ления которого температурный сигнал устойчиво растет, причем данный момент наступает тем раньше, чем меньше размер дефекта.

Полученные результаты могут быть использованы для дальнейших экспериментальных исследований и при формировании системы активного теплового контроля изделий из многослойных биметаллических материалов.

### Библиографический список

1. Кобелев А.Г., Шаронов М.А, Кобелев О.А. Шаронова В.П. Материаловедение. Технология композиционных материалов. – М.: КНОРУС, 2016. – 270 с.
2. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий: справочник. В 2-х книгах. Кн. 1 / Под ред. В.В. Ключева. – М.: Машиностроение, 1986. 488 с.
3. Вавилов В.П. Инфракрасная термография и тепловой контроль: научное издание. – М.: ИД Спектр, 2009. – 544 с.
4. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. – М.: Энергия, 1975. – 488 с.
5. Ячиков И.М., Логунова О.С., Портнова И.В. Математическое моделирование теплофизических процессов. – Магнитогорск, МГТУ, 2004. – 175 с.
6. Определение параметров дефекта расслоения биметаллической пластины посредством активного теплового неразрушающего контроля / О.В. Логиновский, Л.Ю. Костылева, А.А. Максимов, И.М. Ячиков // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2021. – Т. 21, № 4. – С. 37–51.
7. Костылева, Л.Ю. Моделирование нестационарной теплопередачи в многослойной биметаллической пластине // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2022. – Т. 22, № 3. – С. 68–79.

УДК 519.6+004.023

## ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТОМОГРАФИЧЕСКОЙ РАЗРЕШИМОСТИ СПЕЦИАЛЬНОЙ ЗАДАЧИ ДЕФЕКТОСКОПИИ

Зеркаль С.М., Пешков А.В.

*Новосибирский государственный технический университет  
г. Новосибирск, Россия, [typeskov1997@mail.ru](mailto:typeskov1997@mail.ru)*

**Аннотация.** Метод вычислительной (компьютерной) томографии позволяет по характеристикам пропущенного через исследуемый объект излучения судить о его внутреннем устройстве, физическом состоянии или химическом составе этого объекта. В данной работе предложен подход для приближения к решению специальной задачи дефектоскопии в рамках вычислительной томографии. Подход основан на использовании так называемых «сильных методов», когда информация доминирует над методом. Представленные результаты эвристического поиска дефекта в модели изделия позволяют сделать вывод о его перспективности в области промышленной дефектоскопии.

**Ключевые слова:** дефектоскопия, вычислительная томография, эвристический поиск, локальная реконструкция, эталонный образец.

**Abstract.** The method of computational (computer) tomography makes it possible, by the characteristics of the radiation passed through the object under study, to judge its internal structure, physical state or chemical composition of this object. In this paper, a method is proposed for approaching the solution of a special problem of flaw detection in the framework of computational tomography. The approach is based on the use of so-called «strong methods», when information dominates the method. The presented results of the heuristic search for a defect in the product model allow us to conclude that it is promising in the field of industrial flaw detection.

**Keywords:** flaw detection, computed tomography, heuristic search, local reconstruction, reference sample.

Термин локальная томографическая реконструкция или локальная реконструкция возник довольно быстро после появления и распространения метода компьютерной томографии для обозначения ситуаций, когда интерес представляет не весь исследуемый объ-



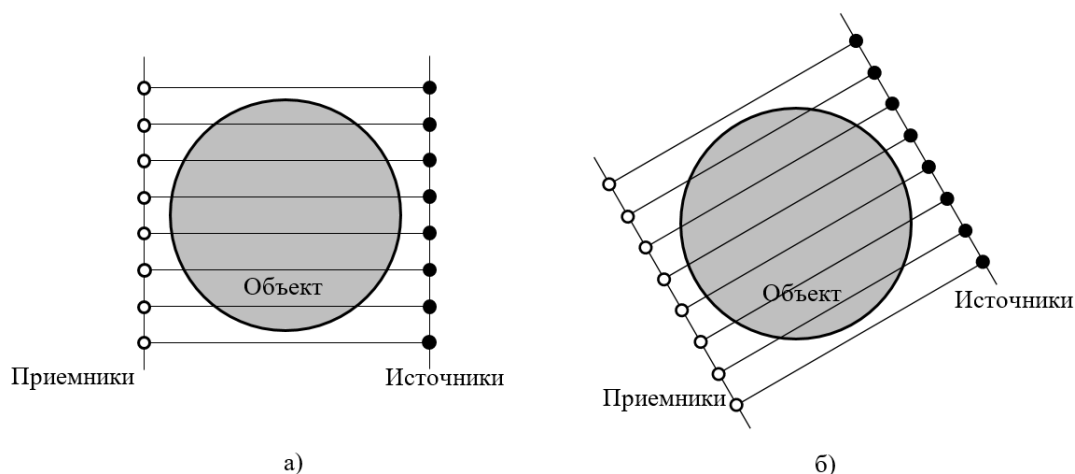
ект, а только некоторая его часть, которая и подвергается воздействию зондирующего излучения. Сюда же стали относить и другие близкие задачи под объединением аббревиатуры «ROI (Region Of Interest – область интереса) tomography» [1].

Предметом исследования в данной работе является диагностика в условиях вычислительной томографии объектов, имеющих ограничения при снятии проекционных данных. Типичным примером здесь являются обнаружения протяженных трещин, отслоений с переменным раскрытием вдоль их «простираения», что при наличии участков с недостаточным раскрытием в связи с ограничениями на чувствительность измеряющей аппаратуры приводит к потере проекционных данных на этих участках. В этих условиях задача диагностики отмеченных объектов осложняется вплоть до полной потери ее разрешимости [2, 3].

Под специальной задачей дефектоскопии в данном случае понимается томографическая диагностика объекта исследования (промышленного изделия) с дефектом, имеющим геометрическую форму, не обеспечивающую полноту проекционной матрицы, при этом известна исчерпывающая информация об эталонном образце данного объекта.

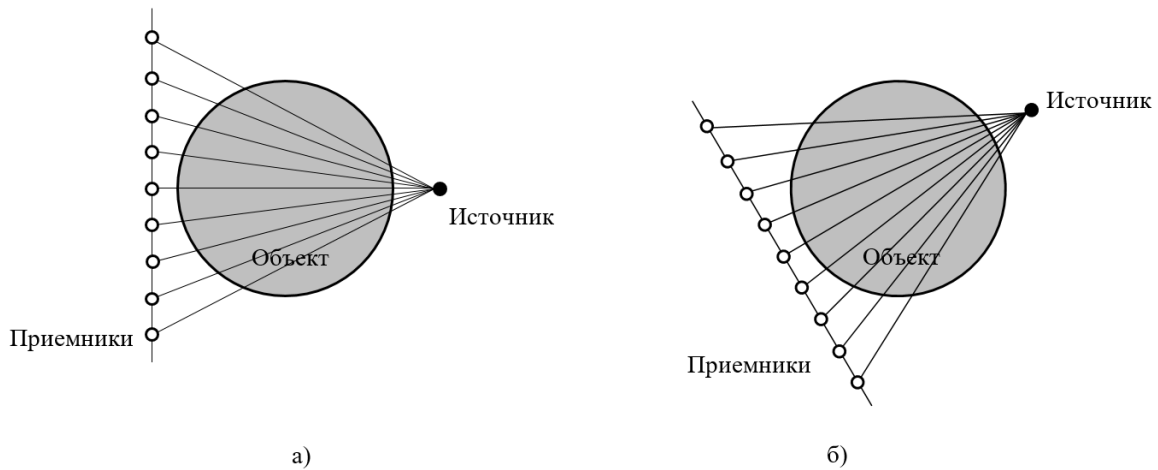
Для построения локальной томографической реконструкции предлагается подход, основанный на эвристическом поиске. Данный подход основан на принципе «сильных методов», когда возможности решателя задач в первую очередь определяются его информационной базой и лишь во вторую используемыми методами. Это важный вывод, который не так давно оценили исследователи в области искусственного интеллекта (ИИ). В этой связи в ИИ выделяют сильные методы решения задач или методы, основанные на доминировании знаний [4, 5]. Доминирование знаний в промышленной дефектоскопии и ряде других задач томографической диагностики заключается в наличии полной априорной информации об «эталонном образце» исследуемого объекта.

На первом этапе реконструкции формируется проекционная матрица для «эталонного образца» с использованием априорной информации об исследуемом объекте. Такая матрица может быть получена экспериментальным путем для объекта заведомо без дефекта либо рассчитана синтетически для компьютерного фантома объекта исследования. Здесь могут использоваться как параллельная схема сканирования, так и веерная (рисунок 1 и рисунок 2 соответственно) [6]. Дальнейшее изложение без ограничения общности ведется применительно к веерному варианту.



а) – начальное положение, б) – положение после поворота

Рисунок 1 – Параллельная схема сканирования объекта



а) – начальное положение, б) – положение после перемещения

Рисунок 2 – Верная схема сканирования объекта

На втором этапе выполняется сканирование исследуемого объекта, и формируется проекционная матрица. При этом в исследуемом объекте присутствует дефект, геометрия которого не позволяет получить входную информацию для традиционной вычислительной томографии. В нашем случае ширина раскрытия дефекта (трещины, отслоения) настолько мала, что лучи, пересекающие дефект существенно вкост его простираения, теряют информативность (назовем такие лучи «нормальными»), и только «касательные», тангенциальные лучи, имеющие достаточный путь по дефекту, получают необходимую для дальнейших действий информацию [7].

Разбиение лучей по информативности имеет в своей основе интересный с точки зрения практики факт, вытекающий из следующих геометрических рассуждений. Рассмотрим две близкие плоские кривые (рисунок 3), допустим, концентрические окружности радиусов  $R$  и  $R + \varepsilon$ ,  $0 < \varepsilon \ll 1$ , тогда  $\Delta l$  – длина отрезка, являющегося хордой внешней окружности и касательной к внутренней, выразится формулой:

$$\Delta l = \sqrt{R^2 + 2R\varepsilon + \varepsilon^2 - R^2} = \sqrt{2R\varepsilon + \varepsilon^2},$$

пренебрегая величиной  $\varepsilon^2$ , получаем  $\Delta l \cong \sqrt{2R\varepsilon}\sqrt{\varepsilon^2}$ .

Это означает, что среди лучей, пересекающих область, заключенную между указанными окружностями (кривыми), будут лучи, имеющие в этой области длину пути как порядка  $\varepsilon$ , так и порядка  $\sqrt{\varepsilon}$ , что существенно при достаточно малых значениях  $\varepsilon \sim 10^{-6} \div 10^{-4}$  [7].

На третьем этапе выполняется итерационный поиск дефекта на основе полученных данных. Таким образом, в нашем распоряжении есть две проекционные матрицы:  $A_0$  – эталонная и  $A_1$  – исследуемая, полученная в результате измерений. Путем вычитания исследуемой матрицы из эталонной получаем рабочую матрицу  $A^*$ . Затем выполняется тот самый «эвристический поиск», основанный на нахождении скопления тангенциальных лучей, оставшихся в  $A^*$ .

Рассмотрим описанные выше этапы на примере упрощенной модели. Пусть мы имеем изделие с круглым поперечным сечением, внутри которого имеется трещина, представленная областью между двух парабол (рисунок 4). Синие лучи соответствуют тангенциальным лучам, имеющимся в рабочей матрице  $A^*$ . Также для удобства на модель наложена сетка  $10 \times 10$  пикселей.

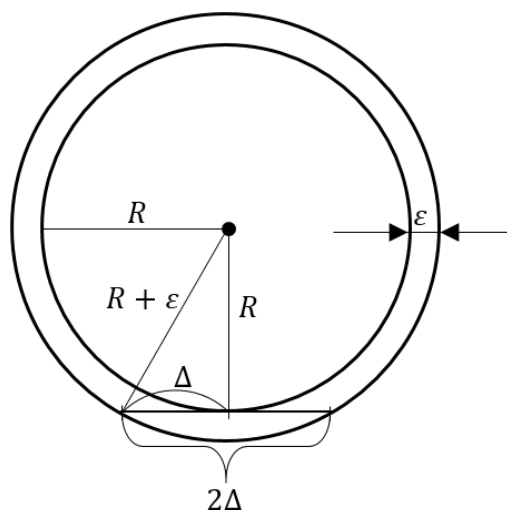


Рисунок 3 – Геометрическая оценка длины касательных лучей

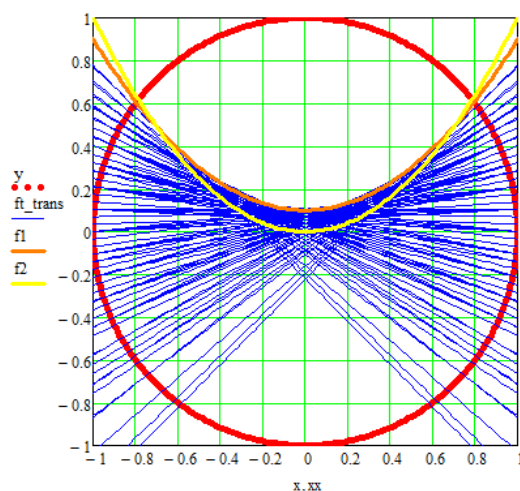


Рисунок 4 – Модель объекта с дефектом

Далее для каждого пикселя рассчитаем сумму длин проходящих через него лучей, пронормируем эти данные в диапазоне от 0 до 9 и представим графическое изображение в виде тепловой карты. Так как мы имеем дело с эвристическим поиском, то можно итерационно изменять масштаб сетки для интересующего нас региона. На рисунке 5 представлен процесс эвристического поиска дефекта путем постепенного изменения масштаба сетки.

Таким образом, уменьшая сетку, мы получаем более точное положение и форму дефекта. При сетке  $40 \times 40$  пикселей форма дефекта, полученная эвристически, оказалась очень близка к исходной, заданной в модели объекта (рисунок 4).

В рамках эмпирического подхода также возможно локализовать и даже построить огибающую к системе тангенциальных лучей, формирующих  $\lambda$  – некоторое семейство прямых линий, однако это возможно для довольно ограниченного класса дефектов, допускающих формирование  $\lambda$ . Поэтому для численного приближения к решению специальной задачи дефектоскопии предлагается использовать описанный выше подход, основанный на попиксельном исследовании «рабочих лучей».

В процессе дальнейших исследований планируется от относительных длин лучей перейти к реальным значениям плотностей в каждом пикселе исследуемого объекта. Для этого необходимо будет построить и решить систему линейных алгебраических уравнений, где лучи будут уравнениями, а в качестве неизвестных будут выступать плотности пикселей.

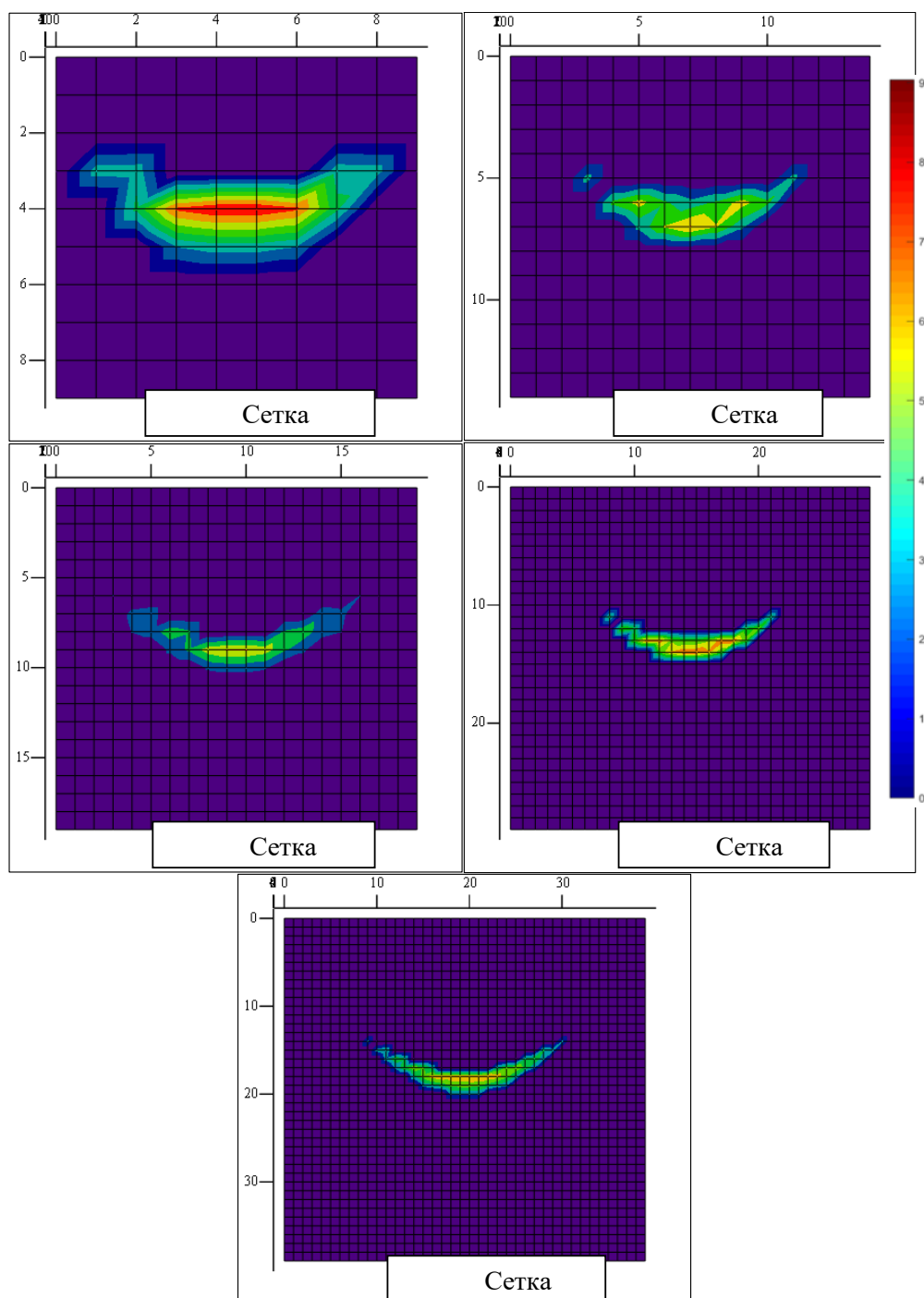


Рисунок 5 – Итерационный процесс локализации дефекта

### Библиографический список

1. Смирнов И.М. Разработка и исследование методов вычислительной томографии // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики, №4, 2019.
2. Шиц Е.Д., Очнев А.А. Неразрушающий контроль промышленных трубопроводов // Наука, техника и образование. 2015. №12 (18).
3. Колёскин В.Н. Методы изучения и получения однородной структуры зернистого слоя // Евразийский Союз Ученых. 2018. №7-1 (52).

4. Леонов Ю.А., Леонов Е.А., Зуева А.С., Сазонова А.С. Поиск оптимальных технологических процессов с использованием алгоритмов эвристического поиска // Транспортное машиностроение. 2017. №4 (57).
5. Клепиков В.Н. Эвристические методы решения задач в современной школе // Школьные технологии, №3, 2017.
6. Шестаков О. В. Точность реконструкции томографических изображений при использовании веерной схемы сканирования // Вестник Московского университета. Серия 15. Вычислительная математика и кибернетика, №3, 2008.
7. Белоусова О.Н. Вычислительная томография при нетрадиционных схемах наблюдений: монография / О.Н. Белоусова, С.М. Зеркаль, Е.В. Шапошникова; Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-т (Сибстрин). – Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2010. – 160 с.

УДК 53.072

## СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ УСЛОВИЙ ПЛОХОЙ ВИДИМОСТИ В ВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ

**Филипас А.А., Рябов А.В.**

*Томский политехнический университет  
г. Томск, Россия, avr3b@tpu.ru*

***Аннотация.** В докладе рассмотрена конструкция системы технического зрения для условий плохой видимости в воздушной среде в зависимости от различных частиц, мешающих наблюдению за объектом, и методы получения изображения объекта.*

***Ключевые слова:** техническое зрение, наблюдательная часть, осветительная часть, зона наблюдений, проекции, длина волны, частота.*

***Abstract.** The report examines the design of the vision system for conditions of poor visibility in the air, depending on various particles that interfere with the observation of the object, and methods for obtaining an image of the object.*

***Keywords:** technical vision, observation part, lighting part, observation area, projections, wavelength, frequency.*

### **Введение**

Техническое зрение чрезвычайно важно в наши дни. Неспособность человека распознавать некоторые объекты в пространстве, а также несвоевременная реакция часто приводят к человеческим ошибкам, которые приводят к некоторым экономическим потерям. Всего этого можно избежать, заменив человека машиной. Система сможет выполнять задачи быстро и точно, затрачивая при этом небольшое количество ресурсов.

Система найдет большое применение в военной и научной областях. Быстрое и точное распознавание объекта увеличит время на принятие решения и подготовку к нейтрализации противника. Своевременное распознавание айсбергов позволит лодкам избежать столкновений, а получение четких изображений объектов в воде позволит получить точную карту океанского дна, а также данные о водных обитателях. И это только та часть, где может быть применено техническое зрение. Его использование может быть ограничено только нашим воображением.

### **Описание установки**

Установка состоит из трех основных частей: наблюдательная, осветительная и зона наблюдения. Наблюдательная часть включает в себя камеру, установленную горизонтально на конструкции из профилей. Камера прикреплена к ремню, который перемещает камеру с помощью шагового двигателя на определенное расстояние вдоль оси ОХ (см. рисунок 1). Такой метод наблюдения позволит получить более полную форму объекта. Из одной точки расположения камеры наблюдатель будет видеть одну проекцию объекта, из

другой точки – другую. Объединив полученные изображения, мы сможем получить полное изображение объекта, которое предоставляет нам больше информации об объекте (его форма, размер, материал). Осветительная часть состоит из двух подложек со светодиодами. Подложки также могут перемещаться вдоль оси ОХ с помощью шагового двигателя, обеспечивая разный угол падения луча на объект, что приведет к разным углам отражения и, соответственно, получению разных проекций. Светодиодные подложки включают в себя волны различной длины, что позволяет расширить количество параметров, влияющих на получение изображения. Область наблюдения включает в себя контейнер, в котором находятся различные мелкие объекты, препятствующие получению качественного изображения, и объект, расположенный за контейнером. Контейнером служит параллелепипед, изготовленный из полиметилметакрилата и имеющий объем 250 литров (см. рисунок 2). На крышке параллелепипеда закреплен вентилятор, который хаотично разгоняет мелкие частицы, что позволяет получать случайные данные. В качестве объекта используются пластиковые шары диаметром 10, 25, 50 сантиметров, расположенные на разном расстоянии от точки наблюдения.

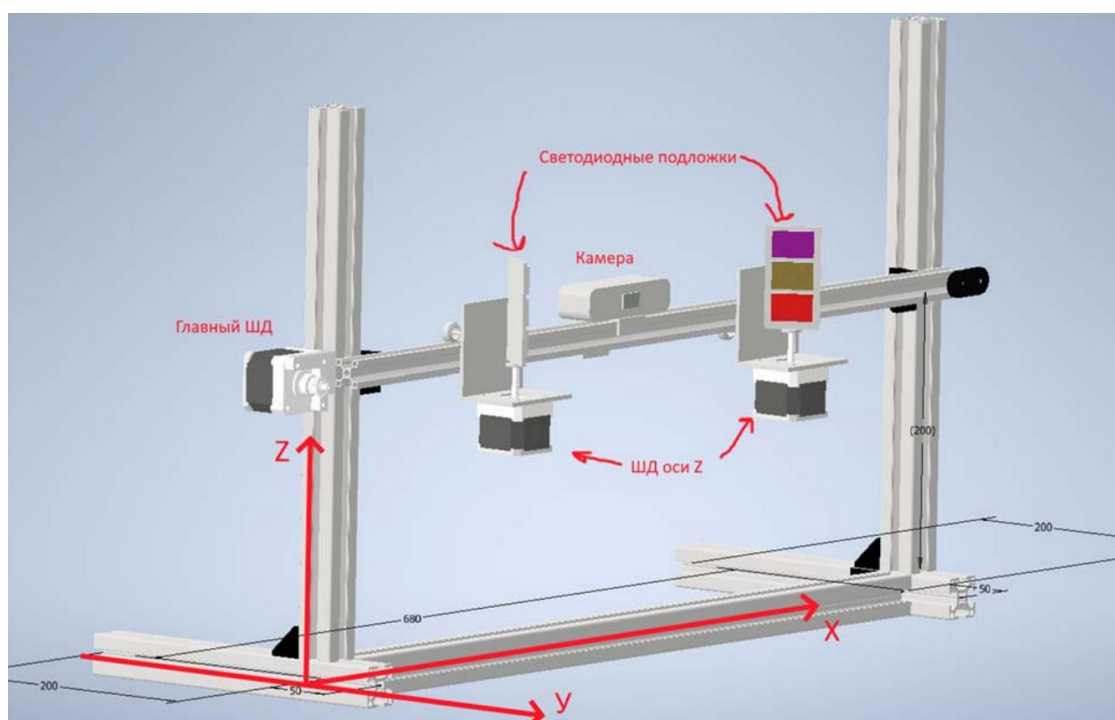


Рисунок 1 – Схема конструкции наблюдения и освещения

### Способы получения информации об объекте

Методы получения информации об объекте делятся на аппаратные и программные.

Аппаратные методы наблюдения разделены на три части:

1. изменение расположения подложек со светодиодами;
2. освещение одной подложкой с разными длинами волн;
3. освещение двумя подложками с разными длинами волн.

В этом эксперименте параметрами, влияющими на ход эксперимента, будут:  $P$  – мощность излучения,  $\lambda$  – длина волны,  $\nu$  – частота световых импульсов,  $\alpha$  – угол между светодиодными подложками и объектом наблюдения,  $\beta$  – угол между камерой и объектом. Изменение расположения подложек позволит получить различные проекции объекта. Изображение, составленное из проекций с различным расположением подложек, позволит получить наиболее полную информацию об объекте. Принцип получения изображения представлен на рисунке 3. Освещение объекта одной подложкой позволит получить одни данные, а освещение двумя подложками разной длины позволит получить дру-

гие. В ходе эксперимента будет установлен наиболее успешный метод получения изображения.

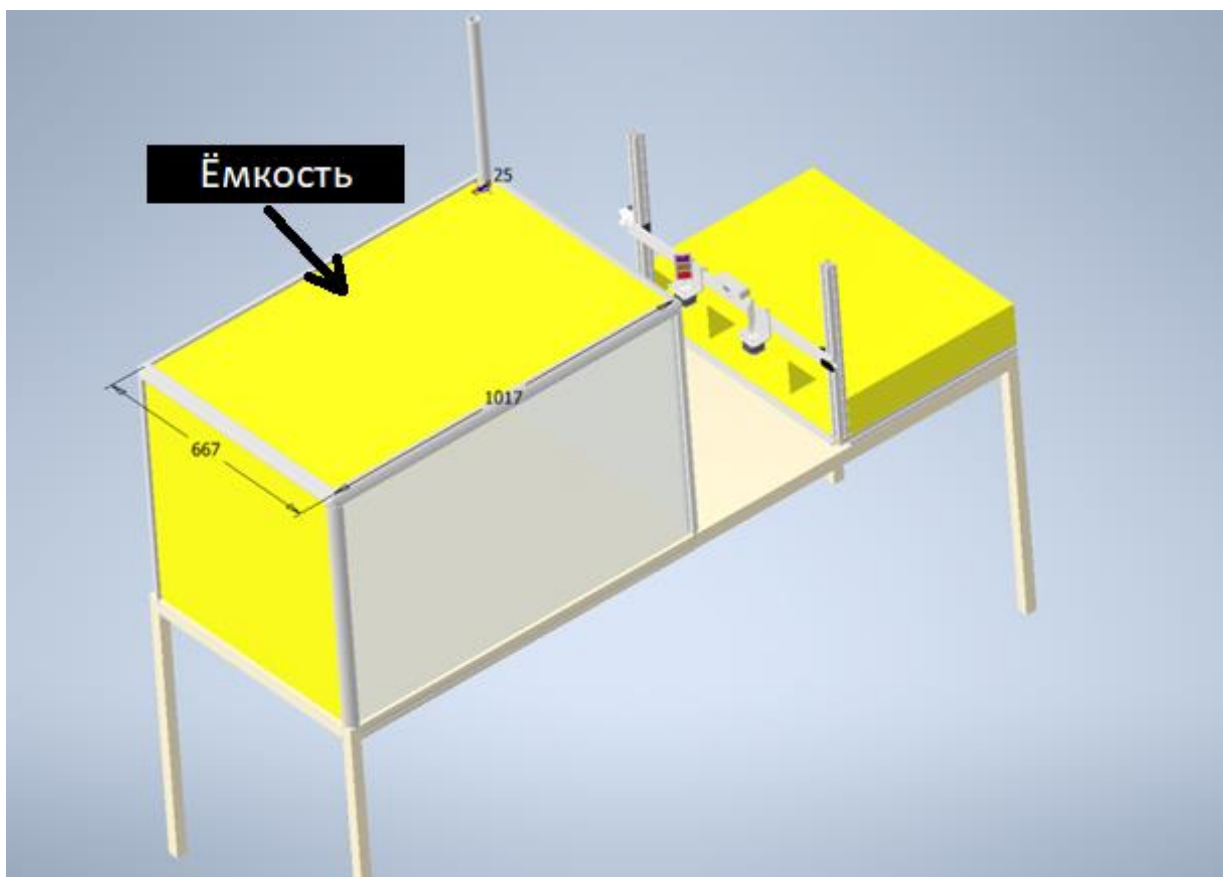


Рисунок 2 – Общий вид установки

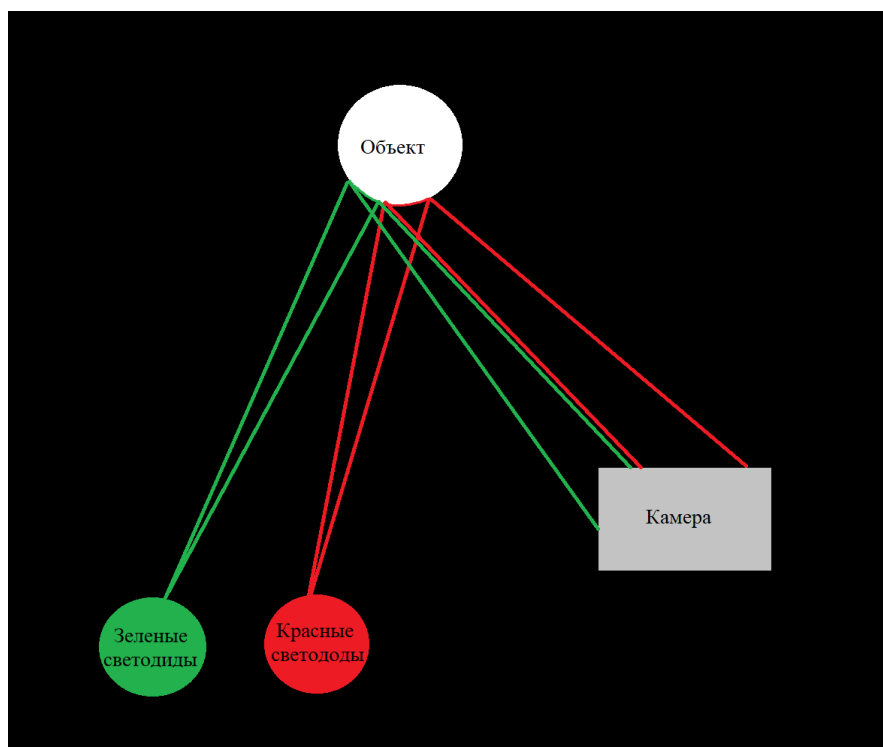


Рисунок 3 – Принцип получения изображения

## Заключение

В этой статье была рассмотрена структурная часть установки и процесс получения четкого изображения с помощью системы визуального контроля. Использование системы видения станет огромным прогрессом во многих областях человеческой жизни. Внедрение системы позволит оптимизировать процесс, а именно: увеличить скорость обработки большого объема данных; распознавать объекты, которые человек не в состоянии распознать, и исключить человеческий фактор. Относительная простота и дешевизна системы ускорит темпы развития общества.

## Библиографический список

1. А.А. Рогов. Фотография под водой – 1964 год.
2. Сергеев В.В., Карпов В.Н., Прибылов Ю.С. Современные технологии подводного видения. Адаптивная система фото- и видеорегистрации для автономных необитаемых подводных аппаратов // Neftegaz.RU . – 2020 год. – № 8.
3. Даркстон [Электронный ресурс]: сайт производителя оборудования для станков с ЧПУ // Раздел Статей. Шаговые двигатели. Принцип работы и управление: <https://darxton.ru/wiki-article/shagovye-dvigateli-printsip-raboty-i-upravlenie/>.

УДК 51-7

## АНАЛИЗ КРИТЕРИЕВ ОПТИМИЗАЦИИ И СПОСОБОВ РЕШЕНИЯ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ ЗАДАЧ В МЕТАЛЛУРГИИ

Рыбенко И.А.<sup>1</sup>, Roos К.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»  
г. Новокузнецк, Россия, rybenkoi@mail.ru

<sup>2</sup>Technische Universität Dresden, Fakultät Bauingenieurwesen  
Dresden, Deutschland, ksiusha84@mail.ru

**Аннотация.** В статье приведен анализ критериев оптимизации для разработки оптимальных технологических режимов металлургических процессов. Показано, что наиболее универсальным критерием является энергоемкость процесса. Рассмотрены способы решения задач многокритериальной оптимизации, в том числе методы сведения задачи векторной оптимизации к скалярной. Представлена классификация методов скалярной оптимизации.

**Ключевые слова:** металлургический процесс, критерий оптимизации, энергоемкость процесса, векторная оптимизация, скалярная оптимизация.

**Abstract.** The article provides an analysis of optimization criteria for the development of optimal technological modes of metallurgical processes. It is shown that the most universal criterion is the energy intensity of the process. Methods of solving multicriteria optimization problems are considered, including methods of reducing the vector optimization problem to a scalar one. The classification of scalar optimization methods is presented.

**Keywords:** metallurgical process, optimization criterion, energy intensity of the process, vector optimization, scalar optimization.

Процесс совершенствования и развития любых технологических систем представляет собой решение задачи оптимизации, то есть последовательность нахождения решений, лучших по сравнению с текущим или исходным состоянием.

Проблема оптимизации технологических режимов металлургических процессов в настоящее время как никогда актуальна в связи с низкими технико-экономическими показателями существующих агрегатов, большими затратами материальных и энергетических ресурсов на производство единицы продукции, необходимостью создания новых экологически чистых, ресурсо- и энергосберегающих технологий, реконструкцией и совершенствованием существующих технологий, рациональным использованием имею-



щихся ресурсов. Все это предполагает формулировку и решение различных по сложности задач оптимизации.

Основными этапами решения оптимизационной задачи являются: обоснование цели и выбор критериев; выделение объекта исследования; построение математической модели; выбор подхода и методов решения задачи; реализация метода и анализ результатов [1].

Одной из важнейших задач при решении задач оптимизации металлургических процессов является выбор критерия, который характеризует качество технологического процесса или степень достижения поставленной цели.

Критерий выбирается исходя из следующих формальных требований: он должен иметь количественную оценку в области изменения факторов и быть монотонно связан с качеством функционирования технологического объекта.

При совершенствовании существующих, а также создании принципиально новых технологий, более экономичных в смысле производства энтропии, целесообразно применение критериев, отражающих реальные экономические, технологические, технические, экологические показатели и требования.

К технологическим критериям можно отнести степень извлечения металла, производительность металлургического агрегата, продолжительность технологической операции, надежность, скорость протекания процессов и др. К критериям технико-экономического плана относятся капитальные вложения, энергетические и материальные затраты, себестоимость продукции, прибыль в единицу времени, отношение затрат к прибыли, рентабельность. Среди экологических критериев можно выделить плату за выбросы и сбросы, объемы сточных вод и технологических газов и др.

Применительно к оптимизации металлургических процессов наиболее объективным показателем по сравнению с остальными критериями, следует считать энергоемкость процесса [2]. Этот критерий удобно применять для сравнительной эффективности различных технологий, так как он позволяет принимать более обоснованные решения о целесообразности реализации тех или иных технологических схем без учета изменения цен на сырье и энергоресурсы и колебания курса валют. Кроме того, на современном этапе развития металлургии важнейшим требованием для российской экономики является проведение энергосберегающей политики и снижение энергозатрат на производство металла, так как энергоемкость продукции в России значительно превышает энергоемкость, характерную для развитых стран.

Наиболее полно вопросы оценки энергоемкости различных металлургических процессов отражены в работах [3 – 6]. В работе [3] представлены расчеты энергоемкости применительно к новым металлургическим процессам, в частности процесса Ромелт. В [4] приведена экономическая эффективность бескоксовых схем производства металла в различных ценовых условиях. В работах В. Г. Лисиенко [5, 6] проблемы энергоэффективности представлены в тесной взаимосвязи с вопросами экологоэффективности. Рассмотрены основные положения и приведены методики энергетического и энерго-экологического анализа как предпроектного исследования технологического процесса.

В монографии [7] приведено сопоставление по себестоимости, капиталовложениям и энергоемкости с традиционным доменным процессом и между собой нескольких наиболее известных процессов получения первичного продукта: чугуна (Корекс, Ромелт, Хайсмелт) и губчатого железа в виде металлизированных брикетов (Мидрекс и Хил III). Проведен сравнительный анализ по этим же показателям четырех технологических схем: доменная печь – конвертер, Мидрекс – ЭДП, Ромелт – ЭДП, Лом – ЭДП. Также приведены данные для процессов получения чугуна, рельсовой стали в мартеновской печи и дуговой электропечи. Аналогичные данные представлены и для струйно-эмульсионного процесса СЭР. Показано, что из существующих процессов наименьшие сквозные энергозатраты имеет классическая технология электроплавки из лома, около 12 ГДж/т. При использовании в шихте окатышей (Мидрекс – ЭДП) или чугуна (Ромелт – ЭДП) энергоза-

траты и себестоимость существенно возрастают. Наименьшие удельные капиталовложения также имеют место для классического электросталеплавильного процесса и увеличиваются при использовании чугуна или губчатого железа.

Также в работе [7] показано, что реализация заложенных в новом металлургическом процессе СЭР синергетических принципов позволили получить существенные преимущества перед известными процессами.

В связи с большим количеством критериев и ограничений выбор метода оптимизации металлургических процессов представляется достаточно сложной задачей. Решение таких многокритериальных задач, особенностью которых является наличие в области допустимых значений области компромиссов, в которой невозможно одновременное улучшение всех критериев, осуществляется методами векторной оптимизации [8]. При этом приходится сталкиваться с необходимостью нахождения решений, удовлетворяющих нескольким, зачастую конфликтующим между собой, критериям. Поскольку существование решения, оптимизирующего несколько целевых функций, является редким исключением, то с математической точки зрения задачи многокритериальной оптимизации являются неопределенными, и решение может быть только компромиссным. В связи с этим, определение экстремума заключается не в нахождении какого-то одного решения, а в отыскании некоторого множества решений, оптимальных по Парето, каждое из которых будет превосходить другие хотя бы по одному критерию.

Существуют несколько направлений решения задач векторной оптимизации, основанные на методе уступок и методе свертывания. Метод уступок применяется в случае, когда частные критерии могут быть упорядочены в порядке убывающей важности, и заключается в последовательном ослаблении первоначальных требований, как правило, одновременно невыполнимых. Метод свертывания применяется в случае равноценности критериев и заключается в сведении задачи многокритериальной оптимизации к однокритериальной путем построения обобщенного параметра оптимизации как некоторой функции от множества исходных. Основными способами построения обобщенного критерия оптимизации являются аддитивный метод, позволяющий получить обобщенный параметр как сумму произведений частных критериев, умноженных на величины как положительных, так и отрицательных весовых коэффициентов, и мультипликативный, в котором обобщенный параметр является произведением частных критериев оптимальности [9].

В результате сведения задачи векторной оптимизации к скалярной (с одним критерием оптимизации) появляется возможность использования формальных методов оптимизации, выбор которых осуществляется в зависимости от вида критерия, наличия и характера ограничений и размерности задачи. Этапы, подходы и методы решения задач оптимизации в виде схемы представлены на рисунке 1. Общая схема классификации методов скалярной оптимизации, согласно, показана на рисунке 2.

Однако очень часто сведение многокритериальной задачи к однокритериальной приводит к тому, что обобщенный критерий – интегральный или комплексный, получаемый путем уступок или некоторой свертки локальных критериев, либо не соответствует физической сущности задачи, либо ее предпосылкам. Поэтому при решении сложных задач многокритериальной оптимизации металлургических процессов очень часто требуется применение подходов, предусматривающих неформальные процедуры. Наиболее приемлемым в этом случае является метод исследования пространства параметров, сущность которого заключается в исследовании свойств объекта в некоторой области пространства внутренних параметров и нахождении такого их сочетания, которое способно обеспечить набор значений критериев, близких к наилучшему варианту [10]. При этом осуществляется использование всей совокупности критериев без изменения основного свойства многокритериальности и непосредственно в процессе решения задачи производится определение и неформальный анализ допустимого множества.

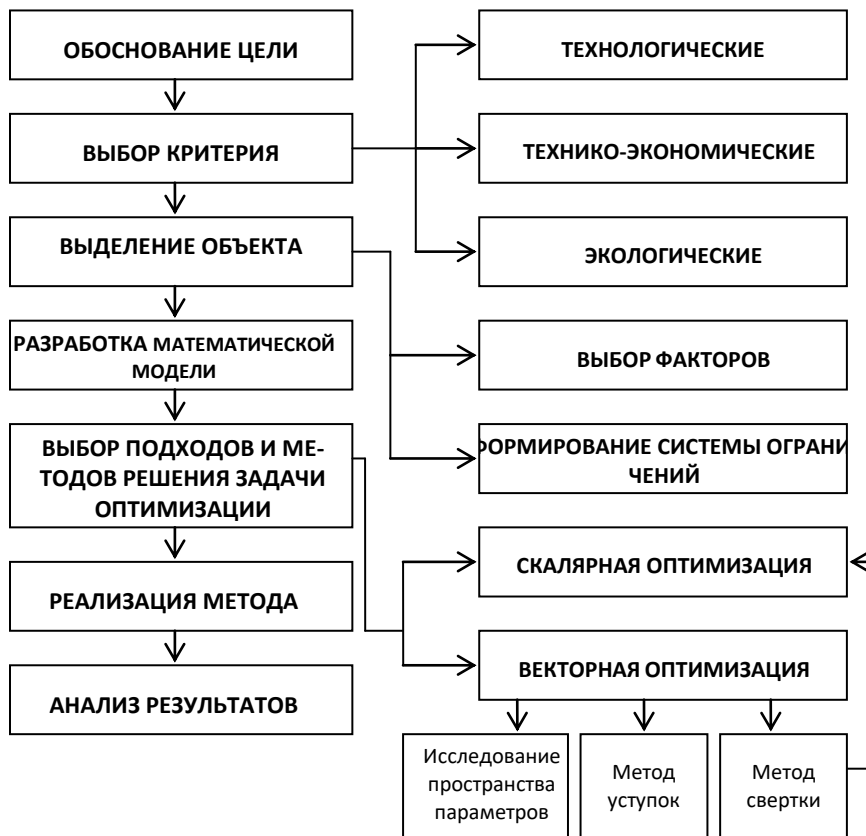


Рисунок 1– Этапы решения оптимизационной задачи

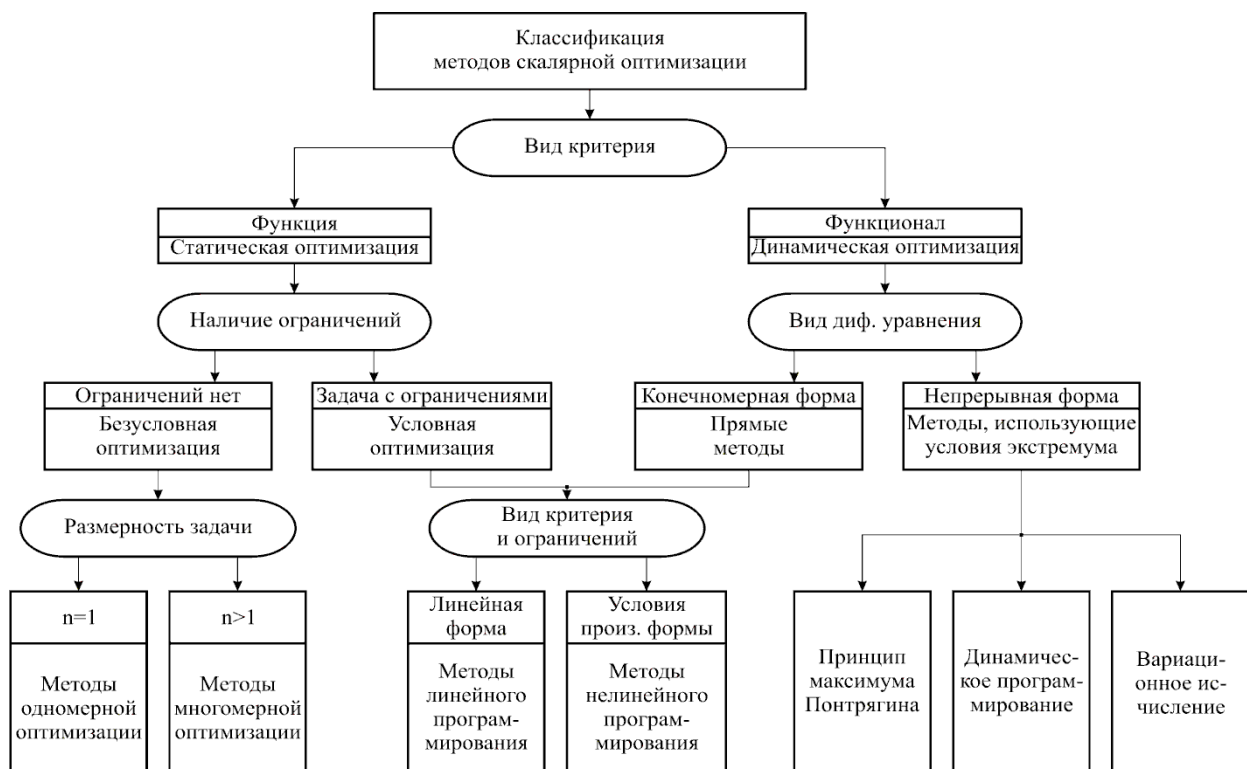


Рисунок 2 – Общая схема классификации методов скалярной оптимизации

## Библиографический список

1. Токарев В. В. Методы оптимальных решений: в 2-х томах. Т. 2 Многокритериальность. Динамика. Неопределенность [Электронный ресурс]. – 2-е изд., испр. и доп. / В. В. Токарев. – М. : Физматлит, 2011. – 420 с.
2. Моделирование и оптимизация условий и режимов процессов прямого восстановления металлов : монография / И. А. Рыбенко, О. И. Нохрина, И. Д. Рожихина, М. А. Голодова ; Мин-во науки и высш. образования Российской Федерации, Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2019. – 182 с.
3. Роменец, В. А. Новые процессы производства металла [текст] / В. А. Роменец // Металлург. – 2001. - № 11. – С. 30 – 38.
4. Лебедев, А. А. Экономическая эффективность бескоксовых схем производства металла в различных ценовых условиях [текст] / А. А. Лебедев, В. И. Галкин, В. И. Роменец // Изв. вуз. Черная металлургия. – 2003. - № 9. – С. 73 – 78.
5. Лисиенко, В. Г. Совершенствование и повышение эффективности энерготехнологий и производств (интегрированный энерго-экологический анализ: теория и практика) : в 2-х томах. Т. 1 [текст] / В. Г. Лисиенко. – М. : Теплотехник, 2010. – 688 с.
6. Лисиенко, В. Г. Энерго-экологический анализ, программное обеспечение и снижение эколого-экономического ущерба [текст] / В. Г. Лисиенко, О. Г. Дружинина, Б. Б. Зобнин ; под ред. В. А. Морозовой. – Екатеринбург : УГТУ, 2005. – 310 с.
7. Процесс СЭР – металлургический струйно-эмульсионный реактор : монография [текст] / В. П. Цымбал, С. П. Мочалов, И. А. Рыбенко [и др.]. – М. : Металлургиздат, 2014. – 488 с.
8. Лотов, В. А. Многокритериальные задачи принятия решений: учебное пособие [текст] / В. А. Лотов, И. И. Поспелова. – М. : МАКС Пресс, 2008. – 197 с.
9. Агеев, Н. Г. Моделирование процессов и объектов в металлургии : учеб. пособие [текст] / Н. Г. Агеев. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2016. – 108 с.
10. Соболев, И. М. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями [текст] / И. М. Соболев, Р. Б. Статников. – М.: Дрофа, 2006. – 176 с.

УДК 51.74

## ДЕКОМПОЗИЦИЯ И АГРЕГИРОВАНИЕ СЛАБОСВЯЗАННЫХ ОКРЕСТНОСТНЫХ СИСТЕМ

Сёмина В.В.

*Липецкий государственный технический университет  
г. Липецк, Россия, valvlasem@mail.ru*

**Аннотация.** В работе рассматриваются окрестностные системы и связанные с ними алгоритмы системного анализа: агрегирования и декомпозиции. Описаны слабосвязанные окрестностные системы, для которых рассмотрены задачи структурной и параметрической идентификации. Описаны алгоритмы декомпозиции и агрегирования двойных и тройных слабосвязанных систем. Рассматривается система, состоящая из двух слабосвязанных систем, для задачи оптимального управления микроклиматом в производственном помещении.

**Ключевые слова:** окрестностные системы, слабосвязанные системы, декомпозиция, агрегирование, параметрическая идентификация.

**Abstract.** The paper connected neighborhood systems and related systems analysis algorithms: aggregation and decomposition. Weakly coupled neighborhood systems are described, for which problems of structural and parametric identification are considered. Decomposition and aggregation algorithms for binary and triple weakly connected systems are described. A system consisting of two loosely coupled systems is considered for the problem of optimal microclimate control in a production facility.

**Keywords:** neighborhood systems, loosely coupled systems, decomposition, aggregation, parametric identification.

Математическое моделирование сложных производственных объектов или процессов позволяет описать их, например, с помощью дискретных или непрерывных систем управления. Для проектирования технологической схемы производственного процесса или для модернизации существующей схемы удобно использовать методы системного анализа. На первом этапе – этапе структурной идентификации модели, следует определить следующие атрибуты теории систем управления: внутренние блоки моделируемого объекта или процесса, входы и выходы, связи между элементами. Данное представление явно или неявно послужит для преобразования технологической схемы в математическую модель. Существуют также методы построения математических моделей, например, нейронные сети, которые существенно упрощают структурную идентификацию модели, в некоторых случаях позволяют исключить этот этап полностью или частично. Но в тех случаях, когда исходные данные о системе не разнообразны, а получение большого массива экспериментальных данных затруднено, то моделирование посредством системного анализа и структурной идентификации будет иметь преимущества.

Обобщением традиционных дискретных моделей (конечных и клеточных автоматов) являются окрестностные модели [1], которые развивают общие подходы теории систем. Использование окрестностных моделей требует намного меньше экспериментальных данных по сравнению с нейросетевыми моделями, позволяет сократить анализ физики моделируемого процесса и сочетает параметрическую и структурную идентификацию оптимальным образом.

Окрестностную структуру удобно представить в виде орграфа с наборами переменных в вершинах. Обозначим вершины окрестностной системы  $n_i, i = 1 \dots k$ , аргументы дискретны и принимают значения из конечного множества  $N = \{n_1, n_2, \dots, n_k\}$ ,  $n, x, y, z \in N$ . Удобно выделять следующие типы вершин: входы (имеют только выходящие дуги, на схеме изображены квадратами), выходы (имеют только выходящие дуги, изображены квадратами); узлы (имеют входящие и выходящие дуги, могут иметь петли, изображены кругами). Входы могут быть внутренними контролируруемыми и внешними неконтролируемыми.

Чтобы построить окрестностную систему, ассоциированную с окрестностной структурой каждому узлу и выходу ставится в соответствие уравнение (скалярное, векторное или матричное), в которое отбираются только переменные из вершин, дуги из которых входят в рассматриваемый узел. Если уравнение связано с выходом, то в него входят переменные вершин, дуги из которых входят в выход.

В вершине  $n$  системы обозначим состояние как  $V[n] \in R^m$ , входное воздействие –  $U[n] \in R^q$ , выходное воздействие –  $W[n] \in R^p$ , окрестность узла  $n$  по состоянию –  $O_v[n]$ , по входному воздействию –  $O_u[n]$ , по выходному воздействию –  $O_w[n]$ . Тогда линейная смешанная окрестностная модель для входа, состояния и выхода имеет вид

$$\sum_{x \in O_v[n]} A_v[n, x] \cdot V[x] + \sum_{y \in O_u[n]} A_u[n, y] \cdot U[y] + \sum_{z \in O_w[n]} A_w[n, z] \cdot W[z] = 0, \quad (1)$$

где  $A_v[n, x] \in R^{m \times m}$ ,  $A_u[n, y] \in R^{m \times q}$ ,  $A_w[n, z] \in R^{m \times p}$  – матрицы параметров для входа, состояния и выхода соответственно.

В контексте окрестностных систем этап системного анализа технологической схемы процесса соответствует этапу построения окрестностной структуры.

По информации, формализованной в окрестностной структуре, можно построить окрестностную систему на формальном уровне: будет получена модель, в которой определена только функциональная зависимость между переменными. Тип уравнений в окрестностной системе на этом уровне не имеет значения, уравнения могут быть линейные, билинейные и др. Окрестностная структура с линейными системами определяет

уравнения однозначно с точностью до значений коэффициентов, которые будут найдены на этапе параметрической идентификации. Рассмотрим окрестностную структуру и соответствующую ей окрестностную систему, моделирующую процесс  $S$ . Часто этот процесс представляет собой два или более параллельных взаимодействующих процессов. Процессы  $S_1, \dots, S_t$ ,  $t \in N$  над одной и той же окрестностной структурой называются параллельными [2], они описаны в рамках одной технологической схемы. Окрестностная система  $S$  называется двойной, тройной и т.д., если она моделирует процесс  $S = \{ S_1, \dots, S_t \}$ .

Параллельные системы  $S_1, \dots, S_t$  являются слабосвязанными, если количество глобальных переменных можно считать малым по смыслу рассматриваемой задачи, или в широком смысле, если они не являются сильно связанными и не являются независимыми [2].

На рисунке 1. приведены типы вершин окрестностной структуры двойной системы.

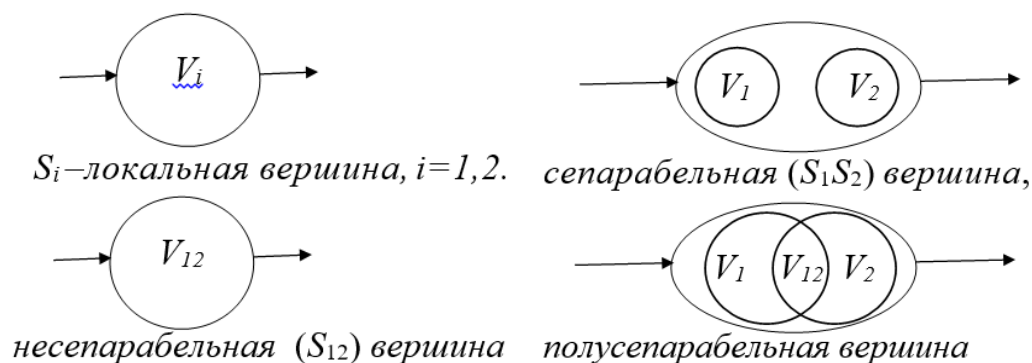


Рисунок 1 – Типы вершин слабосвязанных окрестностных систем

В работе [2] описан алгоритм декомпозиции и агрегирования окрестностных систем для  $t=2$ . Для  $t \geq 2$  классификация вершин, приведенная на рис. 1, также справедлива, а согласно алгоритму декомпозиции и агрегирования окрестностная структура будет состоять из  $t$  слабосвязанных систем.

Рассмотрим окрестностную систему из 7 вершин (рисунок 2.).

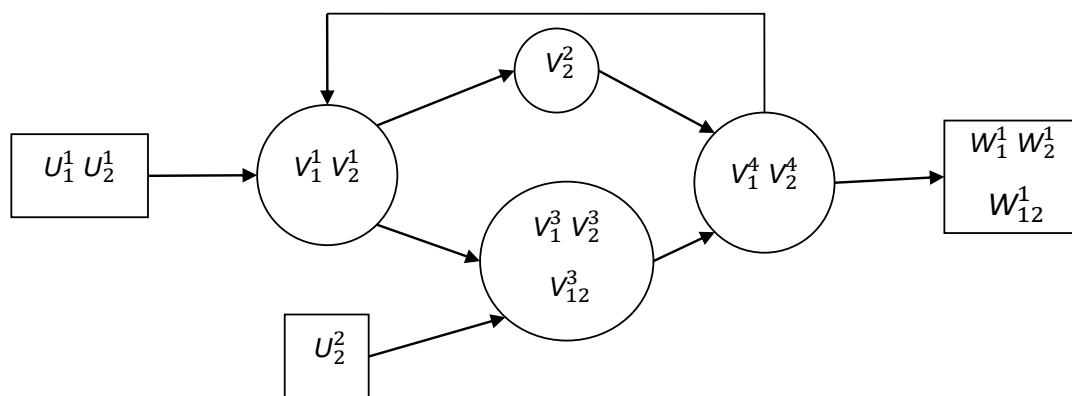


Рисунок 2 – Пример окрестностной структуры

Согласно алгоритму [2] на этапе декомпозиции рассмотрим две копии окрестностной структуры, из каждой копии удалим вершины, содержащие локальные переменные другой подсистемы. Таким образом разделим окрестностную структуру на две слабосвя-

занные, в каждой из которых останутся узлы, содержащие переменные этой подсистемы и глобальные переменные (рисунок 3).

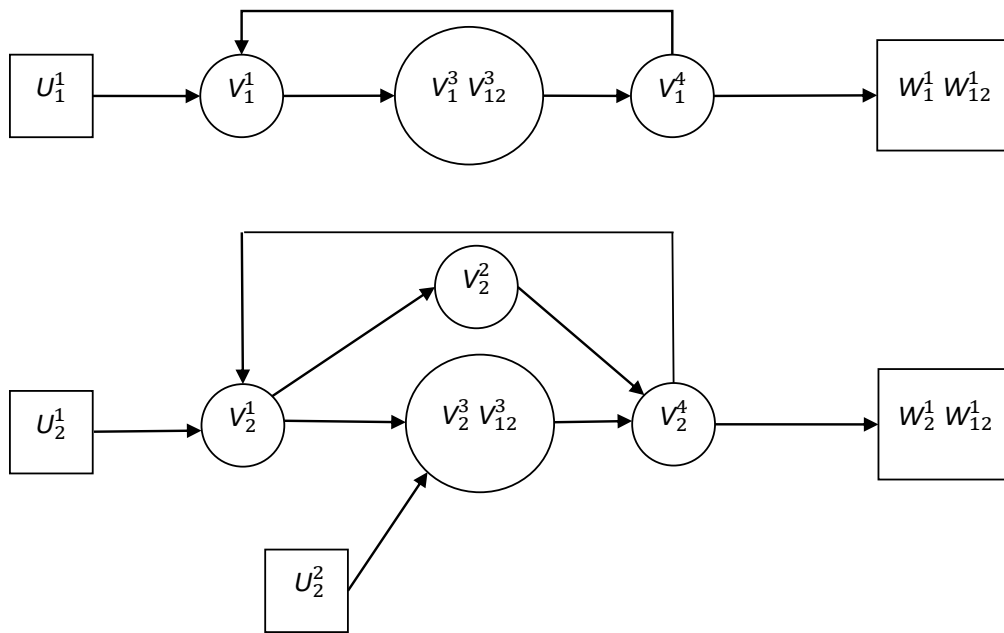


Рисунок 3 – Декомпозиция

Далее в каждой подсистеме разделим полусепарабельные вершины (содержат как локальные, так и глобальные переменные) и на несепарабельные (содержат только глобальные переменные) и локальные вершины (содержат только локальные переменные) (рисунок 4).

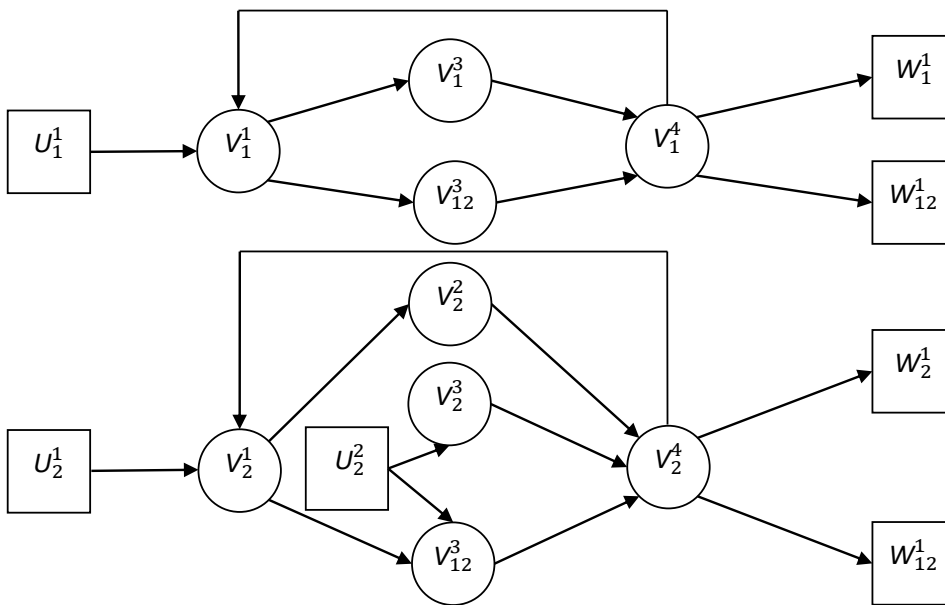


Рисунок 4 – Этап разделения вершин в подсистемах

На этапе агрегирования две полученные окрестностные структуры соединяются по идентичным глобальным вершинам и инцидентным этим вершинам рёбрам.

В результате получим слабосвязанную окрестностную структуру, где чётко видны глобальные переменные, по которым между первой и второй подсистемами происходит взаимодействие (рисунок 5).

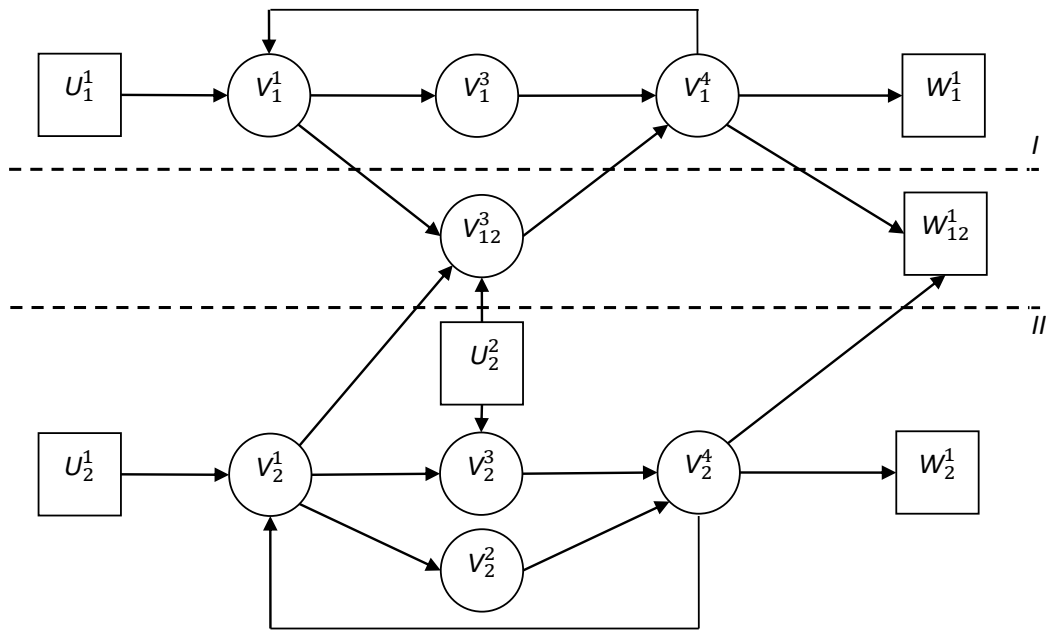


Рисунок 5 – Слабосвязанная окрестностная структура

Преимуществом полученной окрестностной структуры является меньшее количество идентифицируемых параметров в соответствующей ей окрестностной системе. Это происходит вследствие перераспределения локальных переменных [3].

Для того, чтобы детализировать окрестностную модель на уровне окрестностной структуры, необходимо провести ее апостериорный системный анализ. Такая детализация эффективна, в случае, когда производственный процесс представляет несколько отдельных процессов, моделируемых одной и той же окрестностной структурой, но разными переменными узлов, при этом некоторые из этих переменных являются общими для всех или нескольких процессов.

Дальнейший процесс синтеза окрестностной модели, после выбора типа уравнений, сводится к параметрической идентификации неизвестных коэффициентов.

В работе [4] с помощью слабосвязанных двойных окрестностных систем смоделирован процесс вентиляции и кондиционирования воздуха в помещении цеха обжига клинкера. До применения алгоритма декомпозиции и агрегирования линейные уравнения окрестностной системы содержали 82 коэффициента, а после применения алгоритма – 49. Для линейной системы, соответствующей окрестностной структуре, рассмотренной на рисунке 2, число идентифицируемых параметров до декомпозиции составляло 27:

$$\begin{cases} V_1^1 = F_1^1(U_1^1; U_2^1; V_1^4; V_2^4) \\ V_2^1 = F_2^1(U_1^1; U_2^1; V_1^4; V_2^4) \\ V_2^2 = F_2^2(V_1^1; V_2^1) \\ V_1^3 = F_3^1(V_1^1; V_2^1; U_2^2) \\ V_2^3 = F_3^2(V_1^1; V_2^1; U_2^2) \\ V_{12}^3 = F_{12}^3(V_1^1; V_2^1; U_{12}^2) \\ V_1^4 = F_4^1(V_2^2; V_1^3; V_2^3; V_{12}^3) \\ V_2^4 = F_4^2(V_2^2; V_1^3; V_2^3; V_{12}^3) \end{cases} \quad (2)$$



Две слабосвязанные окрестностные линейные системы, соответствующие структуре на рисунке 5, содержат уже 19 коэффициентов, подлежащих идентификации:

$$\left\{ \begin{array}{l} V_1^1 = F_1^1(U_1^1; V_1^4) \\ V_3^1 = F_1^3(V_1^1) \\ V_1^4 = F_1^4(V_1^1) \\ V_{12}^3 = F_{12}^3(V_1^1; V_2^1; U_2^2) \end{array} \right. \text{ и } \left\{ \begin{array}{l} V_2^1 = F_2^1(U_2^1; V_2^4) \\ V_2^2 = F_2^2(V_2^1) \\ V_2^3 = F_2^3(V_2^1; U_2^2) \\ V_2^4 = F_2^4(V_2^2; V_2^3; V_{12}^3) \\ V_{12}^3 = F_{12}^3(V_1^1; V_2^1; U_2^2) \end{array} \right. . \quad (3)$$

Таким образом в работе предложена схема системного анализа окрестностных моделей параллельных слабосвязанных процессов. Она основана на введении классификации вершин и переменных модели по отношению к нескольким параллельным процессам и позволяет формализовать структуру связей между параллельными процессами. Предложенный алгоритм декомпозиции и агрегирования позволяет преобразовать структуру окрестностных моделей слабосвязанных процессов для того, чтобы уменьшить количество идентифицируемых параметров модели.

### Библиографический список

1. Блюмин, С.Л. Окрестностное моделирование организационно-технических систем: Монография / С.Л. Блюмин [и др.]; НОУ ВПО «Липецкий эколого-гуманитарный институт». – Липецк: Липецкий эколого-гуманитарный ин-т, 2013. – 103 с.
2. Semina, V.V. Weakly Connected Neighborhood Systems / Anatoliy Shmyrin, Nikolay Mishachev and Valeria Semina // International Russian Automation Conference (RusAutoCon) Sochi, Russia, 2019. – pp. 1-6.
3. Сёмина, В.В. Идентификация слабосвязанных окрестностных систем / В.В. Сёмина – Текст: непосредственный // Вестник ВГТУ. – 2019. – №2. – С. 69-75.
4. Сёмина, В.В., Энергосберегающая система управления производственной вентиляцией и фильтрацией на основе слабосвязанных окрестностных систем / В.В. Сёмина, А.М. Шмырин, Н.М. Мишачев // Энерго- и ресурсосбережение – XXI век: материалы XIX международной научно-практической конференции – Орёл: ОГУ им. И.С. Тургенева, 2021. – С. 129-134.

УДК 621.311.11

## МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ТЕПЛОСИЛОВОЙ УСТАНОВКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ИСТОЧНИКА ТОПЛИВА

Кузнецова Е.С., Дробышев В.К., Романова В.А.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»  
г. Новокузнецк, Россия, drobyshev\_v.k@mail.com

**Аннотация.** Выполнен обзор альтернативных источников электроэнергии для Кемеровской области. Построена имитационная модель системы электроснабжения на базе мини ТЭЦ с применением биотоплива. Модель теплоэлектроцентрали в MATLAB Simulink с использованием возобновляемого биотоплива позволит существенно снизить себестоимость производства и исключить загрязнение окружающей среды отходом III класса опасности.

**Ключевые слова:** альтернативные источники энергии, электроснабжение, имитационное моделирование, турбогенератор, турбина, мини ТЭЦ.

**Abstract.** An overview of alternative sources of electricity for the Kemerovo region has been carried out. A simulation model of the power supply system based on a mini CHP with the use of biofuels has been built. The model of a thermal power plant in MATLAB Simulink using renewable biofuels will significantly reduce the cost of production and eliminate environmental pollution with hazard class III waste.

**Keywords:** *alternative energy sources, power supply, simulation modeling, turbo generator, turbine, mini CHP.*

Важным на сегодняшний день считается вопрос: как задержать полное истощение невозобновляемых источников энергии либо отыскать им равносильную подмену. К сожалению, технологии для получения энергии, эквивалентной сообразно содержанию той, что получается из природных ресурсов, до сих пор отсутствуют.

На данный момент существует необходимость изучения энергоэффективности работы природных, естественно развивающихся систем, их сравнения с социально-экономическими, для того чтобы отыскать методы неистощительного пользования природными ресурсами, а также оценить возможности самообеспечения энергией производства. В производстве любых видов образуются отходы, которые не подвергаются переработке. Они скрывают в себе некоторую потенциальную энергию, которая не рассматривается при оценке с эколого-экономической точки зрения. Данную проблему можно решить путём получения альтернативной энергии, то есть внедрение в структуру производственных предприятий сооружений переработки их производственных отходов, что благополучно скажется на их утилизации, энерго- и ресурсоснабжении и сокращение выбросов в атмосферу [1-6].

Цель и задачи работы: Модернизация системы электроснабжения с применением нового вида топлива для повышения экономической эффективности предприятия.

Имитационное моделирование систем электроснабжения возможно, как с помощью создания своей программы на языке MATLAB [7], так и путем использования моделей типовых элементов системы электроснабжения из пакета расширения Simulink.

Упрощенный блок синхронной машины моделирует как, электрическую так и механическую характеристики простой синхронной машины. Электрическая система для каждой фазы состоит из напряжения источника последовательно с полным сопротивлением RL, которое осуществляет внутреннее полное сопротивление машины. Величина R может быть нулем, но величина L должна быть положительной. Модель выполнена в двух вариантах: Simplified Synchronous SI Units (параметры машины задаются в системе единиц СИ) и Simplified Synchronous Machine pu Units представлен на рисунке 1 (параметры машины задаются в системе относительных единиц). В зависимости от варианта входные и выходные переменные машины также измеряются в системе единиц СИ или в относительных единицах.

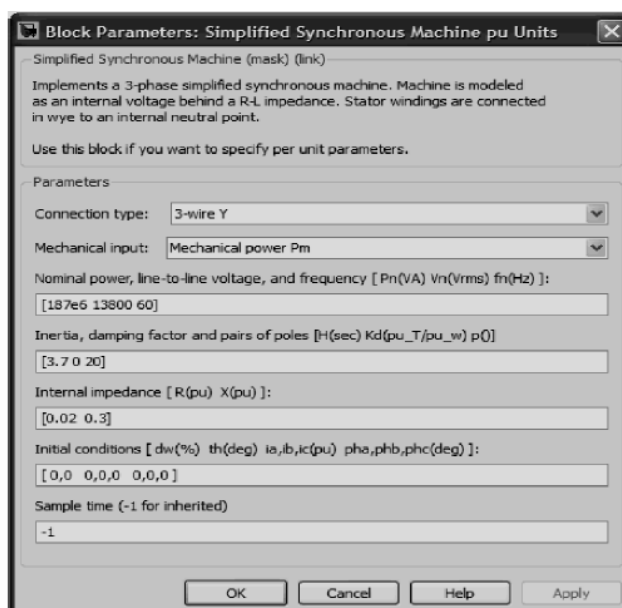


Рисунок 1 – Параметры блока Simplified Machine pu Units

Параметры блока:

Connection type: [Тип соединения обмотки статора]. Значение параметра выбирается из списка:

3-wire Y - звезда без нулевого провода;

4-wire Y - звезда с нулевым проводом.

Nom. power, L-L volt, and freq. [Pn (VA) Vn (Vrms) fn (Hz)]:

[Номинальная мощность Pn (ВА), действующее линейное напряжение Un (В) и номинальная частота fn (Гц)].

Inertia, damping friction factor and pairs of poles [] (kg\*mA2) Kd (o.e.T/o.e.w) p]:

[Момент инерции J (кг\*мА2), коэффициент демпфирования Kd (о.е.Т/о.е.в) и число пар полюсов p].

Internal impedance [R (Ohm) L (H)]:

[Активное сопротивление и индуктивность обмотки статора R (Ом) L (Гн)].

Init. cond. [dw (%) th (deg) ia, ib, ic (A) pha, phb, phc (deg)]:

Начальные условия. Параметр задается в виде вектора, каждый элемент которого имеет следующие значения:

dw (%) - отклонение угловой частоты вращения (в %);

th (deg) - угловое положение ротора (град.);

ia, ib, ic - начальные значения токов статора (А);

phA, phB, phC - начальные фазы токов статора (град.).

Параметры машины задаются в системе единиц СИ или параметры машины задаются в системе относительных единиц pu, и маркировании изменения блочного вклада на Pm. Машинная скорость определена машиной инерция J (или константа инерции H для pu машины) и различием между механическим вращающим моментом Tm, проистекающим из прикладной механической мощности Pm, и внутренний электромагнитный вращающий момент Te.

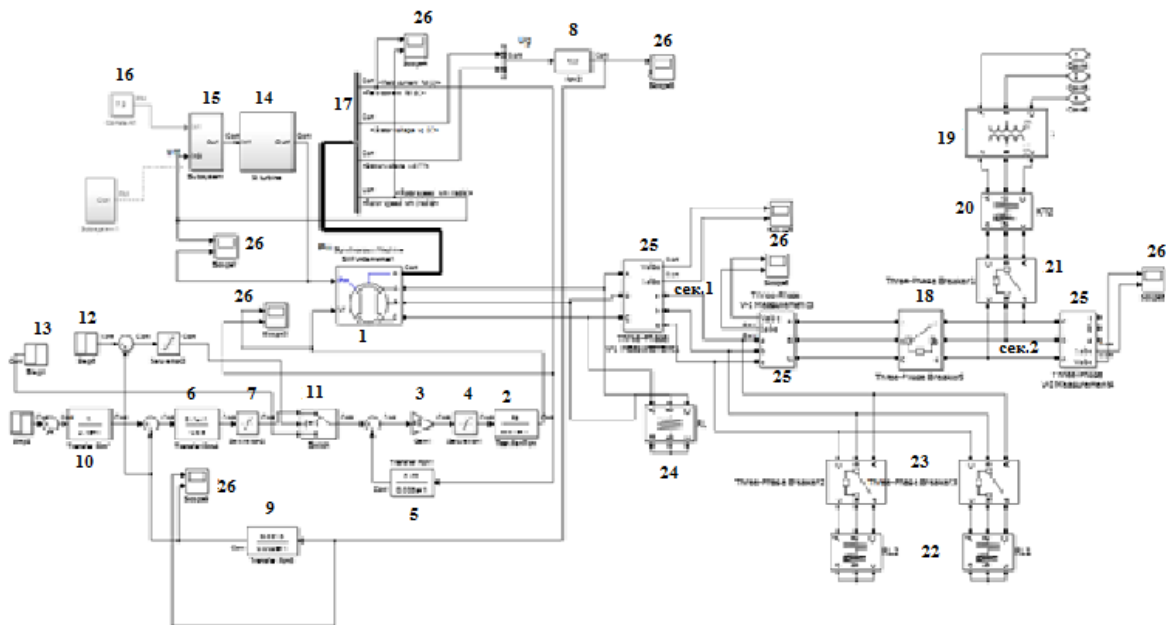


Рисунок 2 – Схема модели мини-ТЭЦ в MATLAB

На рисунке 2 отображены следующие блоки с установленными параметрами:

1. Блок 1 - турбогенератор;
2. Блок 2 - тиристорный возбудитель;
3. Блок 3 - регулятор тока возбуждения;

4. Блок 4 - ограничитель регулятора тока возбуждения;
5. Блок 5 - датчик тока возбуждения;
6. Блок 6 - регулятор напряжения;
7. Блок 7 - ограничитель регулятора напряжения;
8. Блок 8 - преобразователь напряжения;
9. Блок 9 - датчик напряжения;
10. Блок 10 - фильтр;
11. Блок 11 - реле;
12. Блок 12 - источник питания;
13. Блок 13 - источник питания с уставкой;
14. Блок 14 - модель турбины;
15. Блок 15 - блок системы регулирования;
16. Блок 16 - блок задания турбогенератора (параметры);
17. Блок 17 - измеритель параметров;
18. Блок 18 - секционный выключатель;
19. Блок 19 - трансформатор;
20. Блок 20 - кабельная линия;
21. Блок 21 - высоковольтный выключатель сети;
22. Блок 22 - блок активно индуктивной нагрузки;
23. Блок 23 - высоковольтный выключатель;
24. Блок 24 - блок активно индуктивного сопротивления;
25. Блок 25 - измеритель;
26. Блок 26 - осциллограф.

На схеме приведена модель линии теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) состоящая из следующих основных элементов и работающая по принципу: турбогенератор (1) - неявнополюсный генератор мощностью  $P=6$  МВт, с номинальным напряжением 6,3кВ и током 1050А. Обмотка возбуждения 140В, 250А (с демпферной обмоткой).

В данной модели турбогенератора реализована возможность вывода параметров через специальное измерительное устройство для их анализа и применения в качестве обратных связей:

- номинальный ток возбуждения генератора;
- напряжение статорной обмотки по оси  $q$ , В;
- напряжение статорной обмотки по оси  $d$ , В;
- скорость ротора, рад/с.

На клемму  $P_m$  модели синхронного генератора поступает так называемая механическая мощность. В данном случае это сила вращения турбины. На вход  $V_f$  модели поступает напряжение от теристорного возбудителя (фазы А, В и С). В модели реализована схема управления возбуждением синхронного генератора с использованием теристорного возбудителя (2) с параметрами:

- коэффициент усиления 75;
- малая постоянная времени 0,01с.

Система двухконтурная, с подчиненным регулированием параметров: внутренний контур - тока возбуждения, внешний - напряжения статора двигателя.

Внутренний контур состоит из регулятора тока возбуждения G1 (3) с ограничением S1 (4) вышеназванного теристорного возбудителя. Объекты регулирования - обмотка возбуждения турбогенератора, датчик тока возбуждения (5). Контур тока возбуждения построен по модульному оптимуму. Внешним, по отношению к данному контуру, является контур напряжения статора синхронного генератора, состоящий из: регулятора напряжения (6) с ограничением (7) оптимизированного контура тока возбуждения, объекта регулирования статора синхронного генератора, а также цепи обратной связи, содержащей

последовательно соединенные преобразователь напряжения (8) и датчик напряжения (9). Для снижения перерегулирования на входе контура напряжения установлен фильтр (10).

Контур настроен по симметричному оптимуму, при этом статизм по управлению равен 0.

В случае значительного снижения напряжения статора, контур напряжения отключается от внутреннего контура тока возбуждения, а на вход регулятора тока возбуждения (3) через реле (11) подается сигнал форсировки тока возбуждения от источника питания (12). Уставка переключения реле в режим форсировки установлена в устройстве (13). Коэффициент форсировки по току при этом равен значению 1,8, по напряжению 5. Уставка срабатывания реле равняется 5,8кВ.

ТЭЦ содержит в себе модель турбины (14). Параметрами турбины управляет система регулирования (15) с заданными значениями. Блок регулирования выполнен таким образом, чтобы имелась возможность поддерживать постоянную скорость вращения турбогенератора. На вход системы (16) подается задание, в качестве обратной связи используется жесткая обратная связь по скорости, полученная от комплекта измерителей параметров (17) синхронного генератора.

Напряжение от синхронного генератора мини ТЭЦ подается на первую (сек 1) из двух секций распределительного устройства РУ 10кВ. Через секционный выключатель (18) может быть подключена вторая секция (сек 2), электроснабжение которой осуществляется от общих сетей энергосистемы через трансформатор ТР1 110/10 кВ (19), кабельную линию КЛ2 (20), высоковольтный выключатель сети (21). Активно индуктивная нагрузка RL1 и RL2 (22) через высоковольтные выключатели Br1 и Br2 (23) подключена к секции 1.

Для нормальной работы модели в схему введено балластное активно-индуктивное сопротивление R, равное 100кОм (24). Для измерения напряжения токов в трехфазных сетях модели установлены различные измеряющие компоненты (25) с осциллографами (26).

**Вывод.** Учитывая климатические и географические условия региона, можно сделать заключение, что в условиях Кемеровской области можно использовать различные виды альтернативной энергетики. Потенциальные источники биоэнергии Кузбасса составят 1759 млн. кВт·ч/год, оценка плотности их рассредоточения по территории составила от 3704 до 136793 кВт·ч/км<sup>2</sup>. Использование биоэнергетического потенциала Кемеровской области увеличит энергетическую эффективность региона. Например, отходы производства лесоперерабатывающей промышленности, сельского хозяйства и агропромышленного комплекса – ценный энергетический ресурс, который позволит обеспечить потребности предприятия в электроэнергии и тепле для отопления и технологических процессов.

Полученная модель мини-ТЭЦ в MATLAB Simulink с использованием возобновляемого биотоплива позволит существенно снизить себестоимость производства и исключить загрязнение окружающей среды отходом III класса опасности. Кроме того, это может обеспечить независимость агропромышленного комплекса от внешних поставщиков энергоресурсов.

### Библиографический список

1. Александровский А.Ю., Матвиенко Н.И., Обрезков В.И. Энергоэкономическая эффективность ветровых электростанций в энергетических системах. Труды ВНИИ «Гидропроект» им. С.Я.Жука. 1988. С.32– 37.
2. Алчуджан Г.А. Определение топливосбережения и средней скорости транспортного судна при вспомогательном ветродвижении // Перспективные типы морских транспортных судов: Сб. науч. тр. ЦНИИМФ. – Л. – 1986. – С.7– 20.
3. Анапольский Л.Е., Гандин Л.С. Методика определения расчётных скоростей ветра для проектирования ветровых нагрузок на строительные сооружения //Метерология и гидрология №10. 1959.

4. Андреева Г.А., Кононов Ю.Д., Корнеев А.Г., Оганесян Э.А. Особенность внешних производственных связей отдельных топливных баз. В кн.: Вопросы влияния энергетики на другие отрасли. Иркутск: СЭИ СО АН СССР, 1975, с. 29– 46.
5. Андриянов В.Н. и др. Ветроэлектрические станции. – М.: Госэнергоиздат, 1960.
6. Андрухин А. В. Некоторые особенности определения экономической эффективности возобновляемых источников энергии // Сб. трудов ДВГТУ.– Вып. 128. Владивосток: Изд– во ДВГТУ, 2001.
7. Кончакова, О. В. Разработка модели мини-ТЭЦ в MATLAB / О. В. Кончакова, В. А. Кузнецов, Е. С. Кузнецова // Автоматизированный электропривод и промышленная электроника : труды Девятой научно-практической конференции, 25-26 ноября 2020 г. – Новокузнецк : Издательский центр СибГИУ, 2020. – С. 108-117.

УДК 658.5

## ОСНОВЫ АЛГОРИТМИЗАЦИИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ С ЦЕЛЬЮ РАСПОЗНАВАНИЯ КОДОВ DATA MATRIX

Губанов К.Н., Калашников С.Н.

*ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»  
г. Новокузнецк, Россия, gubanov.k.n@yandex.ru*

***Аннотация.** Развитие экономики сопровождается разработкой и созданием новых способов контроля над производством, реализацией, качеством и продажами товаров народного потребления. Для удобства идентификации товаров созданы штрих коды, с которыми современный человек сталкивается каждый день при покупке товаров. Кроме этого штрих коды также используются в торговле, коммерческой деятельности, транспортных и складских системах, сфере учета материальных запасов, технологических процессах и др.*

***Ключевые слова:** Data Matrix код, QR код, алгоритм ближайших соседей, синтез, конечные поля Галуа, код Рида-Соломона.*

***Abstract.** The development of the economy is accompanied by the development and creation of new ways to control the production, sale, quality and sales of consumer goods. For the convenience of identifying goods, barcodes have been created that a modern person encounters every day when buying goods. In addition, barcodes are also used in trade, commercial activities, transport and warehouse systems, inventory control, technological processes, etc.*

***Keywords:** Data Matrix code, QR code, nearest neighbor algorithm, synthesis, finite Galois fields, Reed-Solomon code.*

С появлением двумерных матричных штрих кодов их стали использовать для хранения информации во многих областях. В частности, самые известные из них это QR и Data Matrix коды. Оба кода генерируются при помощи кода Рида-Соломона для решения проблемы повреждения данных, а при расчетах используется арифметика конечных полей Галуа [1].

Алгоритм генерации Data Matrix кода заключается в следующем. Матрица Data Matrix кода состоит из двух частей: маска поиска и закодированные данные. Чем больше данных помещается в код, тем больше размер этой матрицы. Для распознавания кода необходима зона разделяющая его от остальных объектов изображения.

Для кодирования данных в Data Matrix используются коды Рида-Соломона над конечным полем Галуа  $GF(2^8)$ , при этом каждый символ занимает 8 бит. Для генерации поля необходим неприводимый полином  $p(x) = x^8 + x^5 + x^3 + x^2 + 1$ , при этом, если перевести данный полином в двоичную систему счисления, то получится 100101101, а в десятичной – 301 [2].

Неприводимый многочлен используется для построения таблицы степеней для каждого элемента поля. Для создания таблицы степеней двойки возводят 2 в степень  $x$ . Если  $x < 8$  то, возведение происходит как обычно. При не выполненном условии  $x < 8$

производится побитовое сложение по модулю 2 с десятичным представлением имеющегося неприводимого многочлена [3].

Для получения кодового слова берется формула  $c(x) = i(x)x^{n-k} + i(x)x^{n-k} \bmod(g(x))$ , где  $i(x)$  – информационный многочлен,  $g(x)$  – порождающий многочлен,  $n$  – общая длина кода вместе с корректировочными данными,  $k$  – количество информационных кодов,  $\bmod$  – операция взятия остатка от деления.

Для формирования информационного полинома  $i(x)$  необходимо закодировать данные в соответствии с используемой кодировкой.

Порождающий многочлен вычисляется с помощью соотношения

$$g(x) = \prod_{i=1}^{n-k} (x + 2^i)$$

После получения кодового слова, данные распределяются с середины левого края матрицы Data Matrix кода вверх и направо. Данный код состоит из множества таких же маленьких кодов, не поместившиеся в матрицу данные переносятся в начало противоположной стороны матрицы.

И на заключающем этапе по формуле  $u = a \bmod 8$ , где  $a$  – размер матрицы без шаблона поиска, можно проверить особый случай, при котором могут закрашиваться углы матрицы по разным шаблонам. При  $u = 0$ , просто нужно перенести участки, которые не поместились, на другую сторону матрицы, а при  $u = 2$ , нужно добавить четыре бита 1010 в правый нижний угол матрицы.

Реализовав описанные выше операции формируется следующий 2D код (рисунок 1).



Рисунок 1 – Data Matrix код

Однако из-за того, что такие коды представляют собой изображение, которое часто печатается на потребительских товарах, различной макулатуре и многом другом. Чаще всего в них содержится идентификатор или URL.

Проблема помех при сканировании в плохо освещённом помещении слишком удаленного рисунка кода от сканера, заключается в том, что не удастся полноценно распознать информацию, сформированную в коде. При этом сканером может выступать, как полноценный сканер кодов заточенный под данную задачу, так и любой смартфон [3].

Решение этой проблемы заключается в том, чтобы убрать оба этих негативных фактора, для этого необходимо увеличить изображение при сканировании без потери качества и убрать помехи при плохой освещенности, получая чистый рисунок кода.

Для уменьшения количества помех на изображении и увеличения его размеров можно использовать алгоритм ближайших соседей, который позволяет на основе усреднения цвета и добавления новых пикселей отфильтровать изображение от шумов икратно его увеличить. Для примера возьмем код, представленный на рисунке 1 и наложим на него шум (рисунок 2).

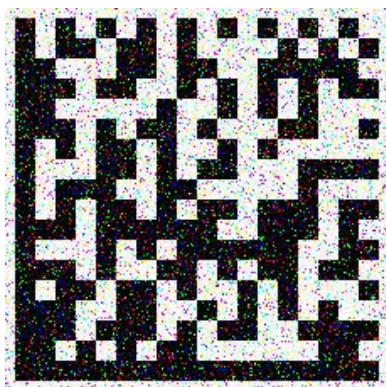


Рисунок 2 – Data Matrix код с наложением шумов

Убрав шумы усреднением, а также увеличив данное изображение получим результат, представленный на рисунке 3.



Рисунок 3 – Одна из девяти частей Data Matrix кода после увеличения размера и убирания помех на изображении

В итоге предложенный алгоритм позволяет решить описанные выше проблемы, а изменение фона кода на менее яркий не сказалось на его распознавании при декодировании.

Данный алгоритм актуален и имеет перспективу применения во многих отраслях производства, связанного с металлоконструкциями, а также в магазинах, складах, у оптовых поставщиков и т.д. за счет увеличения радиуса сканирования и уменьшения подверженности внешним факторам. Кроме этого становится возможным отслеживать статусы пройденных операций, проводить инвентаризации, распознавать рабочих, у которых униформа оснащена маркировкой с идентификатором или полным именем.

#### **Библиографический список**

1. Белов Г.В. Штриховое кодирование: технологии XXI века. - Москва: Металлургия, 1998. - 112 с.
2. Как создается Data Matrix? // Habr URL: <https://habr.com/ru/post/241887/> (дата обращения: 01.11.2022).
3. Чеботарев Н. Основы теории Галуа. - Часть I - Москва: ОНТИ. 1934, 217 с.



## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ НАСТАВНИЧЕСТВА В ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Перевалова О.С., Баркалов С.А., Мажарова Л.А.

Воронежский государственный технический университет

г. Воронеж, Россия, Nilga.OS\_vrn@mail.ru

**Аннотация.** В статье представлен подход к внедрению на предприятии эффективного процесса обучения персонала требующимся компетенциям. В этих целях предлагается использовать метод обучения персонала на рабочем месте – наставничество. Для внедрения на предприятии процедуры наставничества, сформирован четкий алгоритм действий. Также в статье большое внимание уделяется организации эффективной системы стимулирования наставников.

**Ключевые слова:** обучение, наставничество, оценка персонала, стимулирование, алгоритм.

**Abstract.** The article presents an approach to the implementation of an effective process of training personnel in the required competencies at an enterprise. For these purposes, it is proposed to use the method of training staff in the workplace - mentoring. To implement the mentoring procedure at the enterprise, a clear algorithm of actions has been formed. Also in the article much attention is paid to the organization of an effective system of incentives for mentors.

**Keywords:** training, mentoring, personnel assessment, incentives, algorithm.

### Введение

Рассмотрим суть понятия метод обучения персонала. Под этим понятием подразумевается деятельность, направленная на учебно-познавательный процесс по заранее разработанному плану и в соответствии с заранее определенными задачами, действиями и результатами.

В отечественной и зарубежной практике обучения персонала предприятий используется три укрупненные группы методов:

1. обучение на рабочем месте;
2. обучение вне рабочего места;
3. обучение на рабочем месте и вне его.

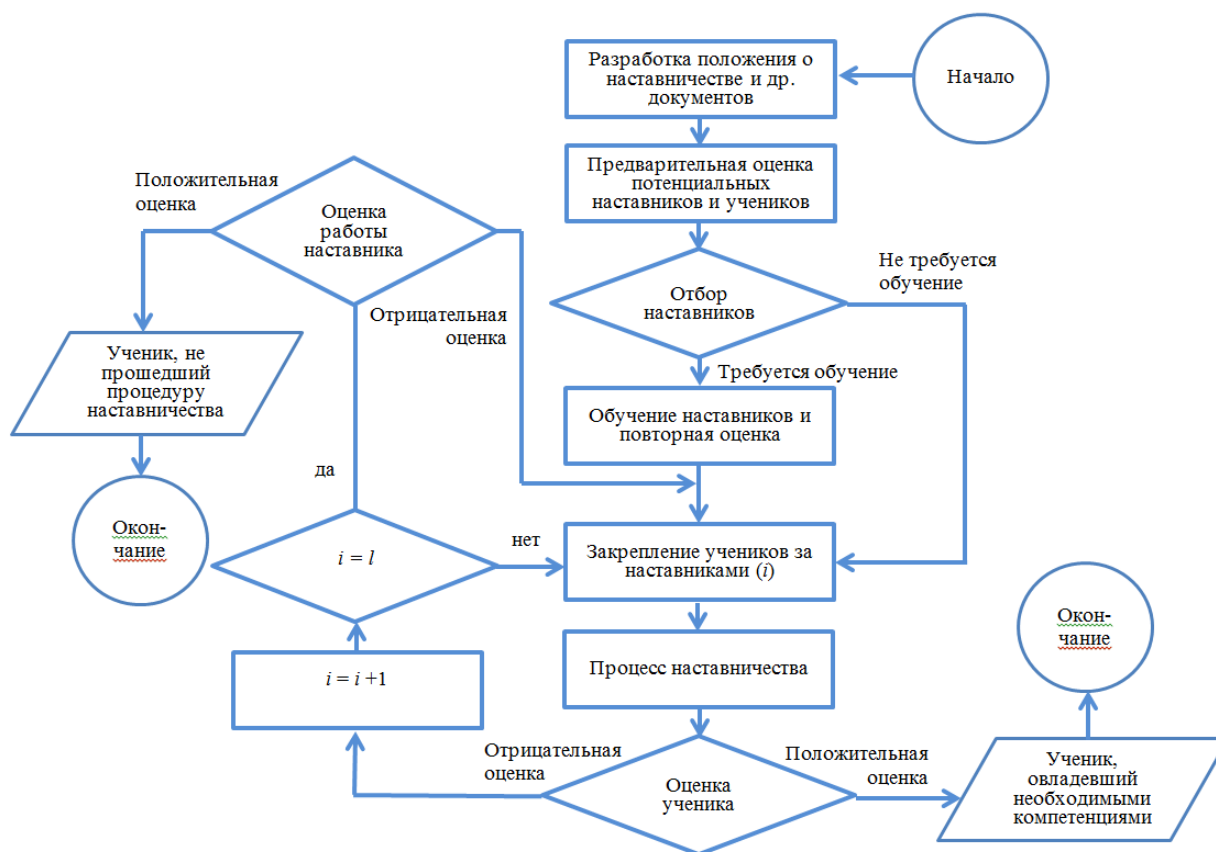
В работе рассматривается применение для обучения персонала методов первой группы. Эти методы определяются непосредственным взаимодействием обучающего и обучаемого в процессе ежедневной текущей работе. Обучаемый в стандартной производственной обстановке эксплуатирует реальное оборудование, инструменты, документацию, информацию, отчетность или иные материалы, которые используются в повседневном рабочем процессе. Что в свою очередь приводит к наиболее эффективному освоению требующихся компетенций.

### Алгоритм внедрения системы наставничества

Особенность наставничества как технологии обучения и адаптации является то, что наставник – это всегда штатный сотрудник предприятия, зачастую выполняющий весь спектр задач по ознакомлению новых сотрудников с предприятием и их обучению без освобождения от своей основной работы. Особенность наставничества является индивидуальный подход и личное общение наставника и ученика.

Стоит заметить, что внедрение на предприятии процедуры наставничества должно происходить системно, а в основе этого процесса должен лежать научный подход.

Для наглядности представим алгоритм внедрения процедуры наставничества в виде схемы (рисунок 1) [1].



$l$  – число попыток, которое устанавливается предприятием

Рисунок 1 – Алгоритм внедрения системы наставничества на предприятии [1]

Из рисунка 1 видно, что наставничество имеет несколько этапов и может быть итерационным. Итеративность обуславливается, например, сменой наставника и / или возможной необходимостью корректировки процедуры наставничества.

Заметим, что процедура замены наставника может проводиться ограниченное число раз –  $l$ , которое задается предприятием. Если ученик не проходит успешно процедуру наставничества  $l$  раз, то встает вопрос о корректировке самой процедуры. В случае, если экспертиза процедуры наставничества не выявит существенных отклонений, которые могут потребовать возвращения к первому этапу, то ученик объявляется не прошедшим процедуру наставничества и далее его судьба определяется руководством организации исходя из содержания внутренних документов определяющих процессы замещения вакантных должностей и прохождения обучения.

### Модель управления системой наставничества

Рассматривая процедуру наставничества, можно выделить следующие наиболее крупные блоки действий: оценка персонала, которая применяется на различных этапах к различным участникам процедуры наставничества; закрепление обучаемых за наставниками; непосредственная процедура наставничества. Далее в работе будут представлены подходы к эффективному выполнению действий сосредоточенных в каждом из этих блоков.

#### Модель оценки результатов обучения

Оценка обучения персонала является трудоемким процессом, который требует от предприятия немало ресурсов. Поэтому перед ее проведением необходимо четко понимать для чего конкретно она проводится и не делать лишних затрат.

Процесс оценки результатов обучения является многозадачным, так как поиск измеряемых результатов обучения позволит, во-первых, определиться с дальнейшим разви-

тием и направлением системы обучения, используемой в организации; во-вторых, позволит увидеть эффективность конкретного вида обучения; используемого курса; привлекаемого преподавателя; учреждения, оказывающего услуги по обучению персонала; в-третьих, получение измеряемых показателей процесса обучения, которые будут использоваться практически для всех процессов, отмеченных на рисунке 1.

Итак, для налаживания эффективной процедуры оценки обучения или ее совершенствования необходимо иметь четкий план. В этих целях предлагается придерживаться известной и общепризнанной модели оценки обучения Киркпатрика [2], суть которой представлена на рисунке 2.

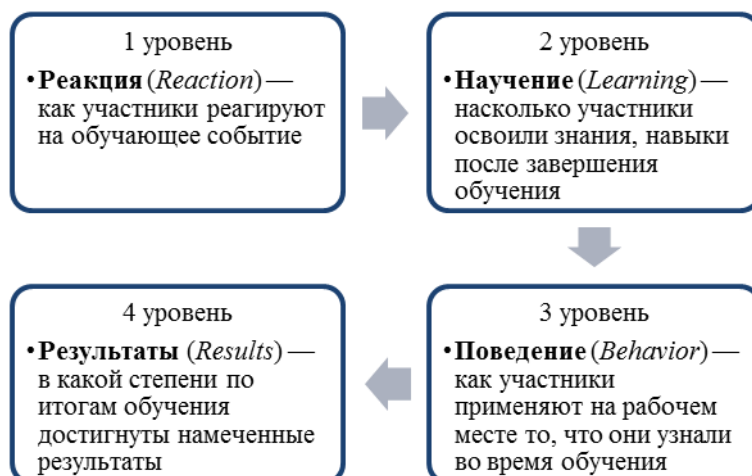


Рисунок 2 – Модель оценки обучения Киркпатрика (по Р.С. Удовидченко и В.С. Киреевой) [2]

В разное время модель Киркпатрика дополнялась разными учеными [3], вследствие этого она приняла несколько иной вид. Результаты ее модификации представлены на рисунке 3.

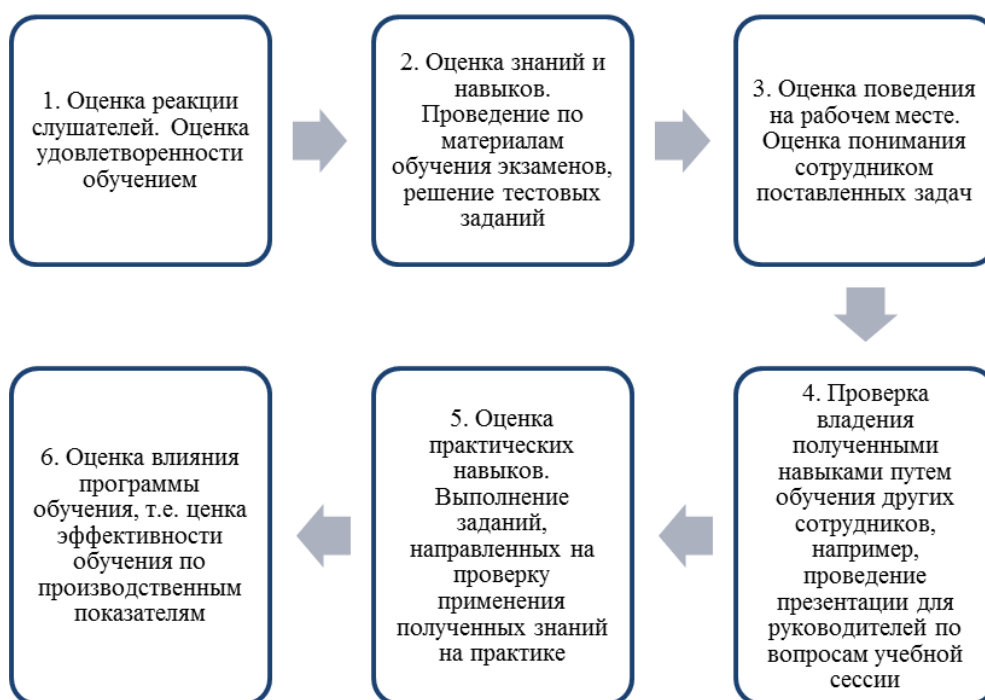


Рисунок 3 – Методика проведения оценки эффективности обучения персонала [2, 3]

Реализация всех этапов позволит провести качественную оценку эффективности обучения персонала предприятия. Результаты оценивания могут применяться в различных аспектах. Например, с точки зрения стимулирования наставников, оценка – это мера вклада наставника в развитие ученика, которая позволит сформировать адекватную систему стимулирования, т.е. получение им стимулов соответствующих его вкладу в обучение ученика. Поэтому, именно в таком виде (рис. 3) ее предлагается использовать для организации эффективной процедуры наставничества.

#### Модель стимулирования труда наставников

Отсутствие адекватного вознаграждения приводит персонал к потере интереса к выполняемому труду. А так как наставничество часто не оплачивается или его оплата предполагает некую фиксированную минимальную надбавку, то зачастую наставники подходят к выполнению своих функций формально. А ведь процесс наставничества требует дополнительных эмоциональных и временных затрат, а также отрыва наставника от исполнения профессиональных обязанностей. Отсутствие адекватного вознаграждения могло бы быть нивелировано развитой корпоративной культурой, в рамках которой в персонале воспитывается приверженности предприятию, преданность его идеям, и как следствие безоговорочное участие в проводимых мероприятиях. В этом случае наставничество рассматривалось бы как общественная работа. Но, к сожалению, далеко не на каждом предприятии имеется хотя бы подобная корпоративная культура.

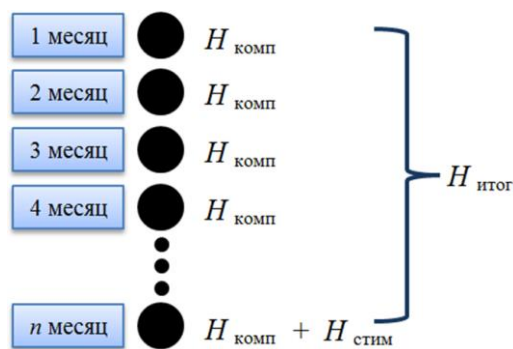
Из сказанного следует, что вопрос стимулирования труда наставника довольно актуален и требует внимания и проработки. Поэтому была поставлена цель сформировать систему мотивации, которая изначально позволяла бы замотивировать наставника на качественное выполнение своих функций, а именно обучению необходимым профессиональным навыкам и трудовым (профессиональным) и корпоративным компетенциям.

При разработке системы стимулирования труда наставников нужно учитывать интересы всех основных участвующих сторон (рисунок 4).



Рисунок 4 – Интересы участников системы наставничества в организации

Для повышения эффективности процедуры наставничества (с учетом изученного опыта) [3, 4, 5], необходимо сделать размер итоговой надбавки  $H_{\text{итог}}$  динамичным, то есть напрямую связанным с результативностью процедуры наставничества, оцениваемой по средствам проведения комплексной оценки. На рисунке 5 представлена схема получения наставником надбавок.



$n$  – период наставничества

Рисунок 5 – Схема получения надбавок наставником [6]

Итак, весь период наставничества наставник будет получать фиксированную компенсирующую или стимулирующую надбавку ( $H_{\text{комп}}$ ). Выбор ее типа предприятие осуществляет самостоятельно исходя из ее итоговой величины и условий НК РФ [7]:

- размер компенсирующей надбавки определяется исходя из положений ТК РФ, об условиях работы, отклоняющихся от нормальных [8]. Здесь ключевым моментом является время, отведенное на процедуру наставничества, так как его размер будет принят за внеурочное время, которое будет определяться размер надбавки [4];

- размер стимулирующей надбавки, задается организацией самостоятельно. Здесь уместно основываться на величине прожиточного минимума, что наглядно демонстрировало бы ее значимость с экономической точки зрения.

Также, у наставника есть возможность получать стимулирующую надбавку ( $H_{\text{стим}}$ ). Ее размер будет соответствовать доле от оклада наставника, где доля будет определяться комплексной оценкой результатов процедуры наставничества, которые напрямую будут связаны с качеством выполненной наставником работы в рамках процедуры наставничества. Следовательно, повышение итоговой надбавки  $H_{\text{итог}}$  возможно только за счет увеличения стимулирующей надбавки  $H_{\text{стим}}$ , а это в свою очередь требует наиболее качественного выполнения наставником своих функций в рамках процедуры наставничества.

Необходимо заметить, что наладить эффективную систему стимулирования наставников не возможно без идеально отлаженной системы оценивания деятельности персонала. Результатом этой оценки должны быть конкретные значения критериев, по которым будет строиться комплексная оценка персонала. В свою очередь полученная комплексная оценка будет основой для расчета стимулирующей надбавки  $H_{\text{стим}}$ . Задача построения комплексной оценки является многокритериальной, поэтому уместно применить аддитивную свертку критериев для получения комплексной оценки [9, 10]. Комплексная оценка является безразмерной величиной и изменяться в пределах от 0 до 1, где 1 – максимальное значение оценки, а 0 – соответственно минимальное. Механизм начисления надбавки будет следующим: при получении оценки равной единицы, наставник получит в качестве стимулирующей надбавки сумму равную его окладу; при оценке 0,5 – половину своего оклада и так далее.

### Выводы

В результате проведенной работы был получен инструментарий, который при необходимости позволит внедрить на предприятии эффективную систему обучения на рабочем месте – систему наставничества, которая на данный момент является незаменимой технологией обучения персонала.

Применение полученных результатов позволит, во-первых, внедрить или модифицировать систему наставничества в кратчайшие сроки, т.к. предложен оптимальный алгоритм внедрения системы наставничества на предприятии; во-вторых, организовать эффективную систему стимулирования наставников, что позволит замотивировать настав-

ников на эффективную деятельность в этом направлении, совершенствование своих компетенций, а также позволит снять с процедуры наставничества статус обременительной деятельности; в-третьих, настроить или отладить систему оценивания персонала, которая является основой для эффективного управления различными процессами, связанными с персоналом предприятия.

### Библиографический список

1. Модель повышения эффективности процесса обучения персонала на рабочем месте / О.С. Перевалова, С.А. Баркалов, Н.Ю. Калинина, Д.Н. Батракова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2021. – Т. 21, № 3. – С. 100–112. DOI: 10.14529/ctcr210310.
2. Удовидченко Р.С., Киреева В.С. Сравнительный анализ моделей оценки эффективности обучения персонала // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6.
3. Управление персоналом организации: технологии управления развитием персонала : учебник / О.К. Минева, И.Н. Ахунжанова, Т.А. Мордасова [и др.] ; под ред. О.К. Миневой. – М. : ИНФРА-М, 2019. – 160 с. – (Высшее образование: Бакалавриат).
4. Шуvalова, И. А. Трудовые права работников : науч.-практич. пособие / И.А. Шуvalова. – М.: ИНФРА-М, 2019. – 190 с. [www.dx.doi.org/10.12737/textbook\\_591ed973367d15.11715147](http://www.dx.doi.org/10.12737/textbook_591ed973367d15.11715147).
5. Модель закрепления ученика за наставником в системе обучения персонала организации / О.С. Перевалова, С.А. Баркалов, Н.Ю. Калинина, Д.Н. Батракова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2021. – Т. 21, № 2. – С. 92–103. DOI: 10.14529/ctcr210209.
6. Перевалова О.С., Баркалов С.А., Балашова Н.А. Оптимизация процедуры наставничества в организационных системах // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2022. Т. 22, № 4. С. 85–95. DOI: 10.14529/ctcr220409.
7. Налоговый кодекс Российской Федерации / КонсультантПлюс. - [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_19671/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19671/) (дата обращения: 12.09.2022)
8. Трудовой кодекс Российской Федерации / КонсультантПлюс. - [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_34683/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/) (дата обращения: 12.09.2022)
9. Баркалов С.А., Баскаков А.С., Курочка П.Н., Скворцов В.О. Теория систем и системный анализ. Воронеж «Научная книга», 2009. – 626 с.
10. Баркалов С. А., Моисеев, С.И., Порядина, В. Л. Математические методы в управлении и их реализации в MS EXCEL : учебное пособие. Воронеж : Воронежский ГАСУ, 2015 г.263 с.

## ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗРАБОТКИ ИНСТРУМЕНТОВ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТИ ЦЕПОЧЕК ДОБАВЛЕННОЙ СТОИМОСТИ В УГОЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

Каган Е.С.<sup>1</sup>, Гоосен Е.В.<sup>2</sup>, Колпинская С.А.<sup>1</sup>, Ложкин А.А.<sup>1</sup>, Михальченко М.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»  
г. Кемерово, Россия, kaganes@mail.ru

<sup>2</sup>ФИЦ УУХ СО РАН  
г. Кемерово, Россия, egoosen@yandex.ru

**Аннотация.** Данная статья посвящена поиску инструментов количественной оценки стрессоустойчивости цепочек добавленной стоимости в угольной отрасли. С этой целью была протестирована методика оценки стрессоустойчивости ЦДС с использованием коэффициентов сопротивления и восстановления, предложенных в работах Lagravinese, Faggian, Giannakis. С целью оценки релевантности подхода было произведено разбиение 41 угольной компании на классы стрессоустойчивости. Анализ результатов разбиения показал, что использование коэффициентов стрессоустойчивости для оценки перспектив развития ЦДС имеет ограничения. Для решения этой проблемы необходима адаптация методики, в том числе с помощью нечеткого подхода.

**Ключевые слова:** угольная отрасль, стрессоустойчивость, цепочки добавленной стоимости, коэффициенты стрессоустойчивости, коэффициент сопротивления, коэффициент восстановления.

**Abstract.** This article is devoted to the search for tools to quantify the stress resistance of value chains in the coal industry. For this purpose, we tested the method for assessing the stress resistance of CDS using the resistance and recovery coefficients proposed in the works of Lagravinese, Faggian, Giannakis. In order to assess the relevance of the approach, 41 coal companies were divided into stress tolerance classes. An analysis of the partitioning results showed that the use of stress resistance coefficients to assess the prospects for the development of the value chain has limitations. To solve this problem, it is necessary to adapt the methodology, including using a fuzzy approach.

**Keywords:** resilience, value chains, resilience coefficients, resistance coefficient, recovery coefficient.

### Введение

В современных условиях российская угольная отрасль находится в состоянии кризиса, как и весь добывающий сектор, ориентировавшийся длительное время на экспорт ресурсов. Одна из самых острых проблем, которую в ближайшее время предстоит решить, как адаптировать отечественную угольную отрасль к этим негативным факторам и сделать ее более устойчивой к ухудшающимся горно-геологическим условиям, ужесточению экологических требований и обострению геополитической ситуации. В период кризиса стабилизация социально-экономических процессов и поиск путей выхода из турбулентности всегда выходит на первый план, а обоснование способов и механизмов обеспечения устойчивости экономики и общества превращается в важнейшую научную и практическую проблему, требующую четкого представления о целях, задачах, доступных траекториях, механизмах и инструментах ее реализации. Именно поэтому важно объективно оценить уровень устойчивости угольной отрасли к различным шокам.

Сейчас в качестве инструмента оценки стабильности социально-экономических систем на микро и макроуровнях все чаще используется концепт стрессоустойчивости. Под стрессоустойчивостью в самом общем виде понимается способность системы и ее ключевых акторов предвидеть изменения и реагировать на них для выживания (краткосрочная перспектива), а также поиска и реализации новых направлений развития (долгосрочная перспектива) [1]. Новый подход получил развитие в последние 20 лет, как в зарубежных (Fingleton et al., 2012; Lagravinese, 2015; Ivanov, 2018; Hosseini et al, 2019; Giannakis et al, 2020), так и в отечественных исследованиях (Никитенко, Гоосен, Каган 2022; Goosen et al, 2022), но пока находится в стадии становления. [2-8].

Растущая сложность технологий и всего производственного цикла привела к формированию в 90-х годах XX века цепочек добавленной стоимости, к появлению ЦДС. Основной единицей такой организации производства является уже не отдельная компания, а цепочка связанных между собой компаний, производящих готовый продукт на всех стадиях его производства - этапах «добавления стоимости продукта начиная от добычи минеральных ресурсов и заканчивая готовым изделием» [9]. В рамках цепочки «процесс создания конечных продуктов рассредоточен среди множества автономных компаний-поставщиков и субпоставщиков из разных юрисдикций», что ведет к «фрагментации стадий производственного цикла» и разделению их на «узкие и высокоспециализированные операции (бизнес-задачи), каждая из которых выполняется конкретным участником ЦДС и соответствует ее определенному звену» [10].

В отечественной угольной отрасли сложилось два базовых типа ЦДС: рыночный, состоящий из отдельных независимых компаний и интегрированный, представленный конгломератовыми и холдинговыми компаниями. В них по-разному формируются, распределяются и сочетаются между собой факторы конкурентоспособности, а вместе с ними их краткосрочная и долговременная стрессоустойчивость ЦДС и входящих в их состав компаний. Количественная оценка этих разных типов ЦДС очень важна с точки зрения понимания текущего состояния и прогноза перспектив развития отрасли. Однако количественная оценка стрессоустойчивости ЦДС является проблематичной и вызывает наибольшие дискуссии при применении концепта стрессоустойчивости [5]. Все выше сказанное делает анализ существующих подходов к количественной оценке стрессоустойчивости ЦДС и их адаптацию к изучению проблем угольной отрасли актуальной научной проблемой.

#### Данные и методы

В качестве источников информации в статье использованы официальные статистические данные угольных компаний, Федеральной службы государственной статистики РФ за 2013–2021 годы о динамике добычи угля в России и в угольных компаниях в рядовом исчислении. Информация о характере связей компаний между собой и с компаниями из смежных отраслей получены из базы данных электронной системы «СБИС» и интервью экспертов из числа специалистов, работающих в угольной отрасли.

Для анализа были отобраны 41 компания, которые были идентифицированы как рыночные и интегрированные ЦДС. Важным критерием отбора было реальная деятельность в указанный период.

Для оценки стрессоустойчивости выбранных ЦДС была использована методика Lagravinese, 2015; Fingleton B et al. 2018 и Giannakis et al 2020 [2,3,6]. На основе динамики валовой добычи угля в рядовом исчислении были рассчитаны коэффициенты стрессоустойчивости: коэффициент сопротивления ( $\beta_{res}$ ) и коэффициент восстановления ( $\beta_{rec}$ ) за два периода с 2013 по 2017 гг. и с 2018 по 2021 гг, на которые пришлось два этапа кризиса. Первый этап был связан с резким падением цен на энергоносители 2019-2020 гг. в связи с пандемией Covid-19, с разрывом ЦДС и падением спроса на энергоносители: второй этап 2020 – 2021гг с началом восстановления отрасли. Границы каждого периода определялись тремя точками: годом с наиболее высоким подъемом добычи накануне кризиса (2018), падением добычи во время кризиса (2020) и годом восстановления производства после окончания кризиса (2021).

Для каждой из 41 компаний были рассчитаны темпы прироста объема добычи угля в исследуемые периоды: 2018-2020 гг. - период спада и 2020-2021 гг. - период подъема, а также темпы прироста добычи угля по всей отрасли. На основании этих показателей для

каждой  $i$ -ой угольной компании рассчитывался коэффициент сопротивления  $\beta_{res}^i$  по формуле (1) и коэффициент восстановления  $\beta_{rec}^i$  по формуле (2).



$$\beta_{res}^i = \frac{\left( \frac{Q_{2020}^i - Q_{2018}^i}{Q_{2018}^i} - \frac{Q_{2020}^{RF} - Q_{2018}^{RF}}{Q_{2018}^{RF}} \right)}{\left| \frac{Q_{2020}^{RF} - Q_{2018}^{RF}}{Q_{2018}^{RF}} \right|}, \quad (1)$$

$$\beta_{rec}^i = \frac{\left( \frac{Q_{2021}^i - Q_{2020}^i}{Q_{2020}^i} - \frac{Q_{2021}^{RF} - Q_{2020}^{RF}}{Q_{2020}^{RF}} \right)}{\left| \frac{Q_{2021}^{RF} - Q_{2020}^{RF}}{Q_{2020}^{RF}} \right|}, \quad (2)$$

где  $Q_t^i, Q_t^{RF}$  – объем добычи угля в  $i$ -ой компании и в отрасли целом соответственно в году  $t$ .

Если значения этих индексов больше нуля, то данный факт может быть интерпретирован следующим образом: в рассматриваемый период компания имела меньшие относительные потери объемов добычи (или более высокий относительный прирост добычи) и / или восстанавливалась быстрее, чем отрасль в целом. Отрицательные значения индексов стрессоустойчивости означает меньшую стрессоустойчивость компании в исследуемый период, чем отрасль в целом. В таблице 1 представлены описательные статистики темпов роста компаний и коэффициентов стрессоустойчивости в периоды «спада» и «подъема». Обработка данных проводилась с использованием программы Statistica 10.0.

Таблица 1 – Описательные статистики темпов прироста и коэффициентов стрессоустойчивости в периоды спада и подъема

Показатель	среднее по отрасли	Статистики, рассчитанные по 41 угольной компании				
		среднее	медиана	минимум	максимум	ст.откл.
темп прироста в 2018-2020	41	-0,143	-0,150	-0,668	0,465	0,212
$\beta_{res}$	41	-0,572	-0,648	-6,314	6,096	2,318
темп прироста в 2020-2021	41	0,181	0,084	-1,000	1,449	0,417
$\beta_{rec}$	41	1,480	0,157	-14,699	18,850	5,718

Анализ результатов, представленных в таблице 1, позволяет сделать следующие выводы. Медианные значения всех показателей ниже их среднего значения, что говорит о том, что в исследуемой группе компаний имеются компании с аномально высокими по сравнению с остальной группой значениями показателей (о чем свидетельствуют и их максимальные значения). Особенно большие различия наблюдаются в период подъема. Кроме того, стандартные отклонения показателей в период подъема существенно выше, чем в период спада. Данные факты подтверждают гипотезу о том, что различные компании могут выбирать свои траектории развития в период кризиса, на которые может оказывать влияние различные факторы. Поэтому для построения модели стрессоустойчивости компаний необходимо провести их разбиение на сходные группы.

Согласно методике, предложенной Giannakis et al, 2015 [6] для классификации компаний было использовано разбиение, представленное в таблице 2.

Таблица 2 – Правило разбиение компаний по классам стрессоустойчивости

Класс	Правила классификации	Интерпретация
I	$\beta_{res} < 0, \beta_{rec} < 0$	Низкое сопротивление и медленное восстановление
II	$\beta_{res} < 0, \beta_{rec} > 0$	Низкое сопротивление и быстрое восстановление
III	$\beta_{res} > 0, \beta_{rec} < 0$	Высокое сопротивление и медленное восстановление
IV	$\beta_{res} > 0, \beta_{rec} > 0$	Высокое сопротивление и быстрое восстановление

Используя правила, представленные в таблице 2, было проведено разбиение угольных компаний на классы стрессоустойчивости. Описательные статистика классов представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Описательные статистики коэффициентов стрессоустойчивости в различных классах

Показатель	среднее	медиана	минимум	максимум	ст.откл.
I класс (9 компаний)					
$\beta_{res}$	-1,608	-0,804	-6,314	-0,200	1,889
$\beta_{rec}$	-3,086	-1,672	-14,699	-0,173	4,492
II класс (15 компаний)					
$\beta_{res}$	-2,344	-2,292	-4,752	-0,131	1,302
$\beta_{rec}$	5,757	4,496	0,157	18,850	5,321
III класс (11 компаний)					
$\beta_{res}$	1,575	1,158	0,313	6,096	1,583
$\beta_{rec}$	-2,104	-1,049	-6,107	-0,628	1,754
IV класс (6 компаний)					
$\beta_{res}$	1,478	1,778	0,147	2,676	0,999
$\beta_{rec}$	4,209	3,591	0,385	8,836	3,773

Анализ результатов, представленных в таблице 3 показал, что даже в границах одного класса значения коэффициентов стрессоустойчивости существенно различаются. В одних компаниях динамика объема добычи близка к отраслевой (так, например, минимальное значения во втором классе  $\beta_{rec}=0,157$ ), в то время как в других компаниях это значение на порядок отличается от отраслевого (максимальное значение в этом же классе равно  $\beta_{rec}=18,85$ ).

Для более детального изучения ситуации, наблюдающейся в каждом классе, был проведен анализ не только коэффициентов стрессоустойчивости, но и темпов прироста добычи компаний, входящих в каждый кластер. В таблице 4 представлены значения темпов прироста и показателей стрессоустойчивости для компаний, попавших в 4 класс (высокое сопротивление и быстрое восстановление).

Темп прироста по всей угольной отрасли в период спада составил -0,091, а в период восстановления 0,723. Из шести компаний, попавших в этот класс, у четырех темп прироста в период падения положительный, то есть данные компании и в период кризиса, продолжают наращивать темпы добычи. Однако, у двух компаний, входящих в этот же кластер темп прироста отрицательный, но величина падения добычи меньше, чем по стране в целом. В тех же 4-х компаниях темп прироста в период подъема выше, чем в компаниях К4 и К6. Аналогичная ситуация наблюдается и в классе III. Из 11 компаний,

вошедших в данный класс у 7 компаний темп прироста добычи в период спада положительный, а у 4-х отрицательный, но выше, чем по РФ в целом. В период подъема у этих же 4 компаний темп прироста отрицательный, у остальных 7 положительный, но ниже, чем по всей отрасли.

Таблица 4 – Характеристики стрессоустойчивости компаний класса IV

Компания	Темп прироста компании в период		Коэффициенты стрессоустойчивости	
	2018-2020	2020-2021	$\beta_{res}$	$\beta_{rec}$
K1	0,0910	0,170611419	1,997495141	1,337245729
K2	0,0509	0,49966862	1,557983377	5,845077273
K3	0,09851	0,649409003	2,07935944	7,896405797
K4	<b>-0,0779</b>	0,101085094	<b>0,146555944</b>	0,384788346
K5	0,15296	0,718018117	2,675850576	8,836298096
K6	<b>-0,05389</b>	0,142514576	<b>0,409484121</b>	0,952340499

Анализ результатов разбиения показал, что использование данного подхода для оценки перспектив развития ЦДС имеет ограничения. Для решение этой проблемы необходима адаптация методики с позиции ее применения для анализа процессов угольной отрасли. Это связано с высокой неоднородностью исходных данных, что приводит в свою очередь к значительному размаху показателей, характеризующих стрессоустойчивость компаний. Значительная неоднородность данных может свидетельствовать о наличии большого количества разнонаправленных факторов, влияющих на стрессоустойчивость, что особенно заметно в период восстановления. Это приводит к тому, что компании со сходными характеристиками, значения которых близки к граничным могут попасть в разные классы. Для решения данной проблемы может быть использован нечеткий подход.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда № 22–28-01803, <https://rscf.ru/project/22-28-01803/>

#### Библиографический список

1. Gtreffi G., Sturgeon T. Global Value Chain-Oriented Industrial Policy: The Role of Emerging Economies Global Value Chains in a Changing World (pp.329-360) Ch.14 Publisher: World Trade Organization, Fung Global Institute and Temasek Foundation Centre for Trade & Negotiations Editors: Deborah K. Elms and Patrick Low.
2. Fingleton B., Garretsen H., Martin R. Recessary Shocks and Regional Employment: Evidence on the Resilience of U.K. Regions // Journal of Regional Science. 2012. Vol. 52. Issue 1. Pp. 109–133. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9787.2011.00755.x>
3. Lagravinese R., Economic Crisis and Rising Gaps North–South: evidence from the Italian regions, Cambridge Journal of Regions, Economy and Society. 2015. Volume 8. Issue 2. PP. 331–342. DOI: 10.1093/cjres/rsv006;
4. Ivanov, D. (2018). Structural Dynamics and Resilience in Supply Chain Risk Management. Springer, New York.
5. Hosseini, S., Ivanov, D., & Dolgui, A. (2019a). Review of quantitative methods for supply chain resilience analysis. Transportation Research Part E, 125, 285–307;
6. Giannakis E., Bruggeman A. Regional disparities in economic resilience in the European Union Across the Urban–Rural Divide. Regional Studies. 2020. Volume 54. Issue 9. PP. 1200-1213. DOI:10.1080/00343404.2019.1698720
7. Никитенко С.М., Гоосен Е.В., Каган Е.С., Клишин В.И., Патраков Ю.Ф. Новые цепочки добавленной стоимости как ресурс повышения стрессоустойчивости угольных компаний // Углекимия и экология Кузбасса. Сборник тезисов докладов XI Международного Российско- Казахстанского Симпозиума. Кемерово, 2022. С. 63

8. Goosen E.V., Nikitenko S.M. et al. (2022) Resilience of the Russian coal industry in the context of energy transition and decarbonization Eurasian Mining. 2022. № 2;
9. Hill E.W., Wial H., Wolman H. Exploring Regional Economic Resilience / Institute of Urban and Regional Development, Berkeley, Working Paper 2008-04. 2008. 15 p. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.5099.4000>
10. Lema R., Fu X., Rabellotti R. (2020) Green windows of opportunity: latecomer development in the age of transformation toward sustainability // Industrial and Corporate Change, 2020, Vol. 29, No. 5, 1193–1209 - doi: 10.1093/icc/dtaa044

УДК 621.311.11

## ИЗМЕНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ОЦК-КРИСТАЛЛА ПРИ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ

Гостевская А.Н.<sup>1</sup>, Маркидонов А.В.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»  
г. Новокузнецк, Россия, [lokoni296@mail.ru](mailto:lokoni296@mail.ru)

<sup>2</sup>Кузбасский гуманитарно-педагогический институт  
Кемеровского государственного университета  
г. Новокузнецк, Россия

**Аннотация.** В представленной работе излагаются результаты молекулярно-динамического моделирования изменения поверхностного слоя расчетной ячейки при кратковременном высокоэнергетическом воздействии. Построенная модель позволила выявить нарушение сплошности поверхностного слоя, заключающееся в локализации избыточного свободного объема в виде группы сферических пор. Размеры этих несовершенств, а также длительность их существования, имеют отличия при моделировании разной плотности энергии лазерного излучения, а также деформировании расчетной ячейки.

**Ключевые слова:** кристалл, модель, температура, плавление, пора, поверхность, деформация.

**Abstract.** This paper presents the results of molecular dynamics modeling of changes in the surface layer of the computational cell under a short-term high-energy impact. The constructed model made it possible to reveal the discontinuity of the surface layer, which consists in the localization of excess free volume in the form of a group of spherical pores. The sizes of these imperfections, as well as the duration of their existence, have differences when modeling different energy densities of laser radiation, as well as deformation of the computational cell.

**Keywords:** crystal, model, temperature, melting, time, surface, deformation.

Одной из важных задач промышленности на сегодняшний день является улучшение свойств различных металлических изделий. В связи с необходимостью упрочнений конструкций существует большое количество обработок поверхности путем воздействия повышенной температуры на поверхность материала, иначе говоря термическое влияние. Лазерная абляция рассматривается и используется для многих технических приложений, включая: производство наноматериалов, осаждение тонких металлических и диэлектрических пленок, изготовление сверхпроводящих материалов, сварку и соединение металлических деталей. Явление лазерной абляции успешно изучалось с помощью молекулярной динамики [1 – 3]. Структурные изменения в аморфной фазе на этапе охлаждения после окончания выдержки, несомненно, отразятся на свойствах полностью или частично кристаллической структуры [4]. Поэтому изучение аморфной структуры лазерных материалов представляет большой интерес [5]. В настоящее время ведется активное исследование процесса лазерной абляции при помощи компьютерного моделирования. Так же растет число экспериментальных исследований, специально направленных на изучение фундаментальных процессов в лазерной абляции. Развитие исследований лазерной абляции с использованием компьютерного моделирования, может способствовать более лучшему теоретическому пониманию взаимосвязи между основными взаимодействиями лазера с материалами, неравновесными процессами, вызванными быстрым осаждением лазерной

энергии, и результирующими параметрами выброшенного абляционного шлейфа, и состоянием оставшейся мишени.

В работе [6] моделировали процессы абляции крышек Si импульсным лазером на канонической модели, исследовали влияние размеров лазерного пятна на угловое распределение шлейфа, хотя в МД модели содержится только 3375 атомов, моделирование дает ту же адиабатическую постоянную, что и эксперимент, и показывает так называемый эффект переворота и расширения углового распределения с уменьшением лазерного пятна.

По сравнению с гидродинамическими моделями, моделирование (МД) может дать информацию на атомном уровне обо всех процессах распыления, включая образование газового облака сразу после осаждения лазерной энергии на мишени и расширение облака в вакууме с несколькими искусственными помехами, до тех пор, пока потенциал взаимодействия атомов может быть получен точно.

Цель исследования: выявление методом молекулярной динамики особенностей структурных изменений поверхностных слоев кристалла при высокотемпературном воздействии.

Проведенные ранее исследования [4, 5] показывают, что процесс воздействия на металл ультракоротких лазерных импульсов способствует формированию уникальных физических условий: высокая скорость нагрева материала и объемный механизм выделения энергии лазерного излучения. Что приводит к температуре, превышающей равновесное значение температуры плавления и испарения. Далее соответственно облучение материала высокомошными лазерными импульсами, что приводит к отрыву вещества от поверхности материала, т.е. к абляции. Что делает нас на шаг ближе к построению молекулярно-динамической модели, для исследования процесса абляции. Проведена оценка доли эжектированных частиц, в результате нагрева расчетной ячейки.

В рамках исследований структурных изменений в металлах при воздействии высоких температур изучались в рамках молекулярно-динамического моделирования. В прямоугольной системе координат размер вычислительной единицы находится в трех ортогональных кристаллографических направлениях, совпадающих с осью. Далее формируется базовая ячейка, формируется массив частиц, соответствующий ОЦК-решетке, и его трансляция заполняет весь заданный объем. Расчетная элементарная ячейка представляет собой прямоугольный параллелепипед с отношением сторон  $20 \times 100 \times 12 a_0$  ( $a_0$  – равновесная постоянная решетки). Поскольку это исследование проводилось на модели кристаллита железа, постоянная решетки была установлена равной  $2,866 \text{ \AA}$ . Общее количество смоделированных частиц составляет 48000 частиц. Построенная при помощи молекулярной динамики поверхность кристалла, используя периодические граничные условия по осям X и Z и свободные граничные условия по оси Y. Устанавливается ориентация вычислительных элементов в пространстве так, чтобы ось X совпадала с кристаллографическим направлением [100], ось Y совпадала с направлением [010], а Z совпадала с направлением [001]. В данном исследовании функция межчастичного взаимодействия применялся потенциал, моделируемый с применением способа погруженного атома. Уравнения движения, описывающие поведение системы частиц, интегрируются с помощью алгоритма для интегрирования уравнений движения Ньютона с временными шагами 1 фс. Расчеты выполняются с помощью пакета XMD. Результаты моделирования визуализировались с помощью пакета визуализации OVITO [7].

Процесс моделирования производится в 2 этапа. На первых этапах расчетные ячейки нагревались неравномерно в течение времени моделирования 10 пс. Далее идет второй этап, где рассчитанная температура неравномерно охлаждается при 20 пс. На рисунке 1 показано изменение средней температуры ячейки, рассчитанное в ходе моделирования.

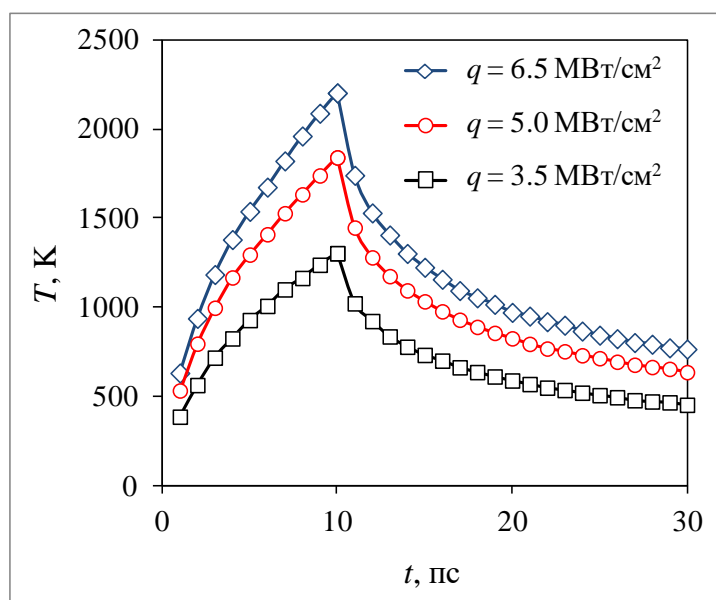


Рисунок 1 – Среднее изменение температуры ячейки, рассчитанное при моделировании при различных плотностях энергии лазерного излучения

Далее локальная температура ячейки, рассчитанная в процессе нагрева, начинает превышать температуру плавления, происходит фазовый переход, образующий границу между твердой и жидкой фазами в ячейке, смещая температуру в сторону более низкой температуры. Дальнейшее увеличение температуры, приводит к отделению атомов от поверхности вычислительного блока, образуя облако испаренных частиц. Стадия охлаждения включает локализацию разбавленных областей, образовавшихся на предыдущей стадии нагрева (см. рисунок 2, а), их слияние и образование сферических пор (см. рисунок 2, б, в, г).

При моделировании разнообразных плотностей поглощенной лазерной энергии путем алгоритма, основанный на методе  $\alpha$ -формы Эдельсбруннера и Мюкке, использовался для выявления пустот и оценки площади их поверхности. Этот метод использует тетраэдрализацию Делоне ряда геометрических точек. Идентификация пустот, образуемых в структуре твердого тела, включающей межатомное пространство. Радиус такой сферы должен быть не меньше половины расстояния между самыми короткими атомами, иначе в расчет включаются «искусственные» пустоты. В данной работе радиус виртуальной сферы равен значению постоянной решетки.

При моделировании разнообразных плотностей поглощенной лазерной энергии путем изменения параметра  $q$  в слоях вблизи поверхности расчетной ячейки наблюдаются различные структурные изменения. Коэффициент пористости обычно выражается как плотность аморфных и кристаллических структур и используется для количественной оценки этого изменения. В этом случае коэффициент пористости  $\theta$  определяется как процент свободной поверхности, образованной всеми порами свободной поверхности, идентифицированными в расчетной ячейке. На рисунке 3 показаны зависимость коэффициента пористости  $\theta$  от времени различных симуляций  $q$ .

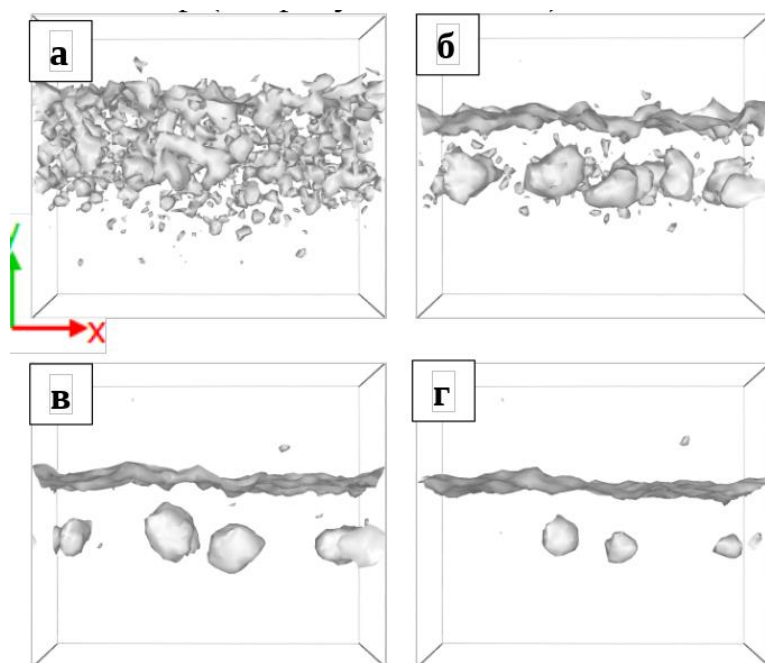


Рисунок 2 – Визуализированная моделируемая плотность энергии лазерного излучения  $q = 3,5 \text{ МВт/см}^2$  моделирования 11 (а), 15 (б), 19 (в) и 22 (г) пс

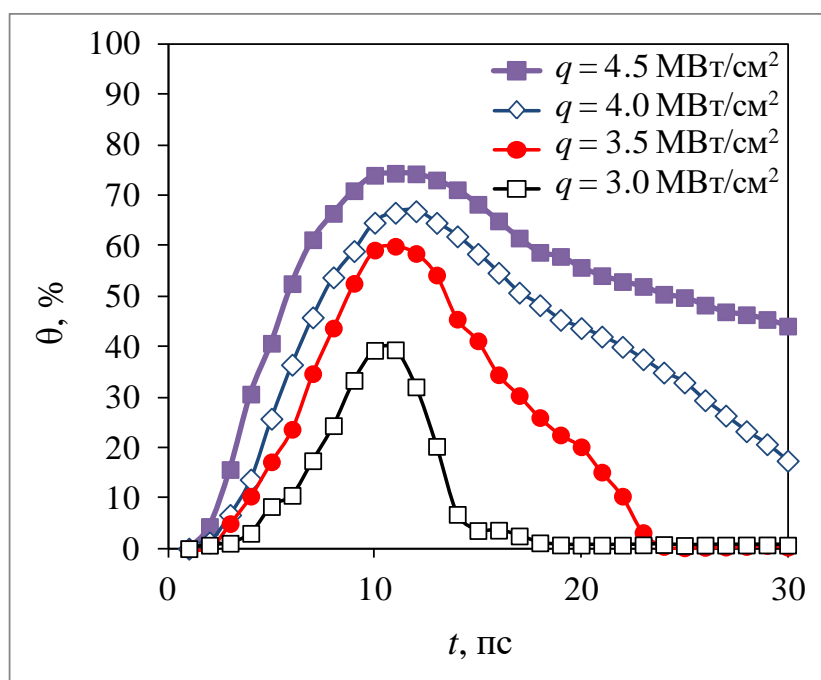


Рисунок 3 – Колебания расчетных коэффициентов пористости ячеек при моделировании с различной плотностью излучения лазера

Из приведенного графика на рисунке 3 видно, что пустоты, образуемые в расчетной ячейке, растворяются. Более подробное изучение таких дефектов планируется в дальнейших работах.

**Вывод.** Нами была построена молекулярно-динамическая модель для изучения процессов, происходящих в поверхностных слоях материала при внешнем кратковременном высокоэнергетическом воздействии. Было обнаружено, что в поверхностном слое после прекращения внешнего воздействия свободный объем локализуется в виде группы пор, которые растворяются в процессе усадки. Стабилизировать данные поры можно пу-

тем увеличения скорости охлаждения расчетной ячейки или же путем создания деформации растяжения. Сжатие же расчетной ячейки позволяет вообще избежать процесса порообразования.

### Библиографический список

1. Исследование влияния лазерной абляции на строение ОЦК-кристалла при помощи молекулярно-динамического моделирования / Гостевская А.Н., Маркидонов А.В., Громов В.Е., Старостенков М.Д., Лубяной Д.А. // Известия Алтайского государственного университета. – 2022. – № 4(126). – С. 18-23. – DOI 10.14258/izvasu(2022)4-02.
2. Моделирование структурных изменений поверхностного слоя ОЦК-металла при кратковременном высокоэнергетическом внешнем воздействии методом молекулярной динамики / Маркидонов А.В., Старостенков М.Д., Гостевская А.Н., Лубяной Д.А., Захаров П.В. // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2022. – № 5(803). – С. 18-23. – DOI 10.30906/mitom.2022.5.18-23. – EDN ZDALIX.
3. Kuo J.-K., Huang P.-H., Chien S.-K., Huang K.-Y., Chen K.-T. Molecular dynamics simulations of crater formation induced by laser ablation on the surface of  $\alpha$ -Fe substrate // MATEC Web of Conferences. 2018. V.167. 03011 (6 pp).
4. Gong X.-F., Yang G.-X., Li P., Wang Y., Ning X.-J. Molecular dynamics simulation of pulsed laser ablation // International Journal of Modern Physics B. 2011. V.25. No.4. P. 543-550.
5. Cheng C., Wu A.Q., Xu X. Molecular dynamics simulation of ultrafast laser ablation of fused silica // Journal of Physics: Conference Series. 2007. V.59. P.100-104.
6. Atanasov, P.A. Effect of ionization on laser-induced plume self-similar [Text] / P. A. Atanasov, N. N. Nedialkov, S. E. Imamova, A. Ruf, H. Hugel, F. D au singer and P. Berger // Appl. Surf. Sci. 186.– 2002.– 4595–4599 p.
7. Stukowski A. Visualization and analysis of atomistic simulation data with OVITO – the Open Visualization Tool // Modelling and Simulation Materials Science and Engineering. 2010. V.18. 015012.

УДК 622.831

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕДРАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ПОД ВЛИЯНИЕМ МИКРОСЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ГЕОМАССИВ В ОКРЕСТНОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК И УГОЛЬНЫХ ЦЕЛИКОВ

Павлова Л.Д., Фрянов В.Н.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»  
г. Новокузнецк, Россия, ld\_pavlova@mail.ru

**Аннотация.** В статье представлены результаты исследований, направленных на выявление по результатам численного моделирования количественных зависимостей параметров разрушения горных пород от микросейсмических событий. Разработанный алгоритм оценки влияния сейсмических волн на изменения геомеханических параметров геомассива рекомендуется использовать для определения рисков возникновения опасных производственных ситуаций.

**Ключевые слова:** вертикальные напряжения, вычислительный эксперимент, геомассив, микросейсмическое событие, моделирование, сейсмическая волна.

**Abstract.** The article presents the results of studies aimed at identifying quantitative dependences of rock destruction parameters on microseismic events based on the results of numerical modeling. The developed algorithm for assessing the impact of seismic waves on changes in the geomechanical parameters of the geomassiv is recommended to be used to determine the risks of hazardous production situations.

**Keywords:** vertical stresses, computational experiment, geomassiv, microseismic event, modeling, seismic wave.



## **Введение**

В условиях Кузбасса вследствие высокой концентрации и взаимного влияния действующих и ликвидированных открытых и подземных выработок происходит взаимодействие объектов и процессов угольных разрезов и шахт. В пределах горных отводов этих предприятий при ведении горных работ и производстве массовых техногенных взрывов периодически возникают микросейсмические события. Ситуация усложняется наличием природного геотектонического поля напряжений, под влиянием которого происходят микросейсмические события с интенсивностью 3-4 балла.

Периодическое воздействие микросейсмических природных и техногенных волн приводит к изменению энергии упругого деформирования породного массива, повышению его трещиноватости и накоплению повреждаемости. Качественное влияние микросейсмических событий на повреждаемость горных пород известно давно, однако количественные зависимости параметров разрушения горных пород от интенсивности и сейсмичности установлены лишь для отдельных регионов. Для условий Кузбасса отсутствие таких закономерностей и зависимостей приводит к спорадическому разрушению угольных целиков, подземных горных выработок, бортов карьеров, что влияет не только на производительность горнодобывающих предприятий, но и на промышленную, экологическую и социальную безопасность. В этой связи проведение исследований для выявления закономерностей воздействия на геомассив природных и техногенных микросейсмических событий, многоциклового усталости горных пород с целью прогноза и профилактики опасных производственных и социальных ситуаций, является актуальной научно-практической задачей.

### **Объект и методы исследования**

В качестве объекта исследований принят массив горных пород в виде свиты угольных пластов, подверженных влиянию природных и техногенных микроземлетрясений, в пределах расположенных рядом горных отводов угольной шахты и разреза Ерунаковского месторождения Кузбасса. Угольный разрез обрабатывает верхнюю свиту угольных пластов, а шахта нижнюю свиту.

Исследования проводились на математической модели массива горных пород, сформулированной в виде краевой задачи на основе дифференциальных уравнений механики сплошной среды, энергетической теории разрушения горных пород, волновой теории распространения упругих волн. Граничные условия: внизу модели вертикальные смещения приняты равными нулю, верхняя часть на земной поверхности свободна от нагрузок, по бокам вертикальные напряжения равны весу горных пород, горизонтальные смещения периодически изменялись при воздействии сейсмических волн [1].

Расчетная схема составлена с учетом горно-геологического строения геомассива и пространственно-временной динамики движения системы очистных и подготовительных выработок. Глубина подземных горных выработок до 600 м, угольные пласты средней мощности. Породы кровли и почвы пластов представлены слоями алевролитов, аргиллитов и песчаников мощностью от 0,5 до 7 м с пределом прочности при сжатии 30-80 МПа. Горизонтальная длина двумерной расчетной модели массива горных пород на вертикальном разрезе принята 1000 м, высота – 700 м.

Система дифференциальных уравнений решается методом конечных элементов с использованием авторского комплекса программ [2, 3]. Для оценки адекватности математической модели использованы результаты мониторинга сейсмической активности Алтае-Саянского филиала ФИЦ ЕГС РАН [4, 5].

### **Обсуждение результатов исследования**

Согласно программе исследований рассматривались два основных состояния геомассива: без воздействия и при воздействии на геомассив и горные выработки сейсмических волн. При проведении вычислительных экспериментов рассмотрено несколько вариантов расположения очистных и подготовительных выработок, угольных целиков в обрабатываемом пласте. По результатам численного моделирования в каждом конечном эле-

менте в зоне влияния подземных выработок получены следующие геомеханические параметры: вертикальные и горизонтальные смещения и деформации, полный вектор нормальных и касательных напряжений, отношение остаточной прочности угля и пород к исходной, удельная энергия формоизменения под влиянием напряжений и деформаций.

Наиболее представительные фрагменты результатов численного моделирования представлены на рисунках в виде расположения подземных выработок и изолиний распределения основных геомеханических параметров. На рисунке 1 показаны изолинии распределения вертикальных напряжений в окрестности очистного выработанного пространства выемочного столба 48-6 и угольного целика шириной 40 м между выработанным пространством и вентиляционным штреком 48-7. Положительные вертикальные напряжения соответствуют сжатию пород, а отрицательные – растяжению.

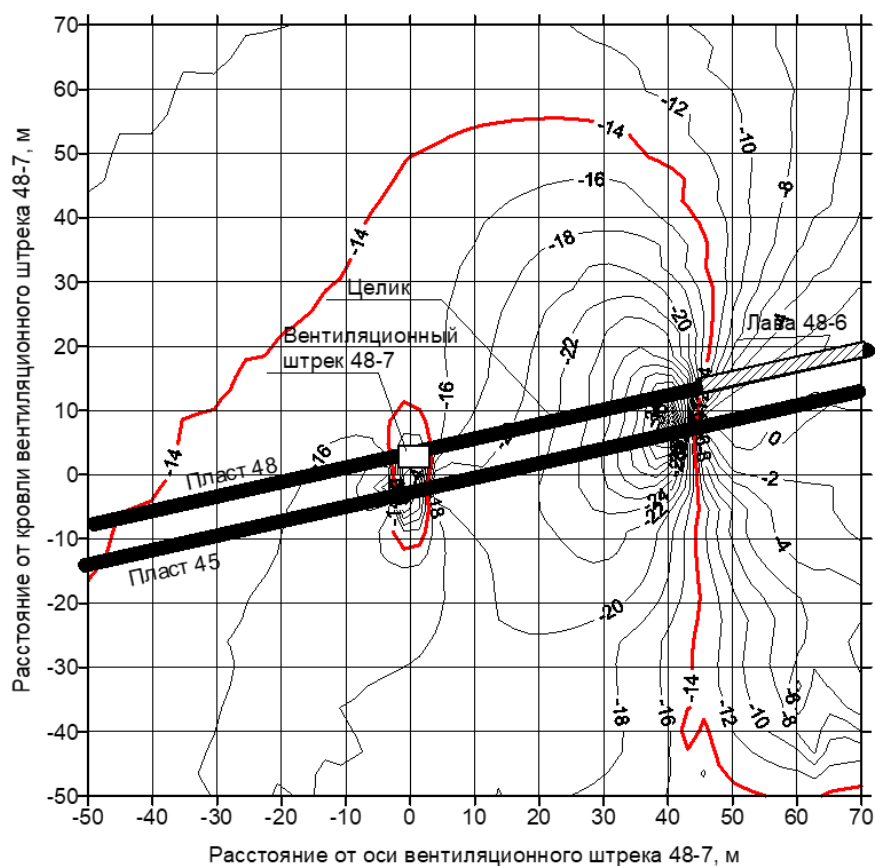


Рисунок 1 – Распределение вертикальных напряжений (МПа) в массиве горных пород между вентиляционным штреком 48-7 и очистным выработанным пространством выемочного столба 48-6 до прохождения сейсмической волны

По результатам вычислительных экспериментов выявлены следующие закономерности:

- в угольном целике и в кровле пласта на высоту до 50 м вертикальные напряжения превышают в 2-4 раза напряжения в нетронутом массиве;
- в краевой части целика у очистного выработанного пространства напряжения достигают 40 МПа, что в несколько раз превышает прочность угля, то есть на этом участке угольный пласт будет разрушен;
- угольный целик является штампом для пород почвы обрабатываемого пласта, это может привести к разрушению нижнего надрабатываемого пласта 45;
- в окрестности вентиляционного штрека 48-7 формируется зона разгрузки с высотой свода в кровле до 11 м, что соответствует двойной ширине выработки; в породах почвы штрека возможно пучение пород;

– ширина зоны опорного горного давления ниже вентиляционного штрека 48-7 достигает 47м.

При численном моделировании геомеханических процессов под влиянием микросейсмических воздействий на геомассив в окрестности подземных горных выработок и угольных целиков учтено, что в горнодобывающих регионах наиболее часто проявляются слабые сейсмические события с излучением сейсмической энергии не более  $5 \cdot 10^{-7}$  Дж [4]. Причинами слабых сейсмических событий могут быть подвижки пород по существующим разломам с образованием зоны трещин, производство взрывов на соседних карьерах, завесания и динамические обрушения пород основной кровли, горные удары, изменения уровня воды и другие техногенные воздействия на массив горных пород. Такого типа сейсмические события фиксируются в горнодобывающих районах, в том числе в Кузбассе [5, 6].

Для моделирования влияния сейсмических волн на параметры напряженно-деформированного состояния геомассива принята синусоидальная форма функции колебания точек [7, 8]:

$$\delta = A \sin\left(2\pi \frac{x}{l} + \varphi_0\right), \quad (1)$$

- где  $\delta$  – колебания точки в геомассиве под влиянием сейсмической волны, м;  
 $A$  – максимальная амплитуда колебания точки, м;  
 $l$  – длина волны, м;  
 $x$  – координата, м;  
 $\varphi_0$  – фаза.

На рисунке 2 показано изменение вертикальных напряжений при прохождении сейсмической волны в массиве горных пород.

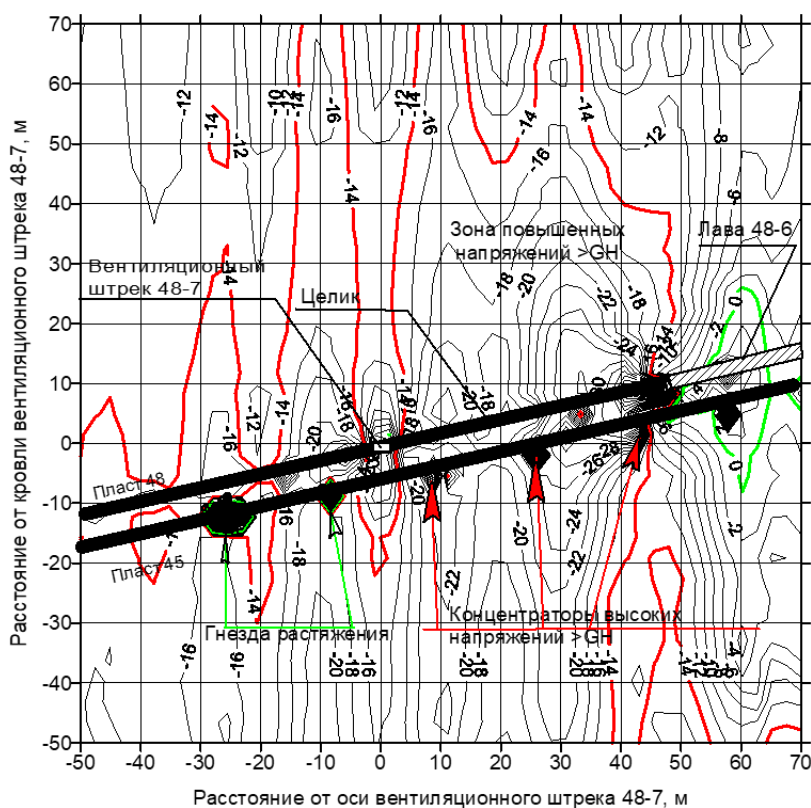


Рисунок 2 – Распределение вертикальных напряжений (МПа) в массиве горных пород между вентиляционным штреком 48-7 и очистным выработанным пространством выемочного столба 48-при прохождении сейсмической волны

Вычислительные эксперименты проводились для различных вариантов расположения подземных и открытых горных выработок и угольных целиков с построением графиков изменения основных геомеханических параметров. Посредством сравнения графиков изолиний этих параметров выявлены следующие закономерности изменения напряжений под влиянием сейсмической волны:

– периодичность 15-20 м максимумов и минимумов напряжений при движении сейсмической волны с формированием вероятных очагов опасных геодинамических явлений;

– формирование в надрабатываемом пласте 45 с интервалом 15м зон растяжения и повышенных напряжений, что может привести к внезапным выбросам газа метана в выработки верхнего обрабатываемого пласта 48;

– при прохождении сейсмической волны в кровле и почве обрабатываемого пласта 48 формируются периодические зоны с изменением в 1,5-2,0 раза вертикальных напряжений.

Процессы многократного воздействия импульсов на объект можно объяснить, применяя теорию многоциклового усталости материалов, согласно которой усталость и разрушение возникают при напряжениях много меньше предела текучести.

Согласно исследованиям [9] энергоёмкость разрушения пород уменьшается, когда в процессе энергообмена поток энергии из внешней среды (потенциальная удельная энергия воздействия на уголь или породу) превышает количество энергии при её поглощении и диссипации породой в ходе её разрушения. Энергоёмкость разрушения связана с энергетическим критерием прочности твёрдых тел [10-12].

Для определения степени длительного разрушения введены понятия и параметры повреждённости [9, 10]. Для горных пород величину повреждённости ( $W$ ) принято интерпретировать как относительную площадь поперечного сечения, занятую трещинами, микропорами, микродефектами:

$$W = \frac{S_0 - S}{S_0}, 0 \leq W \leq 1, \quad (2)$$

где  $S_0$  – площадь (объём) породного образца без повреждённости, например вне зоны влияния горных выработок или сейсмического воздействия;

$S$  – площадь (объём) породного образца с учётом трещин, пор, образующихся под влиянием горных выработок, геологических нарушений, сейсмических событий.

На рисунке 3 показаны качественные графики изменения энергоёмкости разрушения и накопления повреждений в породах.

Согласно графикам с увеличением количества энергии периодических внешних воздействий на отдельный участок угольного пласта или породы энергоёмкость разрушения скачкообразно уменьшается, а объём повреждённого (разрушаемого) материала в виде трещин ступенчато растёт. Точки минимума на кривой энергоёмкости разрушения рисунке 3 рассматриваются как скачки разрушения.

Графики, подобные представленным на рисунке 3, рекомендуется оперативно формировать в структуре информационной системы шахты для каждой зоны с повышенными вертикальными напряжениями с целью определения по ним рисков возникновения опасных производственных ситуаций.

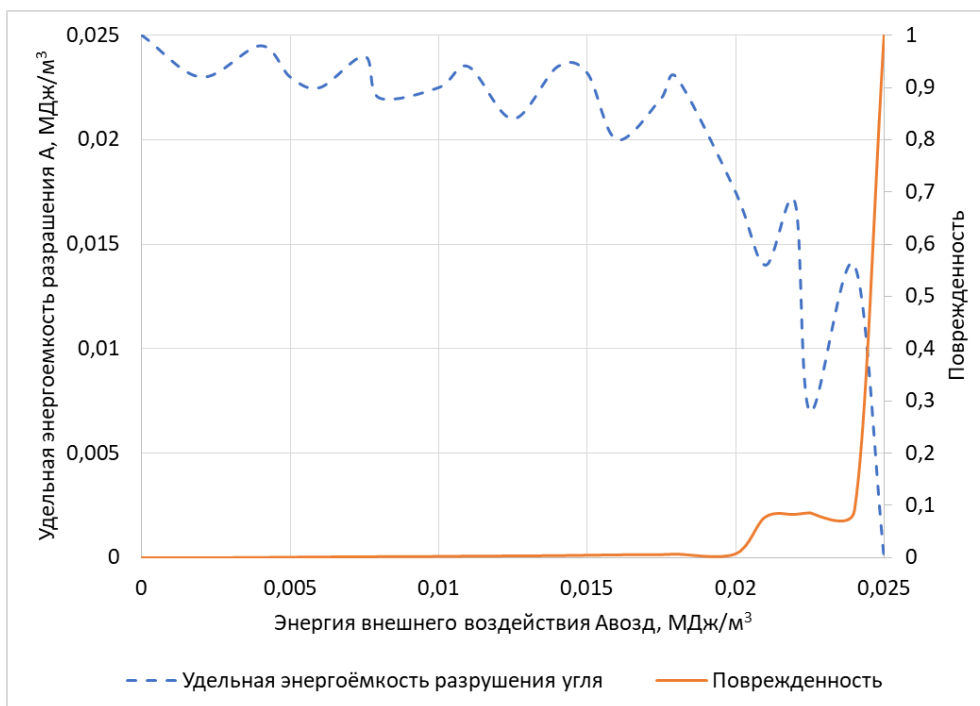


Рисунок 3 – Графики зависимости удельной энергоёмкости разрушения (А), МДж/м<sup>3</sup> и поврежденности угля (W) от энергии внешних воздействий (техногенных взрывов)

### Выводы

По результатам численного моделирования геомеханических процессов в окрестности подземных горных выработок и угольных целиков пород при влиянии на них открытых горных выработок, отвалов вскрышных пород и технологических массовых взрывов в пределах угольного разреза установлено, что алгоритм оценки влияния сейсмических волн на изменения геомеханических параметров в виде абсолютных и относительных отклонений значений параметров с учётом и без учёта влияния сейсмических волн удовлетворительно описывает состояние массива горных пород при прохождении сейсмической волны.

Обосновано по результатам вычислительных экспериментов влияние технологических взрывов на угольных разрезах на устойчивость подземных выработок и угольных целиков. Для каждой зоны с повышенной концентрацией вертикальных напряжений по мере увеличения циклов прохождения взрывной волны риск возникновения опасной ситуации возрастает, и может привести к разрушению пород, проявлению геодинамических газодинамических событий.

### Библиографический список

1. Фрянов В.Н. Численное исследование влияния структурной неоднородности массива горных пород на геомеханические параметры выемочного участка угольной шахты / В.Н. Фрянов, Л.Д. Павлова // Научно-технический вестник Поволжья. – 2021. – № 8. – С. 95-98.
2. Корнев Е.С. Разработка комплекса проблемно-ориентированных программ для моделирования геомеханических процессов методом конечных элементов / Е.С. Корнев, Л.Д. Павлова, В.Н. Фрянов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2013. – № 2. – С. 65–69.
3. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2020618595. Программный комплекс для моделирования геомеханических процессов в структурно неоднородном геомассиве при взаимном влиянии системы подземных горных выработок / В.Н.

- Фрянов, Л.Д. Павлова, А.Б. Цветков; ФГБОУ ВО Сиб. гос. индустр. ун-т. – Фед. служба по интеллект. собств.; Дата регистр. 30 июля 2020.
4. Беседина А.Н., Кабыченко Н.В., Кочарян Г.Г. Особенности сейсмического мониторинга слабых динамических событий в массиве горных пород / А.Н. Беседина, Н.В. Кабыченко, Г.Г. Кочарян // ФТПРПИ. – 2013. – №5. – С.20-36.
  5. Арутюнян Е.Г. Актуальные проблемы сейсмической безопасности Кузбасса / Е.Г. Арутюнян, В.В. Ромашин, И.В. Огородникова // ТЭК и ресурсы Кузбасса. – 2007. – №6. – С.43-44.
  6. Денисов С.В. Специфика и формы проявления техногенной сейсмичности на горнодобывающих предприятиях Кузбасса по материалам инструментальных наблюдений / С.В. Денисов, Д.А. Поляков, Р.В. Добрынин // Научно-технологические разработки и использования минеральных ресурсов. – 2020. – №4. – С. 461–464.
  7. Панин С.Ф. Особенности проявлений сейсмических активизаций на шахтах Кузбасса и организация сейсмического контроля за состоянием недр / С.Ф. Панин // Научно-технологические разработки и использования минеральных ресурсов. Сб. научных статей. - Новокузнецк, СибГИУ. – 2013. –С. 259–263.
  8. Геодинамическое районирование Южного Кузбасса / Т.И. Лазаревич, В.П. Мазикин [и др.]. - Кемерово: Научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела – межотраслевой научный центр ВНИМИ. Кемеровское Представительство, 2006. – 181 с.
  9. Кузнецов Н.Н. Исследование энергоёмкости разрушения скальных горных пород с целью оценки их удароопасности (на примере месторождений Кольского региона) : автореф. дис. на соиск. учён. степ. канд. техн. наук / Николаев Н.Н.; Ин-т горного дела Уральского отд. РАН. – Апатиты, 2021. – 25 с.
  10. Тимошенко С.П. Теория упругости / С.П. Тимошенко, Дж. Гудьер. – М.: Наука, 1975. – 576 с.
  11. Методика прогнозирования прочности углей / С.Е. Чирков, Б.К. Норель, М.П. Мохначёв, Ю.С. Макаров. – М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1981. – 29 с.
  12. Степанова Л.В. Параметр повреждённости Ю.Н. Работнова и описание длительного разрушения: результаты, современное состояние, приложение к механике трещин и перспективы / Л.В. Степанова, С.А. Игонин // Прикладная механика и техническая физика. – 2015. – Т. 56. – №2. – С. 133-145.

УДК 519.65

## ИТЕРАЦИОННЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЙ НАД ТЕЛОМ КВАТЕРНИОНОВ

**Бабушкина О.С., Калашников С.Н.**

*ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»  
г. Новокузнецк, Россия, babushkina.olga51999@gmail.com*

***Аннотация.** В работе рассматривается итерационный метод решения алгебраических уравнений в алгебре кватернионов, отличающийся случайным выбором начальных и значения значения итерационного параметра в итерационном процессе.*

***Ключевые слова:** уравнение, комплексные числа, кватернион, операция, тело кватернионов, метод Монте-Карло, итерационный метод, сходимости, коммутативность.*

***Abstract.** The paper considers an iterative method for solving algebraic equations in the quaternion algebra, which is distinguished by a random choice of initial and value values of the iterative parameter in the iterative process.*

***Keywords:** equation, complex numbers, quaternion, operation, body of quaternions, Monte Carlo method, iterative method, convergence, commutativity.*

Алгеброй кватернионов (от лат. *quaterni*, по четыре), как развитием понятия поля комплексных чисел является алгебра гиперкомплексных чисел, образующая четырёхмерное векторное пространство над полем действительных (вещественных) чисел [1], т.е. любой кватернион является набором четырёх значений действительной переменной и представим в виде

$$q = (t, x, y, z) = [t, v],$$

где  $t, x, y, z$  – действительные числа;

$$v = (x, y, z) \in R^3, q \in H.$$

В работе предлагается итерационный метод решения алгебраических уравнений над телом кватернионов, отличающийся случайным выбором начальных значений в итерационном процессе и значения итерационного параметра, определяющего динамику развития итерационного процесса.

Используя кватернионы

$\mathbf{1} = (1, 0, 0, 0), i = (0, 1, 0, 0), j = (0, 0, 1, 0), k = (0, 0, 0, 1)$  как базисные, любой кватернион можно представить в виде

$$q = t + xi + yj + zk, \quad (1)$$

где число  $t$  – действительная часть, а сумма  $xi + yj + zk$  – векторная часть кватерниона.

В алгебре кватернионов определены две бинарные операции:  $q_1 + q_2$  и  $q_1 \cdot q_2$ , которые ассоциативны, по каждой операции имеется обратный и нейтральный кватернионы. Операция  $q_1 + q_2$  в алгебре кватернионов коммутативна, а операция  $q_1 \cdot q_2$  коммутативной не является. Поэтому алгебра кватернионов не может быть полем, каковым является поле комплексных чисел, а является телом. Для тела кватернионов введено скалярное произведение, реализующее псевдоевклидову метрику [2].

Операция  $q_1 + q_2$  определена так же, как и в случае с комплексными числами

$$\begin{aligned} q_1 + q_2 &= [t_1, v_1] + [t_2, v_2] = (t_1 + t_2, x_1 + x_2, y_1 + y_2, z_1 + z_2) = \\ &= (t_1 + t_2) + (x_1 + x_2)i + (y_1 + y_2)j + (z_1 + z_2)k. \end{aligned}$$

Операция  $q_1 \cdot q_2$  определена следующим образом

$$\begin{aligned} q_1 \cdot q_2 &= [t_1, v_1] \cdot [t_2, v_2] = (t_1 t_2 - x_1 x_2 - y_1 y_2 - z_1 z_2, \\ & \quad t_1 x_2 + t_2 x_1 + y_1 z_2 - y_2 z_1, \\ & \quad t_1 y_2 + t_2 y_1 + z_1 x_2 - z_2 x_1, \\ & \quad t_1 z_2 + t_2 z_1 + x_1 y_2 - x_2 y_1). \end{aligned}$$

При этом имеют место следующие соотношения Гамильтона

$$\begin{aligned} i^2 &= j^2 = k^2 = ijk = -1 \\ ij &= k \quad jk = i \quad ki = j \\ ji &= -k \quad kj = -i \quad ik = -j. \end{aligned}$$

Можно заметить, что отношения между  $i, j$  и  $k$  очень похожи на правила векторного умножения единичных декартовых векторов.

На рисунке 1 графически представлены взаимосвязи между декартовыми единичными векторами в виде  $i, j$  и  $k$ .

Итерационный метод решения алгебраических уравнений над телом кватернионов заключается в следующем.

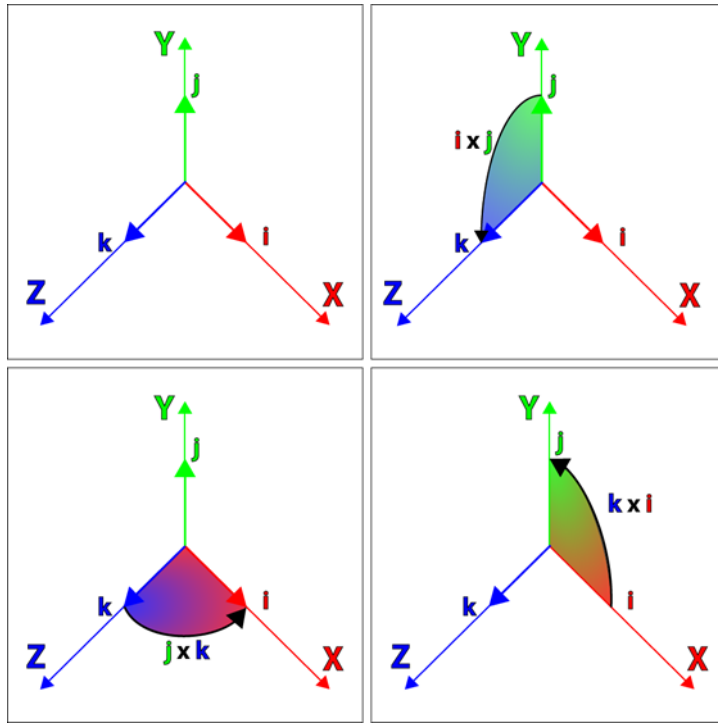


Рисунок 1 – Графическое представление свойств  $ij, jk, ki$

Необходимо решить уравнение  $F(q) = 0$ , где  $q \in \mathbb{H}$ , что равносильно покомпонентной записи уравнений

$$\begin{cases} F_t(t, x, y, z) = 0 \\ F_x(t, x, y, z) = 0 \\ F_y(t, x, y, z) = 0 \\ F_z(t, x, y, z) = 0. \end{cases}$$

Итерационный процесс реализуется с помощью следующих алгоритмических соотношений

$$q^{(s+1)} = q^{(s)} + \lambda F(q^{(s)}),$$

где  $s$  – номер шага итерационного процесса;

$\lambda$  – параметр итерационного процесса, определяющий его сходимость и динамику.

Покомпонентно это имеет вид

$$\begin{cases} t^{(s+1)} = t^{(s)} + \lambda F_t(t^{(s)}, x^{(s)}, y^{(s)}, z^{(s)}) = 0 \\ x^{(s+1)} = x^{(s)} + \lambda F_x(t^{(s)}, x^{(s)}, y^{(s)}, z^{(s)}) = 0 \\ y^{(s+1)} = y^{(s)} + \lambda F_y(t^{(s)}, x^{(s)}, y^{(s)}, z^{(s)}) = 0 \\ z^{(s+1)} = z^{(s)} + \lambda F_z(t^{(s)}, x^{(s)}, y^{(s)}, z^{(s)}) = 0. \end{cases}$$

Начальные значения итерационного процесса  $t^{(0)}, x^{(0)}, y^{(0)}, z^{(0)}$ , а также значения итерационного параметра  $\lambda$ , в серии вычислительного эксперимента выбираются случайным образом с помощью генератора случайных чисел, то есть реализуется метод Монте-Карло при реализации итерационного метода решения уравнений над телом кватернионов.

В работе в качестве примера рассмотрено решение уравнения



$$q^3 + aq + b = 0, \quad (3)$$

где  $a = (2, -3, 4, 5)$ ;  $b = (3, -7, -6, 7)$ .

Уравнение можно представить в виде

$$(t, x, y, z)^3 + (2, -3, 4, 5) \cdot (t, x, y, z) + (3, -7, -6, 7) = 0.$$

С помощью предложенного итерационного метода найдены следующие корни уравнения (3):

$$t_1 = -0,579; x_1 = 0,661; y_1 = 0,258; z_1 = 1,704;$$

$$t_2 = -1,439; x_2 = 0,629; y_2 = 0,967; z_2 = 0,934.$$

На рисунках 2 и 3 представлены два варианта итерационных траекторий при нахождении первого корня исходного уравнения (3), а на рисунках 4 и 5 – итерационные траектории для второго корня.

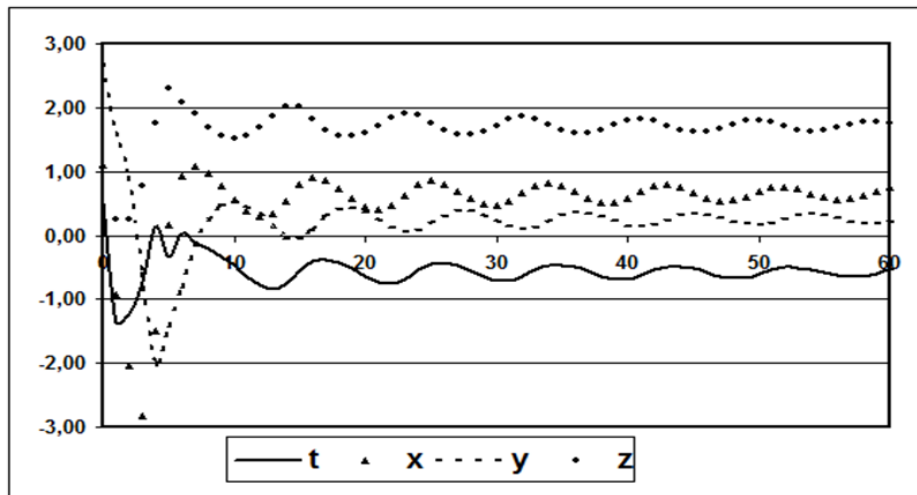


Рисунок 2 – Первый вариант итерационного процесса для нахождения корня  $(-0,579; 0,661; 0,258; 1,704)$

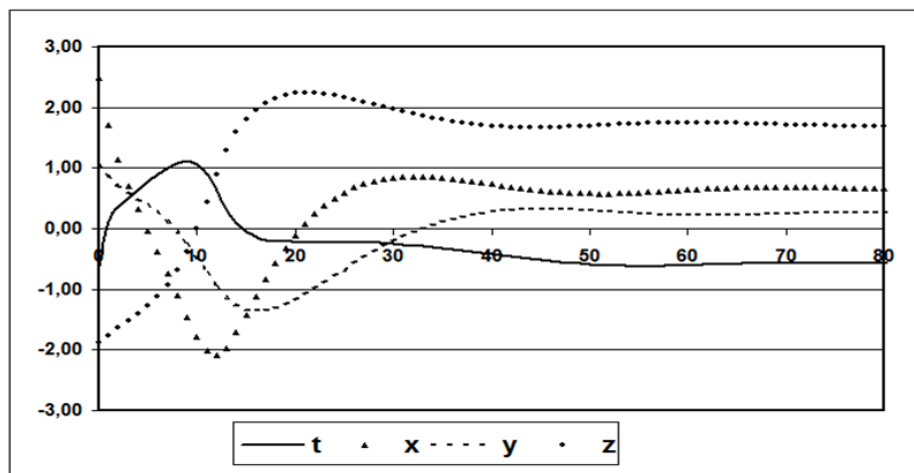


Рисунок 3 – Второй вариант итерационного процесса для нахождения корня  $(-0,579; 0,661; 0,258; 1,704)$

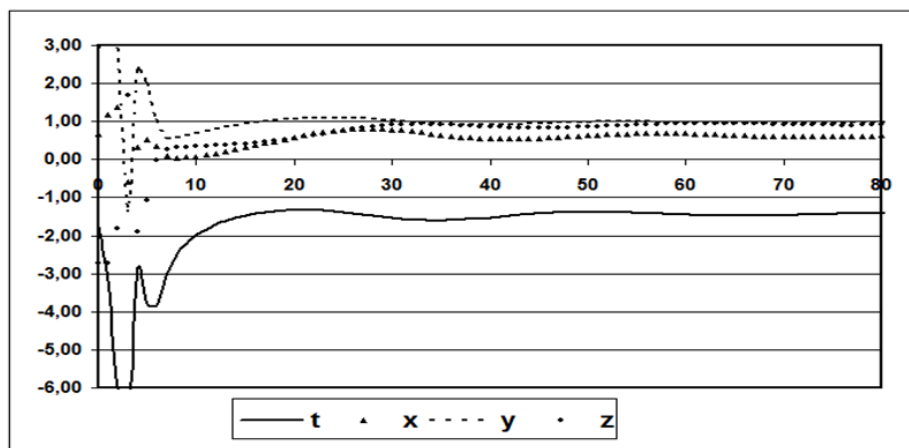


Рисунок 4 – Первый вариант итерационного процесса для нахождения корня  $(-1,439; 0,629; 0,967; 0,934)$

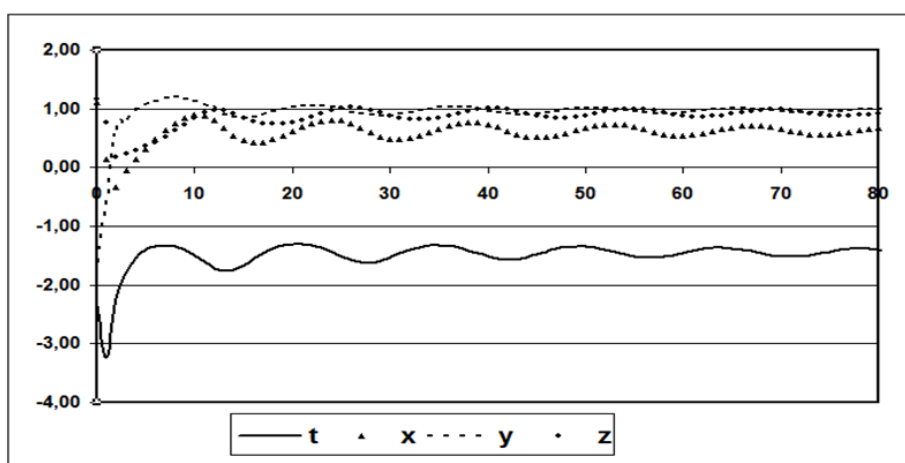


Рисунок 5 – Второй вариант итерационного процесса для нахождения корня  $(-1,439; 0,629; 0,967; 0,934)$

Таким образом, предложенный итерационный метод с реализацией метода Монте-Карло по параметрам итерационного процесса позволяет находить корни алгебраических уравнений над телом кватернионов.

#### Библиографический список

1. Доступно о кватернионах и их преимуществах [Электронный ресурс]: сайт. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/426863/>, свободный (дата обращения: 15.11.2022).
2. <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2009/112/pdf>

## ОПЫТ РАЗРАБОТКИ ПЛАГИНОВ В СУО MOODLE ДЛЯ АНАЛИЗА РАБОТЫ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

Ермакова Л.А.

*ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»*

*г. Новокузнецк, Россия, ermakova10011@rambler.ru*

**Аннотация.** В статье представлен опыт разработки плагинов в Moodle, показана актуальность задачи и рассмотрены функциональные возможности разработанных модулей. Созданные плагины используются для анализа работы пользователей и дают возможность в автоматическом режиме получать информацию, позволяющую выявлять студентов и преподавателей, которые неактивны в системе, что позволяет улучшить контроль образовательного процесса.

**Ключевые слова:** Moodle, система управления обучением (СУО), плагин, статистика, активность пользователей, логи.

**Abstract.** The article presents the experience of developing plugins in Moodle, shows the relevance of the task and considers the functionality of the developed modules. The created plugins are used to analyze the work of users and allow you to automatically receive information that allows you to identify students and teachers who are inactive in the system to control the educational process.

**Keywords:** Moodle, learning management system (LMS), plugin, statistics, user activity, logs.

В ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет» для организации электронного обучения используется система управления обучением «Moodle» (СУО «Moodle»), которая имеет широкий набор стандартных инструментов и используется для проведения всех видов занятий, процедур оценки результатов обучения, реализация которых предусмотрена с применением ЭО, ДОТ [1]. Синхронное и асинхронное взаимодействие между участниками образовательного процесса посредством сети «Интернет» реализуется в СУО «Moodle» с помощью системы личных сообщений и форума. Система управления обучением «Moodle» обеспечивает доступ к электронным курсам, фиксирует ход учебного процесса с сохранением всех достижений обучающихся, предоставляет возможность для взаимодействия всех участников учебного процесса, независимо от их местонахождения.

Несмотря на то, что СУО «Moodle» полностью фиксирует активность пользователей путем записи всех их действий в служебные файлы системы, данная информация доступна преподавателю только в рамках каждого отдельного курса через просмотр журнала событий, в котором можно получить результаты только индивидуально для каждого обучающегося, что является достаточно затратным по времени процессом даже для контроля работы одной академической группы студентов, не говоря уже о ситуации, когда курс одновременно осваивает большое количество студентов. Кроме того, существует проблема контроля активности преподавателей в системе, что доступно только администраторам системы и с использованием стандартных средств системы является очень затратной по времени задачей.

Таким образом, СУО «Moodle» имеет развитый функционал для реализации обучения, но не имеет удобных инструментов для контроля и управления обучением. Так как Moodle относится к классу свободно распространяемых систем с лицензией GNU GPL [2] и является модульной системой, позволяющей с помощью специального интерфейса программирования API Moodle создавать собственные модули (плагины), задача расширения функционала системы за счет разработки инструментов для контроля и управления обучением является актуальной.

Администраторами системы был разработан комплекс плагинов, существенно расширяющих стандартный функционал системы и позволяющих осуществлять:

– формирование электронного портфолио студентов с автоматическим сохранением в нём всех работ обучающихся, загруженных в СУО «Moodle», а также оценок и отзывов преподавателей на эти работы [3];

– контроль текстовых заимствований в файлах с работами обучающихся, загруженными в систему Moodle путем автоматической отправки работ на проверку в систему контроля заимствований «РУКОНТЕКСТ» и размещением отчета с результатами проверки в СУО «Moodle» [4];

– контроль электронных курсов в СУО «Moodle», позволяет автоматически проверить содержимое курса по следующим параметрам: отсутствие в курсе пользователей с ролью «Преподаватель»; отсутствие в курсе пользователей с ролью «Студент»; отсутствие в курсе файлов, т.е. учебных материалов; отсутствие в курсе заданий и тестов; наличие в курсе неоцененных работ и ряд других показателей;

– контроль работы пользователей для роли «Преподаватель», позволяет извлекать из базы данных и анализировать информацию об активности преподавателей с формированием отчета, содержащего список курсов и ФИО преподавателей, не давших студентам доступ к курсу, не разместивших в курсах задания для студентов, не оценивших работы студентов за 7 дней, не заходивших в курсы текущего семестра более месяца;

– контроль работы пользователей для роли «Студент», позволяет сформировать отчеты, содержащие: ФИО студентов, не сдавших все работы в конкретном курсе; ФИО студентов, не сдавших работы во всех курсах текущего семестра; список курсов, где большинство студентов не сдали работы или сдали на оценку неудовлетворительно/не зачтено.

Плагин, формирующий отчеты на основе анализа активности студентов, позволяет осуществлять контроль их работы в течение семестра и заранее, ещё до сессии выявлять студентов, которые имеют проблемы с освоением дисциплин. Данный инструмент активно используется как преподавателями, реализующими дисциплины, так и дирекциями институтов.

Плагин, формирующий отчеты о работе преподавателей доступны администраторам системы, завидующим кафедрами, а также самим преподавателям и позволят выявить преподавателей, которые недостаточно неактивны в системе и скорректировать их работу.

Таким образом, разработанные плагины позволяют расширить функциональные возможности СУО «Moodle»: формировать портфолио обучающихся, организовать автоматическую проверку студенческих работ на неправомерные заимствования и на основе анализа активности студентов и преподавателей в курсах формировать управленческие решения для оптимизации учебного процесса.

### **Библиографический список**

1. Ермакова Л.А. Построение единой информационно-образовательной среды университета // Информационные технологии. Проблемы и решения : материалы международной научно-практической конференции. – Уфа, 2015. – Т. 1. – С. 151-155
2. MoodleDocs [Электронный ресурс] – Режим доступа – [[https://docs.moodle.org/dev/Main\\_Page](https://docs.moodle.org/dev/Main_Page)] – Загл. с экрана (дата обращения: 02.11.2022).
3. Раецкий А.Д., Шлянин С.А., Ермакова Л.А. Разработка плагина «Портфолио СибГИУ» для системы управления обучением «Moodle» // Кибернетика и программирование. -2016. -№ 2. -С.52-61. URL: [http://e-notabene.ru/kp/article\\_18016.html](http://e-notabene.ru/kp/article_18016.html). (дата обращения: 02.11.2022).
4. Разработка расширения системы Moodle для автоматического контроля текстовых заимствований системой «РУКОНТЕКСТ»/Шлянин С.А., Раецкий А.Д., Ермакова Л.А.//Теплотехника и информатика в образовании, науке и производстве: сборник докладов VI Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных (ТИМ'2017) с международным участием (Екатеринбург, 11-12 мая 2017 г.). -Екатеринбург: УрФУ, 2017. -С. 280-283.

# ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ВЕДЕНИЯ РАСПИСАНИЯ ДЛЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ЦЕНТРА

Бегинина А.Г.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»  
г. Новокузнецк, Россия, dmitrieva\_1997@bk.ru

***Аннотация.** В современном мире просто невозможно представить жизнь без информационных технологий несмотря на то, что в самом недалеком прошлом человек и понятия не имел о них. В нашу жизнь они вошли прочно, применяются информационные технологии во всех сферах жизни человечества, выполняя особо значимую двойственную роль. В данной статье рассмотрена ценность и плюсы использования информационных систем на примере образовательного центра..*

***Ключевые слова:** информационные технологии, система управления, автоматизированная информационная система, учет расписания.*

***Abstract.** In the modern world, it is simply impossible to imagine life without information technologies, despite the fact that in the most recent past, a person had no idea about them. They have firmly entered our lives, information technologies are used in all spheres of human life, performing a particularly significant dual role. This article discusses the value and advantages of using information systems on the example of an educational center.*

***Keywords:** information technologies, control system, automated information system, schedule accounting.*

Индустрия образовательных услуг развивается стремительно, и если 10 лет назад вопрос автоматизации образовательных центров фактически не стоял, то с развитием центров и индустрии в целом, укрупнением штата и популярности услуг, более сложного контроля и систем различных учетов появилась необходимость в использовании средств автоматизации протекающих бизнес-процессов.

Основными причинами для приобретения систем автоматизации могут служить:

- возможность видеть общую картину происходящего в центре;
- вести контроль учеников, статистику их посещения центра;
- иметь прозрачную картину финансовых потоков;
- оперативно принимать решения в модернизации и развитии предлагаемых услуг, а также совершать маркетинговые мероприятия по привлечению учеников;
- прогнозировать спрос на образовательные услуги и планировать предложения центра;
- повышать эффективность работы персонала с учетом накопленных и полученных данных.

Все это доказывает актуальность данной темы работы.

Объектом исследования является процесс составления расписания.

Предметом исследования является проектирование системы составления расписания для образовательного центра.

## **Схема информационного потока**

Схема отражена на рисунке 1. Для лучшего понимания обозначений, приведенных на схеме, ниже была приведена таблица 1, которая содержит их расшифровки.

Начнем рассмотрение с источников и приемников данного потока, им являются:

Администратор – это физическое лицо, работник обучающего центра, выполняющее обязанности: ввести учет клиентов, составления расписания и т.д.

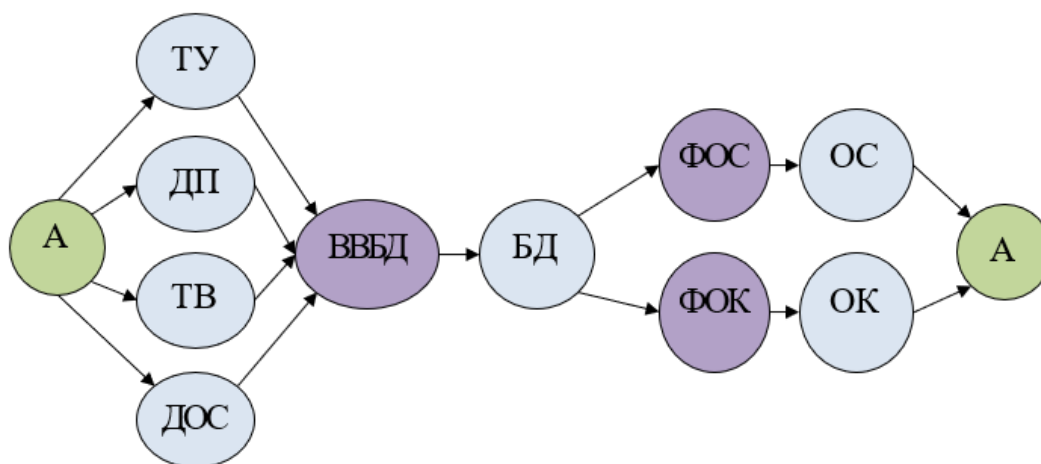


Рисунок 1 – Информационный поток

Таблица 1 – Расшифровка обозначений информационного потока

Обозначение	Расшифровка
А	Администратор
Т.У	Требуемые услуги
Д.П	Данные пользователя
Т.В	Требуемое время
ДОЗ	Данные о сеансах
ВВБД	Ввод в БД
БД	База данных
ФОЗ	Формирование отчета о сеансах
ФОК	Формирование отчета об обучающихся
ОЗ	Отчет о сеансах
Ок	Отчет о клиентах

Теперь перейдем к рассмотрению процесса приведенных в информационном потоке, ими являются:

Требуемые услуги – запрос необходимых услуг из базы данных.

Данные пользователя – добавление, удаление, изменения информации о пользователе.

Требуемое время – передача времени для получения отчета за выбранный период времени.

Данные о сеансах – изменение или генерация нового расписания.

Отчет о сеансах – получение администратором отчета о сеансах с учетом заданных параметров.

Отчет о клиентах – получение администратором отчета об обучающихся с учетом заданных параметров.

Теперь перейдем к рассмотрению массивов данных, приведенных в информационном потоке, ими являются:

Формирование отчета о сеансах – составления расписания отчета о сеансах.

Формирование отчета о клиентах – составления расписания отчета об обучающихся.

Ввод в БД – ввод нужной информации или запрос из базы.

Проектирование базы данных

При разработке базы данных проектируемой системы «Планирование рабочего времени» было создано 5 таблиц, схема базы данных системы представлена на рисунке 2.

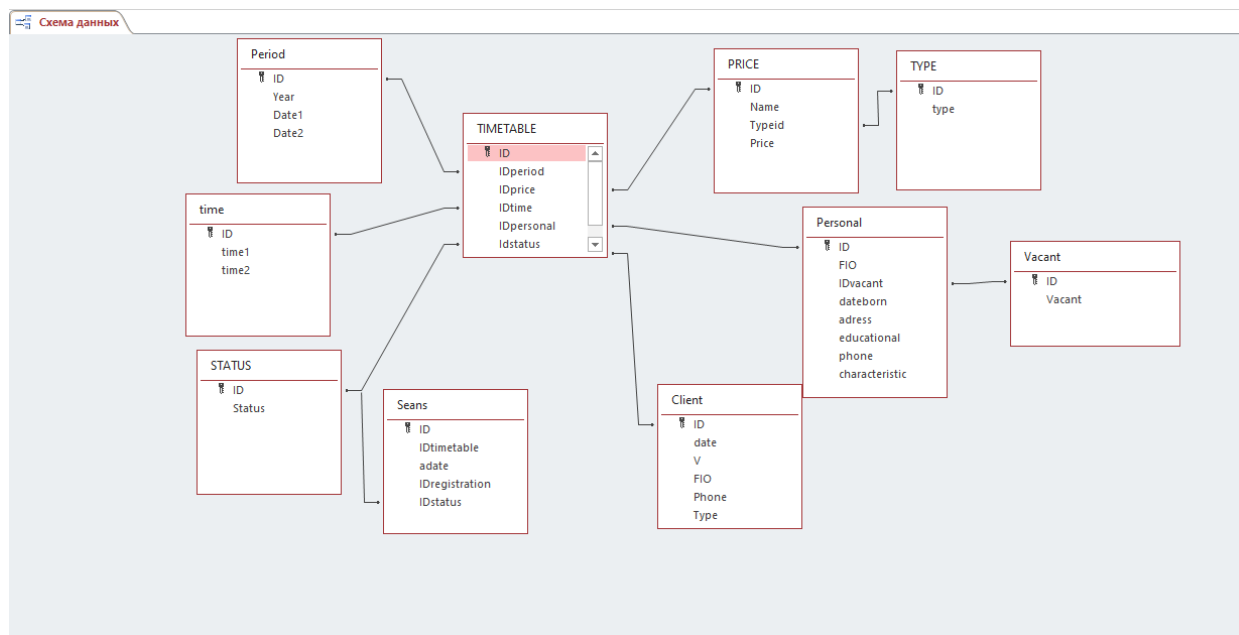


Рисунок 2 – Схема базы данных «SK»

### Проектирование CRM-системы

На основании логической схемы работы ИС будут созданы следующие формы и модули:

1. форма и модуль для просмотра, ввода и редактирования времени сотрудниками (рисунок 3);
2. форма и модуль для заполнения и редактирования справочников системы (рисунок 4);
3. личные карты клиентов центра (рисунок 5).

Расписание центра

Персонал	Кабинет	Понедельник	Вторник	Среда	Четверг	Пятница
Соколова Марина Валент...	21	09:00-11:00	09:00-11:00	09:00-11:00	09:00-11:00	13:00-18:00
Шведко Олеся Анатольевна	1	12:00-16:00	09:00-12:00	09:00-16:00	15:00-18:00	09:00-11:00
Попов олег Петрович	15	09:00-11:00	09:00-11:00	09:00-14:00	09:00-11:00	09:00-16:00
Захарова Ирина алексеев...	16	09:00-11:00	15:00-18:00	09:00-11:00	09:00-14:00	09:00-12:00
Хорошеев Андрей Виталь...	11	09:00-14:00	09:00-13:00	09:00-12:00	09:00-11:00	09:00-11:00
Новиков илья Григорьевич	18	09:00-11:00	09:00-13:00	09:00-11:00	15:00-18:00	10:00-11:00
*						

Buttons: Сохранить, Отмена

Рисунок 3 – Пример расписания сотрудников

Файл Справочники Расписание Запись Отчеты

0 для 0

Клиент: Иванов Иван Иванович

С 15 июня 2020 г. По 15 июня 2020 г.

Фильтр Очистить Сохранить Отмена

Номер талона	Специалист	Клиент	Дата записи	Время записи	Примечание
1	Соколова Марина Валентиновна	Иванов Иван Иванович	13.12.2018	10:00	
2	Шведко Олеся Анатольевна	Петров Петр Петрович	03.12.2018	12:00	
3	Соколова Марина Валентиновна	Соловьев Андрей Геннадьевич	13.12.2018	10:30	
4	Соколова Марина Валентиновна	Сидоров Семен Семенович	13.12.2018	10:30	
6	Попов олег Петрович	Радченко Ольга Львовна	12.12.2018	09:30	
7	Захарова Ирина алексеевна	Иванов Иван Иванович	14.12.2018	10:30	
8	Хорошеев Андрей Витальевич	Сидоров Семен Семенович	13.12.2018	10:30	
9	Новиков илья Григорьевич	Соловьев Андрей Геннадьевич	18.12.2018	12:30	
10	Попов олег Петрович	Петров Петр Петрович	19.12.2018	13:30	
11	Захарова Ирина алексеевна	Макаренко Вероника Сергеевна	19.12.2018	10:00	

ИТОГО ПРИЕМОВ: 2 ШТ.

Рисунок 4 – Главная форма ввода данных

Клиенты центра

1 для 6

Клиенты центра

Печать

ИД	ФИО	Дата рождения	Адрес прописки	Телефон	Работа	Ски
1	Иванов Иван Иванович	12.01.1977	ул. Кирова 6-52	8-915-524-56-55	ООО "Медлум"	5
2	Петров Петр Петрович	05.03.1962	ул. Филипова 15-26		ООО "Рем-Строй"	
3	Сидоров Семен Семенович	06.02.1958	ул. Пензина 15-5	8-925-526-25-71	ОАО "КФ"	
9	Макаренко Вероника Сергеевна	07.12.1975	ул. Филипова 9-15		ООО "Сибирский хлеб"	2
10	Соловьев Андрей Геннадьевич	11.06.1983	ул. Димитрова 8-19	8-905-126-33-45	ООО "Библиотека N4"	
11	Радченко Ольга Львовна	22.08.1986	ул. Бардина 11-152	8-904-152-63-55	ООО "НК-Инвест"	2

Сохранить Отмена

Рисунок 5 – Пример построения списка личных данных клиентов

**Заключение.** В процессе работы над данным проектом был реализован программный продукт, предназначенный на формирования расписания для обучающего центра. Данная разработка существенно позволяет сократить время, выделенное на составление расписания сотрудников, ведение записи клиентов на занятия и формирование отчетов.

### Библиографический список

1. Алекс Макки. Введение в .NET 4.0 и Visual Studio 2010 для профессионалов. Издательство: Вильямс, 2010.
2. Андрей Зиборов. «Visual C# 2010 на примерах». СПб.: БХВ-Петербург, 2011.
3. Герберт Шилдт. «C# 4.0 Полное руководство»
4. Кормен Томас. Структура данных.
5. Вирджиния Андерсен ВСЕ О РАБОТЕ С MICROSOFT OFFICE ACCESS 2007. Москва, АСТ.
6. Вейскас Д. Эффективная работа с Microsoft Access 2. С.- Петербург: «Питер Пресс», 2006.



7. Гэри Ханен, Джеймс Хансен. Базы данных: разработка и управление: Пер. с англ. – М.: ЗАО «Издательство БИНОМ», 2009.
8. Зиборов В.В. Visual C# на примерах. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011.
9. Либерти Д. Программирование на C#, 156-423с.
10. Пахомов Б. C/C++ и MS Visual C++ 2010 для начинающих. Издательство: БХВ-Петербург, 2011.
11. Понамарев В. Программирование на C++/C# в Visual Studio .NET 2003. Издательство: БХВ-Петербург, 2004.
12. Прайс Дж., Гандерлой М. Visual C#.Net Полное руководство. 2004.

## ЦЕННОСТЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

Бегинина А.Г.

*ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»  
г. Новокузнецк, Россия, dmitrieva\_1997@bk.ru*

***Аннотация.** В современном мире просто невозможно представить жизнь без информационных технологий несмотря на то, что в самом недалеком прошлом человек и понятия не имел о них. В нашу жизнь они вошли прочно, применяются информационные технологии во всех сферах жизни человечества, выполняя особо значимую двойственную роль. В данной статье рассмотрена ценность и плюсы использования информационных технологий в системах управления деятельностью предприятий. Динамика применения различных информационных систем в промышленных предприятиях и корпорациях.*

***Ключевые слова:** информационные технологии, система управления, информационная система, промышленные предприятия.*

***Abstract.** In the modern world, it is simply impossible to imagine life without information technologies, despite the fact that in the most recent past, a person had no idea about them. They have firmly entered our lives, information technologies are used in all spheres of human life, performing a particularly significant dual role. This article discusses the value and advantages of using information technology in enterprise management systems. The dynamics of the use of various information systems in industrial enterprises and corporations.*

***Keywords:** information technologies, control system, information system, industrial enterprises.*

Современные информационные технологии всё сильнее воздействуют на все сферы человеческой жизни, так как информационные потребности выросли, а информационные услуги совершенствуются все быстрее. Никакое предприятие не в силах благополучно продвигаться на рынке без получения актуальной информации. Новые реалии подразумевают новые критерии, предприятиям необходимы современные элементы управления. Наравне с финансовыми, материальными и человеческими ресурсами выделяется не менее значимый ресурс организации – высокоэффективное управление. Это значит, что для наилучшего развития деятельности предприятиям необходимо повышать уровень эффективности управленческой деятельности.

Самым популярным способом достижения данной цели в настоящее время является автоматизация трудового процесса. Но у данного явления есть свои сложности, которые обусловлены спецификой управленческого труда, отличительной особенностью которого является его сложность и многообразие [1]. Автоматизация управленческой деятельности изначально применялась только к некоторым вспомогательным операциям, так как управленческий труд, в первую очередь, это творческий и интеллектуальный процесс, который не поддается формализации. Но за счет того, что последнее десятилетие информационные компьютерные технологии активно развивались, появилось множество новых программных продуктов, а подходы к автоматизации управленческой деятельности изменились.

Современным специалистам, которые работают в областях экономики (экономисты, бухгалтеры, финансисты) необходимо обладать знаниями экономических законов,

владеть методами, которые позволяют эффективно управлять производством, проводить точный экономический анализ и заниматься менеджментом, контролем и аудитом [2]. После проведения реформы российской системы образования, специалистов начали обучать использованию в работе инновационных технологий еще во время обучения в университете [3].

Информационные технологии (ИТ) – это, в первую очередь, инструмент управления, предназначенный для улучшения координации и контроля над ходом бизнес-процессов при достижении целей. В современном мире, если предприятие не использует ИТ, то его деятельность не будет успешной. Информационная система управления призвана решать задачи стратегического и тактического планирования, оперативного управления, бухгалтерского и налогового учета.

Большинство учетных задач не требуют дополнительных затрат вторичной обработки данных оперативного управления. Использование оперативной информации, полученной за счет функционирования автоматизированной информационной системы, помогает руководителю решить многие проблемы, такие как сбалансированность материальных, финансовых и человеческих ресурсов предприятия, оценка результатов управленческих решений, совершенствование управления себестоимостью товаров и услуг и других.

### **Динамика применения различных информационных систем в промышленных предприятиях и корпорациях**

Первым этапом развития информационных систем управления на промышленных предприятиях, построенных на персональных компьютерах, стало внедрение автоматизированных рабочих мест (АРМ) [4], позволившее автоматизировать рутинные операции, связанные с выполнением расчетов [5]. Однако внедрение разнообразных АРМов выявило ряд негативных особенностей. В первую очередь, это отсутствие системности и, как результат, «лоскутная автоматизация», когда каждое подразделение компании создавало собственные АРМы на разных программных платформах. Это привело к большим сложностям при интеграции информационных систем внутри производственных компаний и корпораций. При этом руководству предоставлялись не согласованные между собой данные, полученные в разных подразделениях, на основе которых невозможно подготовить и принять верное управленческое решение. Также АРМы не были ориентированы на автоматизацию других функций, кроме учетных, в результате не обеспечивалась должная автоматизация труда менеджеров предприятия, включая высшее руководство [6].

Следующим этапом развития информационных систем на промышленных предприятиях стало объединение разрозненных АРМов и локальных вычислительных систем в единые автоматизированные системы управления предприятием (АСУ), что позволило перейти от автоматизации отдельных функций к решению задач комплексного планирования и распределения ресурсов на предприятии в соответствии с заключенными договорами поставки и потребностями рынка и др. [7].

В развитии информационных систем промышленных предприятий наиболее известны нижеприведенные классы систем:

1. MRP (Material Requirement Planning – планирование материальных потребностей). Система MRP была нацелена на обеспечение предприятия материалами, исходя из производственного плана. Недостатком системы MRP является отсутствие возможности подстроиться под внеплановые изменения размеров заказов и сроков выполнения. Зачастую использование таких систем сводилось к формированию плана и его отслеживанию;
2. в конце 1980-х годов система MRP была дополнена функциями контроля количества произведенной продукции, задержек заказов, объемов и динамики заказов и т. д. Вышеуказанные дополнения позволили реализовать обратную связь в системе, обеспечивающую гибкое планирование с учетом изменения внешних факторов, таких как уровень спроса, состояние дел у поставщика и т. п. (Closed Loop MRP). Однако концепция MRP не позволяла осуществлять планирование ресурсов кроме производ-

ственных и не поддерживала возможность планирования территориально-распределенных бизнес-процессов. Сформированный таким образом календарный план часто был нереальным, так как планирование осуществлялось из предположения, что количество ресурсов неограниченно;

3. для усовершенствования системы MRP был предложен новый стандарт, который получил название MRP II (Manufacturing Resource Planning – планирование производственных ресурсов). Несмотря на схожесть названий, стандарты MRP и MRP II существенно отличаются [7, 8]. Система MRP II реализует планирование всех ресурсов, необходимых для производства, а также финансовое планирование. Для этого она была дополнена такими модулями, как CRP (планирование мощностей), DRP (планирование распределенных ресурсов). MRP и MRP II по своей сути стали не стандартными компьютерными программами, а фактически методологиями управления предприятиями;
4. следующим шагом в эволюции информационных систем стало появление системы ERP (Enterprise Resource Planning – планирование ресурсов предприятия) [9]. ERP-приложения – это мощные продукты, которые включают помимо функций MRP II такие модули, как: автоматизация бухгалтерского учета, маркетинга, финансовых операций, управления маршрутами поставок, продажи готовой продукции и т. д. Тем не менее системы ERP, как и ранее системы MRP, хорошо справляются с функцией планирования, но не рассчитаны на быстрый учет изменений в окружающей предприятие среде. Обозначенный недостаток все более проявляется при возрастающей конкуренции, когда решающим фактором для выбора поставщика продукции оказывается соблюдение сроков и точности выполнения заказов. Вторым недостатком ERP-систем является отсутствие модулей аналитической обработки данных и моделирования процессов в реальном времени, т. е. средств поддержки принятия решений. Все эти недостатки усугубляются тем фактом, что данные сложные комплексы являются закрытыми коммерческими продуктами, что резко ограничивает возможности их расширения и интеграции с другими информационными системами;
5. необходимость устранения недостатков вышеперечисленных систем привела к созданию ряда иных информационных систем, которые предоставляет рынок в настоящее время:
  - ERP II – к ERP добавлена возможность использования мобильных приложений;
  - APS (Advanced Planning and Scheduling Systems) – улучшенный алгоритм планирования по сравнению с MRP;
  - MES (Manufacturing Execution Systems) – автоматизированные системы управления производством (АСУТП) [14];
  - CRM (Customer Relationship) – системы управления взаимоотношениями с клиентами;
  - SCM (Supply Chain Management) – системы управления логистическими цепочками;
  - OLAP (On-Line Analytical Processing) – аналитическая обработка многомерных данных и т. д. [10].

**Заключение.** Таким образом, развитие компьютерной техники подвело мир, в лице наиболее продвинутых стран, к задачам обеспечения резкого скачка в управлении технологическими объектами на базе новых информационных технологий. Можно сделать вывод, что в современных условиях предприятия постоянно расширяют свой ассортимент, а технологии производства постоянно совершенствуются. Все это приводит к быстрому росту объема данных. Следовательно, предприятию необходимы современные методы и формы управления для повышения продуктивности своей деятельности. Чтобы информационные технологии управления действовали наиболее эффективно, необходимо проводить соответствующие изменения всей системы управления, которые должны включать в

себя и совершенствование организационной структуры предприятия и внедрение процессного подхода к управлению.

В современных условиях рыночной экономики и в современных условиях функционирования отдельного предприятия внедрение информационных технологий – это один из наиболее важных инструментов повышения качества системы управления предприятием.

### Библиографический список

1. Сексенбаев, Курманбек. Информационные технологии в развитии современного информационного общества / Курманбек Сексенбаев, Б. К. Султанова, М. К. Кисина. – Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2015. – № 24 (104). – С. 191-194. – URL: <https://moluch.ru/archive/104/24209/> (дата обращения: 06.11.2022).
2. В 2-х т. / В.В. Гончаров. – М.: МНИИПУ, 2006. – 424 с.
3. Золотарюк А.В. Модели взаимодействия преподавателей и студентов при реализации различных форм учебной деятельности / А.В. Золотарюк, Т.Л. Фомичева, А.И. Кижнер // Известия Института инженерной физики. – 2014. – Т. 4. – №34. – С. 47–50.
4. Баронов, В.В. Автоматизация управления предприятием / В.В. Баронов. – М.: ИНФРА, 2013. – 239 с.
5. Управление промышленными предприятиями: стратегии, механизмы, системы: моногр. / О.В. Логиновский, А.А. Максимов, В.Н. Бурков и др. – М.: ИНФРА-М, 2018. – 410 с.
6. Логиновский, О.В. Корпоративное управление / О.В. Логиновский, А.А. Максимов. – М.: Машиностроение-1, 2007. – 624 с.
7. Логиновский, О.В. Управление промышленным предприятием / О.В. Логиновский, А.А. Максимов. – М.: Машиностроение-1, 2006. – 576 с.
8. Саак, А.Э. Информационные технологии управления / А.Э. Саак, Е.В. Пахомов, В.Н. Тюшняков. – СПб.: Питер, 2013. – 575 с.
9. Гаврилов, Д.А. Управление производством на базе стандарта MRP II / Д.А. Гаврилов. – СПб.: Питер, 2005. – 416 с.
10. Toomey, J.W. MRP II: Planning for Manufacturing Excellence / J.W. Toomey. – Berlin: SpringerScience&Business Media, 2013. – 243 p.

### ANALYTICAL SOLUTION OF ‘NONLINEARLY COUPLED ELECTROMECHANICAL MODEL EQUATIONS’ OF HUMAN CARDIOVASCULAR MUSCLE

**Bhattacharjee S.<sup>1</sup>, Chakraborty P.<sup>2</sup>, Roy M.<sup>4</sup>, Banerjee A.<sup>3</sup>, Pal M.<sup>4</sup>, Nikitenko M.S.<sup>5</sup>, Neogi B.<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>*ECE Dept, ABACUS Institute of Engg. & Mgmt*

<sup>2</sup>*ECE Dept, Adamas University*

<sup>4</sup>*Associate in Cognizant Technology Solutions*

<sup>3,5,7</sup> *ECE Dept, JIS College of Engineering*

<sup>6</sup>*Head of Laboratory, The Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the RAS*

*Magra, W.B, India s\_vlsi@yahoo.in , Barasat, W.B, India payelchakraborty@gmail.com , Kolkata, W.B, India , aishwarya.b1990@gmail.com , Kalyani, W.B, India mou-*

**Abstract.** The nature of human cardiovascular muscle can be realized with the help of very basic mechanical components (Mass, Spring etc.). Here in this research work, initially a linear model of cardiovascular muscle is developed using mass, spring and damper. But from the numerical simulation it is observed that, the proposed design shows some inherent nonlinearity due to which perfect solution of the dynamical equation is not possible. Therefore, we have studied the nonlinear structure towards the proposed design. The main focus aims toward the analytical solution of the coupled nonlinear equation which implies the proper activities of the human cardiovascular muscle which will be the key factor to understand the exact activities of the human cardiovascular muscle. The stability of the entire design is also analyzed with the help of simulation.

**Keywords:** cardiovascular muscle, electromechanical modeling, non-linearity, describing function, coupled equation.

### Nomenclature Section

In this section the entire abbreviations and notation used throughout the article is tabulated in the following table 1. The variables used in the equations are not included in this table.

Table 1 – Abbreviation of the used Notation in this article

<i>Notation</i>	<i>Meaning</i>
HCM	Human Cardiovascular Muscle
NLS	Non Linear System
DF	Describing Function
DOF	Degree of Freedom
LC	Limit Cycle
SFT	Sliding Filament Theory
w.r.t	With Respect To
CE	Coupled Equation
TF	Transfer Function
STM	Springless Translational Mechanical Model
DTM	Damperless Translational Mechanical Model
TMM	Translational Mechanical Model

### Introduction

The time versus length dependent behavior of the cardiovascular muscle can easily be described with the help of linear modeling. Previously published model uses the linear structure with huge number of real data. But to improve the understanding of the behavior of the cardiac muscle, nonlinear structure is very much essential [1]. Not only that, analytical solution of the coupled equation arising in this domain is also studied. This type of analysis always required describing the stated phenomenon. Experimentally it is found that, muscle fiber is highly anisotropic and it is having a particular direction called principal direction through which inherent forces within the cardiac muscle are moving on [2]. The entire previously designed model falls into two categories. The primary one is called Huxley model and the second model is very famous known as Hills model. ‘SFT’ is the heart of the Huxley model whereas isometric force development was designed by Hills model. In both the cases the exact solution of the modeled

equation is not given. However, both the models are able to predict the force development during the contraction of the cardiac muscle. But if we want to study the stiffness of the muscle, then it is mandatory to solve the coupled nonlinear equation which has been described step by step in this article.

### **Dynamics of Cardiovascular Muscle- A literature Review**

One of the major reasons of worldwide death is cardiovascular disease. Development of medical practices is increasing exponentially. With the advancement of medical practice, the development of the prosthetic component of human organ is also investigated. Regazzoni, F., et al. [3] developed a mathematical model which is describing the physical process involved with the human cardiac muscle. So many parameters are discussed in this article. For example, Stiffness of the muscle, Force velocity relationship etc. Neuromuscular activities are described by the researcher Bairagi, V.K., et al. [5] in which a slope based algorithm had been discussed in detail. Not only that the EMG data are collected from different muscle and then the entire data are grouped into set of window. To avoid the baseline noise, a threshold is decided. Finally, slope is being calculated for each window. Molero-Díez, Y. Bet. al. [5] describes the AMI classification in detail that enables the management of the diagnosis at the time of surgery. Now if we are looking for the history of the work related to the cardiovascular muscle modeling, Rosenberg's work [6] is the primary work which deals with the very simple linear type of modeling. After that so many modifications were done in the research article [7-10]. Various types of methods are described like normal form, introduction of multiple scales, time averaging, harmonic balancing etc. The dynamical analysis of nonlinearly coupled system is explained by the researcher Jézéquel, L. et al. [11]. Any type of system can be realized or divided into two categories - 'Continuous time system' and 'Discrete time system'. Nayfeh, A.H. et al. [12] explained the direct way for the modeling of discrete time nonlinear system which is very much effective for human skeletal muscle model design. Again linear dynamics of discrete systems that is connected with a non-linear system is described by Vakakis, A.F. et al. [13]. Anyway, the dynamical equation of the linear oscillator is very much similar to our proposed work. Stokers, J.J. [14] published a research work in 1957 related to the equations of water waves. After that in the year of 1992, he also published a very popular book named "The Mathematical Theory with Application" on Water waves. Then after 5 years means in 1997, a fantastic research work was presented by Ghosh, K.K. et al. [15], where some exact solution of nonlinear shallow water equations are derived step by step and our research work related to the cardiovascular muscle is following this type of typical solutions. Again the dynamics of a linear oscillator that is connected to a small non-linear hysteretic absorber was presented by the researchers Laxalde, D. et al. [16]. On the other hand, multi DOF conception of the electromechanical non-linearly coupled model was described by the researcher Setio, S. et al. [17]. Chong, Y. H. et al. [18] described the 'a special modal analysis technique' for analyzing a nonlinear system in which they were using the complete frequency domain technique. At the same time the concept of superposition theorem was also used. A structured dynamics for the mechanical system was presented beautifully by the researcher Kerschen, G. et al. [19]. On the other hand, Pesheck, E. et al. [20] described the normal mode of operation of the 'Galerkin-based approach' for the accurate result NLTI system. Polynomials in mathematics can easily be handled by using a popular method called 'Pade Approximation Method'. Using this method, how nonlinear structure can be analyzed was described by the researcher Cochelin, B. et al. [21]. Again, Arquier, R. et al. [22] demonstrated the tough process for the computation of nonlinear modes of vibrating systems with large amplitudes. However, a complete picture of implementing the practical computation by numerical continuation techniques for LTI/NLTI system was depicted at the reference [23]. Friction presents with in a system may vary from system to system. Pierre, C. et al. [24] described the multi-harmonic analysis of small frictional damped systems which is very much related to our research work. Similar type of work was also demonstrated by the researcher Cardona, A. et al. [25]. Nacivet, S. et al. [26] presented their research work in the domain of 'Lagrangian frequency-time method' to find the exact vibration present with in an almost frictionless-damped systems. In cardiovas-

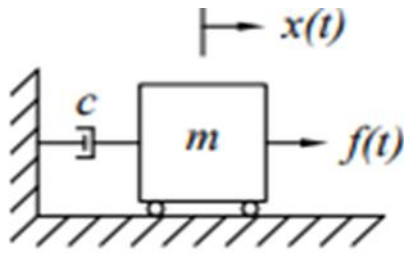
cular muscle, it is observed that the friction between two cardiac cells is dies down with the increment of age. Thus this paper is very much related to our proposed design. Same type of work was presented in the reference [27], where steady state response was calculated in both ‘time domain’ as well as in ‘frequency domain’.Griffin,J.H et.al.[28] investigated the entire research work on the output response of any mechanical system considering friction and damper. Same type of work for a particular mechanical system (Blades force response) was presented by Berthillier,M. et.al.[29].Again the analytical formulation of friction interface elements for the analysis of ‘nonlinear multi-harmonic vibrational system’ was investigated by the researcher Petrov,E.P. et.al. [30], where everything was described w.r.t the simulation result coming out form the proposed system in the research article. After this research work, numerous experimental work was tested via simulation to established the proper effects of the frictional force present within the system[31]. The vibrational effect due to ‘friction ring damper’ was studied by the researcher Laxalde,D et.al. [32]. A detail review of ‘Aero-elasticity methods’ for the electromechanical system was illustrated by Marshall,J.G et.al [33]. At the same time, the instabilities regarding the previous method were investigated by a researcher which is given here in the reference [34]. The influence of the solid friction in a mechanical vibrational system was studied by Dahl,P. R et.al. [36]. In this resear article sufficient and satisfactory mathematical explanation was presented. A beautiful method of ‘Non-linear modal identification’ from frequency response tests was explained by the researcher Setio,S. et al.[37] which will be very much beneficial for the future research work. On the other hand the collaboration between the mechanical system and signal processing was discussed in the reference [38]. An application of modeling of 2D friction contact by ‘harmonic balance technique’ was illustrated by Sanliturk,K.Y et.al[39] which is very close to our proposed design of HCM model. Anyway, we have eyed through so many research paper which is not given in this literature section. Finally it is observed that there are various types of model and corresponding dynamical equations of ‘HCM’ are given in different research article, but the exact solution of the dynamical equation are not solved. That is why we are interested to fulfill this technological gap by finding the analytical solution of the nonlinearly coupled equation of ‘HCM’.

#### **Novelty of This Work**

During the last decade, the internal structure of the human cardiovascular muscle has been studied under a variety of experimental condition. Different types of mathematical complex dynamical equation are framed for better understanding. The contractibility of the muscle has explained in detail in different research paper. Since the behavior is ultimately is nonlinear in nature, hence it very difficult to get exact solution of the differential equation. In this article, we propose the procedure of solving this type of nonlinear coupled equation in a very easier way. Not only that the simulation provided in this paper related to the complex equation will very much helpful for the better understanding of the activities of the cardiovascular muscle.

#### **Modeling of the Cardiovascular Muscle**

The step by step designing method of human cardiovascular system is depicted in this section. It is quite obvious that a cardiovascular system is having a mass. If we want to design a series connection of two cells of cardiac cell then a damper is needed to represent it. Again a spring is to be placed to represent the elasticity of the cardiovascular muscle. Initially, we developed a basic model that is termed as ‘STM’ Model and given in the picture 1.



Picture 1. – ‘STM’ Model.

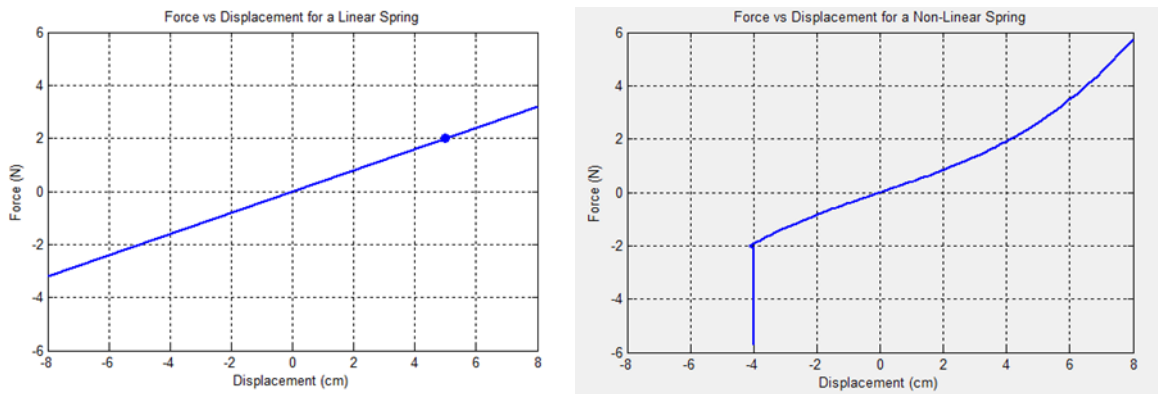
Dynamical equation of the above designed model is given in the equation (1), where ‘m’ represent the mass of the cardiac muscle, ‘c’ is denoting the coefficient of damper and inherently generated force is given by ‘f(t)’. This inherent force is trying to move the muscle in the forward direction while the damper is compelled to back it in its original position.

$$m\ddot{x} + c.\dot{x} = f(t). \tag{1}$$

Taking the Laplace transformation of the equation (1), the T.F is formed and given in the equation (2).

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{s(m.s+c)}. \tag{2}$$

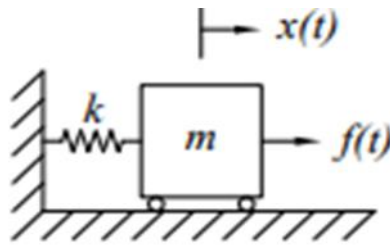
After developing the ‘STM’ Model, the ‘DTM Model’ of the cardiovascular muscle has been developed which is consist of mass and a linear/non-linear spring [40]. The nature of the spring may be linear or may not be a linear function. Both the characteristics are given in the following picture 2. The left half of the section is representing the linear characteristics while the right half of the section is representing the non-linear characteristics of the spring.



Picture 2 – Characteristics of ‘Linear’ and ‘Non-Linear’ spring

From the above picture 2 it is observed that in case of linear spring force versus displacement is following a linear type of equation while in case of a non-linear spring, force versus displacement is not following a linear type of equation rather a dead response is found. Anyway, the following picture 3 is describing the ‘DTM Model’ of the cardiovascular muscle. ‘k’ is denoting the spring constant.





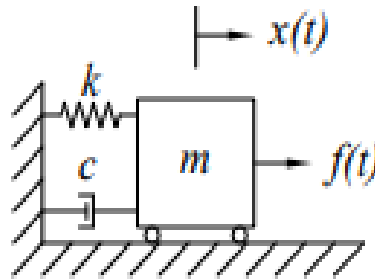
Picture 3 – The ‘DTM’ Model

For the above ‘DTM model’, the ‘T.F’ has been calculated and given in the equation (4).

$$m\ddot{x} + k.x = f(t) \quad (3)$$

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{(m.s^2+k)} \quad (4)$$

Now both the influence of ‘DTM model’ and ‘STM model’ has been included to get a complete mechanical design of the ‘HCM model’. The following picture 4 given below is representing the pictorial view of the ‘HCM model’



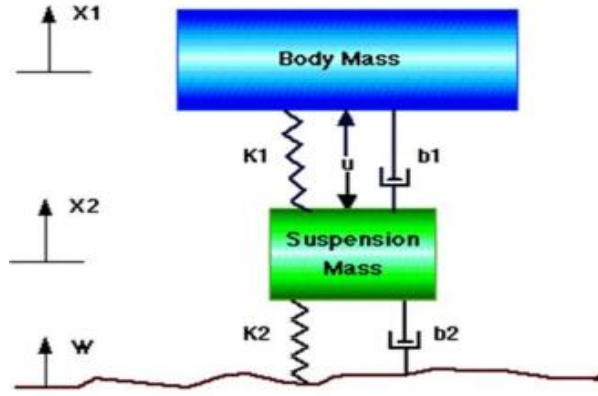
Picture 4 – The ‘HCM’ Model

In the above figure, the spring is considered as linear nature. The dynamical equation and ‘T.F’ of the above diagram is given below.

$$m\ddot{x} + c.\dot{x} + k.x = f(t) \quad (5)$$

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{(m.s^2+c.s+k)} \quad (6)$$

Cardiovascular muscle can be realized as chain combinations (series / parallel) of the above structure given in the Pic 4. Therefore the analysis of chain connection is very much essential to study the overall behavior of the proposed design [41]. Here the cardiac cell which is placed in initial condition is termed as body mass while the second cell followed by the first cell is termed as suspension mass. This type of series connection is shown in the picture 5.



Picture 5 – The series connection of ‘HCM’ Model

The dynamical equation using free body diagram for the above figure is constructed and corresponding transfer function is also developed which is given in the following equation (7) and (8). Here  $k_1, k_2$  represents the linear spring stiffness of the muscle and  $x_1, x_2$  represents the linear displacement of the muscle due to the inherent generated force. Similarly  $c_1, c_2$  is denoting the coefficient of the dampers. On the other hand  $m_1, m_2$  are representing the mass of the cardiac cells.

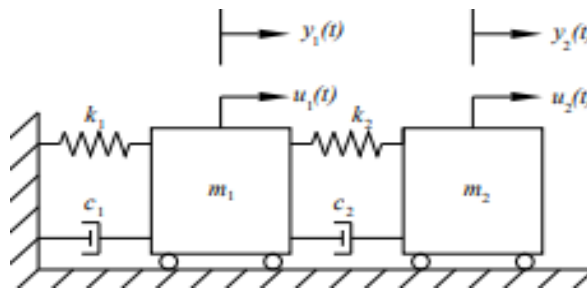
$$m_1 \ddot{x}_1(t) + b_1[\dot{x}_1(t) - \dot{x}_2(t)] + k[\dot{x}_1(t) - \dot{x}_2(t)] = 0 \quad (7)$$

$$m_2 \ddot{x}_2(t) + b_2[\dot{x}_2(t) - \dot{w}(t)] + k_2[x_2(t) - w(t)] + C_2 \dot{y}_2(t) - b_1[\dot{x}_1(t) - \dot{x}_2(t)] - k_1[\dot{x}_1(t) - \dot{x}_2(t)] = 0 \quad (8)$$

$$T_u(s) = \frac{X_1(s) - X_2(s)}{U(s)} = \frac{(m_1 + m_2).s^2 + b_2.s + k_2}{(m_1.s^2 + b_1.s + k_1) + [m_2.s^2 + (b_1 + b_2).s + (k_1 + k_2)] - (b_1.s + k_1)^2} \quad (9)$$

$$T_w(s) = \frac{X_1(s) - X_2(s)}{U(s)} = \frac{-b_1(b_2.s + k_2).s^2}{(m_1.s^2 + b_1.s + k_1) + [m_2.s^2 + (b_1 + b_2).s + (k_1 + k_2)] - (b_1.s + k_1)^2} \quad (10)$$

If the above mentioned concept is described in lateral direction, then a Two DOF system and Three DOF system can easily be realized using the following figures.

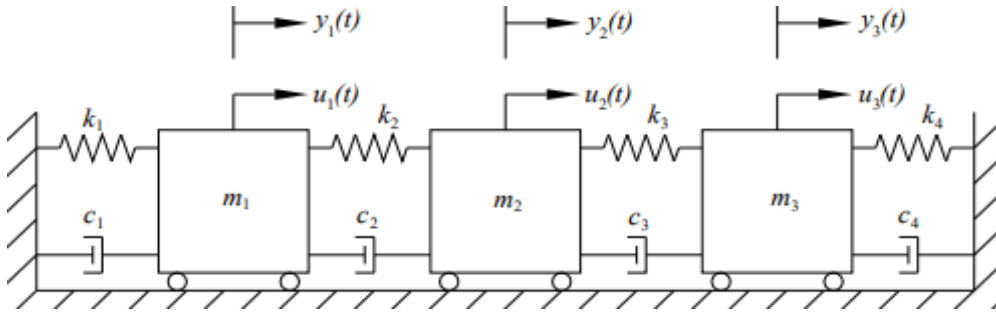


Picture 6 – Proposed design of HCM considering 2 DOF

In the above Pic 6, the HCM is designed considering 2 DOF whose dynamically coupled equation is given below in the equation number 11.

$$\begin{cases} m_1 \ddot{y}_1(t) + (c_1 + c_2)\dot{y}_1(t) + (k_1 + k_2)y_1(t) - c_2 \dot{y}_2(t) - k_2 y_2(t) = u_1(t) \\ m_2 \ddot{y}_2(t) + c_2 \dot{y}_2(t) + k_2 y_2(t) - c_2 \dot{y}_1(t) - k_2 y_1(t) = u_2(t) \end{cases} \quad (11)$$

The above equation is called a coupled equation which is the key factor for this article because we are going to solve these equations in the next section [42].



Picture 7 – Proposed design of HCM considering 3 DOF

Similar to the picture 6, the above picture 7 is describing the design of HCM is constructed considering 3 DOF, whose dynamically coupled equations are given below in the equation number (12).

$$\begin{cases} m_1 \ddot{y}_1(t) + (c_1 + c_2) \dot{y}_1(t) + (k_1 + k_2)y_1(t) - c_2 \dot{y}_2(t) - k_2 y_2(t) = u_1(t) \\ m_2 \ddot{y}_2(t) + (c_2 + c_3) \dot{y}_2(t) + (k_2 + k_3)y_2(t) - c_2 \dot{y}_1(t) - k_2 y_1(t) - c_3 \dot{y}_3(t) - k_3 y_3(t) = u_2(t) \\ m_3 \ddot{y}_3(t) + (c_3 + c_4) \dot{y}_3(t) + (k_3 + k_4)y_3(t) - c_3 \dot{y}_2(t) - k_3 y_2(t) = u_3(t) \end{cases} \quad (12)$$

Now in the next section we are going to find the exact solution which is very much beneficial for the future research work.

#### Analytical Solution of the Proposed Model Equation

In this section, the coupled equations of nonlinear cardiovascular muscle are solved analytically considering some special type of approximation. Classical nonlinear equations of the ‘HCM’ can be represented by the following equation (13).

$$\begin{cases} u_T + uu_a + 2cc_a = H_a \\ 2c_T + 2uc_a + cc_a = 0 \end{cases} \quad (13)$$

In the above equation,  $u, c$  are the velocities of fluid present with in the cardiac muscle, while  $H$  is the depth of the fluid. For simplicity, we assume that,  $u_a = 0$ . Let us consider that  $[u = a. \alpha(t) + \beta(t)]$  and considering this assumption, the following equation (14a) and (14b) are obtained from the second part of equation number (13).

$$(c^3)_a = (-\alpha_T - \alpha^2)\dot{a} + (-\beta - \alpha\beta + H_a) \quad (14a)$$

$$(c^2)_T = (-\alpha\alpha_T - \alpha^3)a^2 + (\alpha_T\beta - \alpha\beta_T + 2\alpha^2\beta - H_a)a + (\beta\beta_T - \alpha\beta^2 - \beta H_a - c^2) \quad (14b)$$

In the above set of equations,  $\alpha_T = \frac{d\alpha}{dT}$ ,  $\beta_T = \frac{d\beta}{dT}$ .

Now differentiating the equations 14(a) and 14(b) w.r.t  $t'$  and  $a'$ , the following equation (15) is obtained.

$$\begin{cases} (\alpha_{TT} - 5\alpha\alpha_T + 3\alpha^3) - \alpha a H_{aa} + (2\alpha_T\beta - 3\alpha\beta_T + 3\alpha^2\beta - \beta_{TT}) - 2\alpha H_a - \beta H_{aa} = 0 \\ (\alpha_{TT} - 5\alpha\alpha_T + 3\alpha^3) - \alpha a H_{aa} + (2\alpha_T\beta - 3\alpha\beta_T + 3\alpha^2\beta - \beta_{TT}) - 2\alpha H_a - \beta H_{aa} = 0 \end{cases} \quad (15)$$

Again we are taking the differentiation of equation (15) w.r.t  $a'$ , equation (16) has been obtained.

$$(\alpha_{TT} - 5\alpha\alpha_T + 3\alpha^3) - \alpha a H_{aa} + (2\alpha_T\beta - 3\alpha\beta_T + 3\alpha^2\beta - \beta_{TT}) - 2\alpha H_a - \beta H_{aa} = 0 \quad (16)$$

$$(\alpha_{TT} - 5\alpha\alpha_T + 3\alpha^3) - 3\alpha H_{aa} - \alpha a H_{aaa} - \beta H_{aaa} = 0. \quad (17)$$

Now we are considering different situation which must be considered for the solution of non-linearly coupled equations.

**Case 1:** Let us consider,  $\alpha \neq 0, \beta \neq 0$ . Considering this situation, the equation (17) can be rearranged as follows.

$$\frac{1}{\alpha}(\alpha_{TT} - 5\alpha\alpha_T + 3\alpha^3) - (3H_{aa} + aH_{aaa}) - \frac{\beta}{\alpha}H_{aaa} = 0. \quad (18)$$

Now differentiating the above equation (18) again and again the equation (19) has been obtained.

$$\left(\frac{\beta}{\alpha}\right)_T H_{aaa} = 0. \quad (19)$$

**Case 2:** If  $\left(\frac{\beta}{\alpha}\right)$  is going to be a constant quantity, then it is quite obvious that  $H_{aaa}$  is also a constant quantity. Thus  $\left[\left(\frac{\beta}{\alpha}\right)_t\right]$  can be excluded from the present cases and the following equation (20) can be obtained.

$$H_a = la^2 + ma + n \quad (20)$$

In the above equation  $(l, m, n)$  are taken as constants.

Combining equations (18) and (20), we are getting the following equation.

$$4l\alpha a^2 - (\alpha_{TT} + 5\alpha\alpha_T + 3\alpha^3 - 3m\alpha - 2l\beta)a - (\beta_{TT} + 2\alpha_T\beta + 3\alpha\beta_T + 3\alpha^2\beta - 2n\alpha - m\beta) = 0 \quad (21)$$

As 't' and 'a' are the independent variable, the conclusion can be made as follows.

$$\begin{cases} l = 0 \\ \alpha_{TT} + 5\alpha\alpha_T + 3\alpha^3 - 3m\alpha = 0 \\ (\beta_{TT} + 2\alpha_T\beta + 3\alpha\beta_T + 3\alpha^2\beta - 2n\alpha - m\beta) = 0 \end{cases}. \quad (22)$$

Consequently we may write the following equation (23)

$$H_a = ma + n. \quad (23)$$

Now we are going to solve the first equation of (13). Considering  $H_a$  is linear, equation (24) is obtained.

$$(2\alpha_T + 3\alpha^2 - 3m)^3 = k(\alpha_T + \alpha^2 - m)^2. \quad (24)$$

In the above equation, 'k' is representing a constant. Now integrating the equation(24), we get equation (25).

$$l_T \cdot \int \left[ -(\alpha^2 - m) + \left\{ (\alpha^2 - m)^{-\frac{1}{3}} \left( -1 + \sqrt{1 - \frac{k}{27(\alpha^2 - m)}} \right)^{1/3} + \frac{\left\{ \frac{k^{\frac{1}{3}}}{3(\alpha^2 - m)} \right\}}{(\alpha^2 - m)^{-\frac{1}{3}} \left( -1 + \sqrt{1 - \frac{k}{27(\alpha^2 - m)}} \right)^{1/3}} \right\}^{-3} \right]^{-1} d\alpha = T + \quad (25)$$

If we consider,  $[k < 27(\alpha^2 - m)]$  then the following sets of equations are obtained.

$$\left\{ \begin{array}{l} \int \left[ -(\alpha^2 - m) + \left\{ 2 \sqrt{\frac{k^{\frac{1}{3}}}{3(\alpha^2 - m)}} \cos\left(\frac{\emptyset}{3}\right) \right\}^{-3} \right]^{-1} d\alpha = T + C_1 \\ \int \left[ -(\alpha^2 - m) + \left\{ -2 \sqrt{\frac{k^{\frac{1}{3}}}{3(\alpha^2 - m)}} \cos\left(\frac{\pi + \emptyset}{3}\right) \right\}^{-3} \right]^{-1} d\alpha = T + C_2 \\ \int \left[ -(\alpha^2 - m) + \left\{ -2 \sqrt{\frac{k^{\frac{1}{3}}}{3(\alpha^2 - m)}} \cos\left(\frac{\pi - \emptyset}{3}\right) \right\}^{-3} \right]^{-1} d\alpha = T + C_3 \end{array} \right. \quad (26)$$

Similar to the above, if we consider  $[k < 27(\alpha^2 - m)]$  and  $\tan \emptyset = -\sqrt{\frac{k - 27(\alpha^2 - m)}{27(\alpha^2 - m)}}$ ,

With considering  $(l_T, C_1, C_2, C_3)$  are constant of integration, the following equation is obtained.

$$\beta = \alpha \left[ \int \exp(-3 \int \alpha dt) \{ 2n \int \alpha^2 \exp(3 \int \alpha dt) dt - 2m \int \alpha \beta \exp(3 \int \alpha dt) dt + k' \} dt + k'' \right] \quad (27)$$

Where  $k'$  and  $k''$  are constant. Anyway, using [ (14b) last equation of (22) and (23)], the equation 14(b) is integrated. The result of the integration is given in the equation (28).

$$c^2 = \left( \frac{m}{2} - \frac{\alpha_T}{2} - \frac{\alpha^2}{2} \right) \alpha^2 + (n - \beta_T - \alpha\beta)a + \exp(-\int \alpha dt). \quad (28)$$

$$[(\beta\beta_T + \alpha\beta^2 - n\beta) \exp(\int \alpha dt) dt + k^*]$$

In the above equation (28),  $k^*$  is constant.

**Case 3:** If  $\alpha$  is not equal to 0 and  $\beta$  is equal to 0, then we are getting the following equation (29).

$$\frac{1}{\alpha} (\alpha_{TT} + 5\alpha\alpha_T + 3\alpha^3) - \frac{1}{\alpha} (aH_{aa} + 2H_a) = 0. \quad (29)$$

Since  $\alpha$  is only the function of  $t$  only, the equation (30) has been obtained and given below.

$$\begin{cases} \alpha_{TT} + 5\alpha\alpha_T + 3\alpha^3 - P.\alpha = 0 \\ aH_{aa} + 2H_a - P.a = 0 \end{cases} \quad (30)$$

In the above equation 'p' is a constant. Now integrating the first equation of equation (30),the equation (31) has been obtained.

$$(2\alpha_T + 3\alpha^2 - P)^3 = k_T(3\alpha_T + 3\alpha^2 - P)^2. \quad (31)$$

This above equation has further been integrated to get the following solution.

$$\int \left[ -\left(\alpha^2 - \frac{P}{3}\right) + \left\{ \left(\alpha^2 - \frac{P}{3}\right)^{-\frac{1}{3}} \left(-1 + \sqrt{1 - \frac{k_T}{3\left(\alpha^2 - \frac{P}{3}\right)}}\right)^{1/3} + \frac{\left\{ (9k_T)^{\frac{1}{3}}/3\left(\alpha^2 - \frac{P}{3}\right) \right\}}{\left(\alpha^2 - \frac{P}{3}\right)^{\frac{1}{3}} \left(-1 + \sqrt{1 - \frac{k_T}{3\left(\alpha^2 - \frac{P}{3}\right)}}\right)^{1/3}} \right]^{-3} d\alpha = T + l_T \quad (32)$$

If we consider  $[k_T < 3\left(\alpha^2 - \frac{P}{3}\right)]$ , then the following equations are obtained.

$$\begin{cases} \int \left[ -\left(\alpha^2 - \frac{P}{3}\right) + \left\{ 2\sqrt{\frac{(9k_T)^{\frac{1}{3}}}{3\left(\alpha^2 - \frac{P}{3}\right)}} \cos\left(\frac{\varphi}{3}\right) \right\} \right]^{-3} d\alpha = T + C_1 \\ \int \left[ -\left(\alpha^2 - \frac{P}{3}\right) + \left\{ -2\sqrt{\frac{(9k_T)^{\frac{1}{3}}}{3\left(\alpha^2 - \frac{P}{3}\right)}} \cos\left(\frac{\pi+\varphi}{3}\right) \right\} \right]^{-3} d\alpha = T + C_2 \\ \int \left[ -\left(\alpha^2 - \frac{P}{3}\right) + \left\{ -2\sqrt{\frac{(9k_T)^{\frac{1}{3}}}{3\left(\alpha^2 - \frac{P}{3}\right)}} \cos\left(\frac{\pi-\varphi}{3}\right) \right\} \right]^{-3} d\alpha = T + C_3 \end{cases} \quad (33)$$

Similarly, if we consider  $k_T < 3\left(\alpha^2 - \frac{P}{3}\right)$  and  $\tan \varphi = -\sqrt{\frac{k_T - 3\left(\alpha^2 - \frac{P}{3}\right)}{3\left(\alpha^2 - \frac{P}{3}\right)}}$ , where  $(l_T, C_1, C_2, C_3)$  are constant, then the following equation is found which is the ultimate solution of 'case 3'.

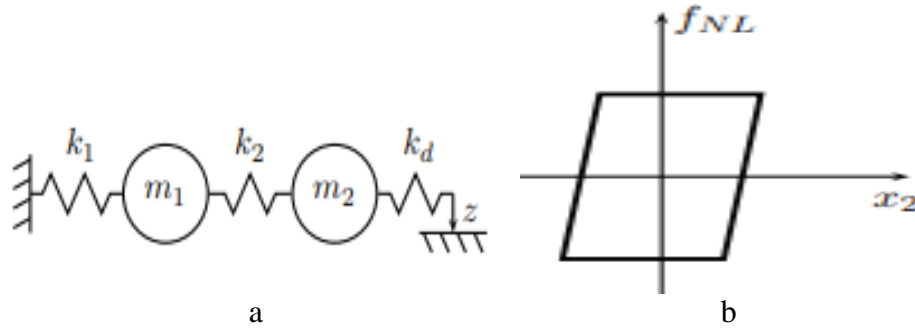
$$c^2 = \left(\frac{P}{6} - \frac{\alpha_T}{2} - \frac{\alpha^2}{2}\right) a^2 + Qa^{-1} + k_2 \exp(-\int \alpha dt) \quad (34)$$

In the above equation, 'k<sub>2</sub>' is a constant. However, from the above study, we can conclude that there are three types of solution is possible for the NLTI muscle dynamics of human cardiovascular system. The most interesting side of these solutions is that all nonlinear solution is also valid for the linear form of H<sub>a</sub>. From the above mathematical equations, it has also observed that there is unique solution of the coupled equation comes when  $[k < 27(\alpha^2 - m)]$  and

there are two types of distinct solution comes when  $[k > 27(\alpha^2 - m)]$  under some particular assumption. We hope that this type of solution may be applicable for finding the exact result in case of skeletal muscle also.

### Nonlinear Analysis of the Proposed Model

Vibrations of any mechanical system can perfectly be realized by nonlinear mode of operation. Numerical method using describing function has been used in this research article to find the non-linearity of the above proposed system. Basically eigen values are written in term of fourier series to find the cause of non-linearity present within the proposed model. Not only that, these eigen problems related to our model are also been formulated in a easiest way. A 2 DOF example of cardiovascular muscle is being framed in this above stated model. The effect of friction is playing with in the cardiac muscle has also been investigated in this analysis. The entire analysis is also applicable for the non-conservative and autonomous system. This can also be regretted as a generalized of harmonic balance method. Complex non-linear mode of analysis can be understood by observing the ‘difference in phase’ between its ‘DOF’. In this article we consider the second order system for simplicity; hence the motion of the proposed system is bounded or restricted into two dimensional spaces only. Comparing the proposed structure with the analogy of the complex nonlinear domain we may write  $(\Omega = a + j b)$ . Here,  $b = b_0(\sqrt{1 - \delta^2})$ . ‘ $b_0$ ’ represents the natural frequency and ‘ $\delta$ ’ represents the damping factor. Our proposed design related to the cardiac muscle having 2 -DOF (considering friction) and its non-linear characteristics is given by the following pictures 8a and 8b.



Picture 8. a – Oscillatory system model of HCM; b – Hysteresis cycle for HCM; Pic. 8. a - Oscillatory system model of HCM; b - Hysteresis cycle for HCM

The above pictures 8a and 8b is representing the oscillatory system model of HCM and its corresponding hysteresis cycle.  $(k_1, k_2, k_d)$  are representing the spring constant while  $x_1, x_2$  are the state variable.  $f_{NL}$  is denoting the nonlinear friction [43]. The dynamical equations are given below.

$$m_1 \ddot{x}_1 + k_1 x_1 + k_2 (x_2 - x_1) = 0 \quad (35)$$

$$m_2 \ddot{x}_2 + k_2 (x_2 - x_1) + f_{NL}(x_2, z) = 0. \quad (36)$$

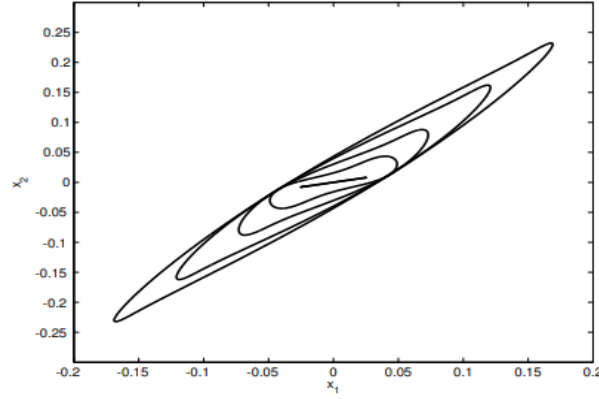
The nonlinear restoring force is realized by the following equation (37).

$$f_{NL} = k_d (x_2 - z). \quad (37)$$

Where ‘ $z$ ’ is representing the positional variation of the contact point which is given in the picture 8a. Hence we are introducing an additional differential equation (38) which is very essential in order to restrict the columbic force ( $‘\mu \cdot N’$ ).

$$\dot{z} = \begin{cases} 0, & \text{while } |f_{NL}| < \mu \cdot N \\ \dot{x}_2 & \text{if } |f_{NL}| = \mu \cdot N \end{cases} \quad (38)$$

Before going to the methodology, or further analysis of the nonlinear model, the trajectory of the proposed model is observed and given in the picture 9.



Picture 9 – Trajectory of the complex nonlinear mode

From the above picture 9, it is observed that, the trajectory is no longer a line or curve; rather it is elliptical in nature. Both the ‘x axis’ and ‘y axis’ are denoting the state variable of the nonlinear system and represented by  $x_1$  and  $x_2$ . In the beginning it looks like a linear due to the sticking contact, but finally it goes to nonlinear mode. Actually the nonlinearity comes when the energy level increases. On the other hand the phase difference comes due to the 2 DOF type structure. Due to the non-conservative effect, the Eigen-solutions are expected as given below in the following equations.

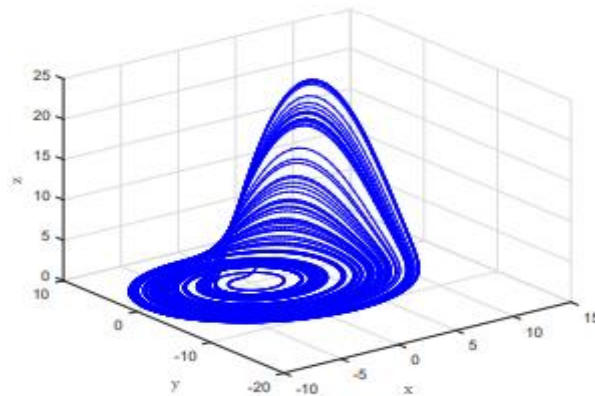
$$x(t) \sim \sum_{p=0}^{\alpha} x_{p,n} e^{-p\eta + j\eta t} \quad (39)$$

$$(g, h) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} d\zeta \int_0^{\alpha} g(\eta, \zeta) d\eta \quad (40)$$

The difference between double scales of the parameters  $\eta$  and  $\zeta$  and independency between them enables each harmonic oscillation which naturally occurs for its own slow rates.

### Simulation Results and Discussion

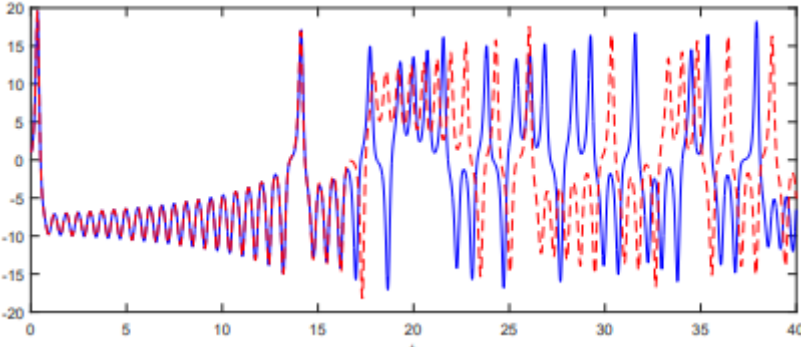
In this section, we are going to represent the nonlinear simulation of the above proposed design using the software MATLAB 17.0.



Picture10 – Phase Portrait of the HCM considering 2 DOF

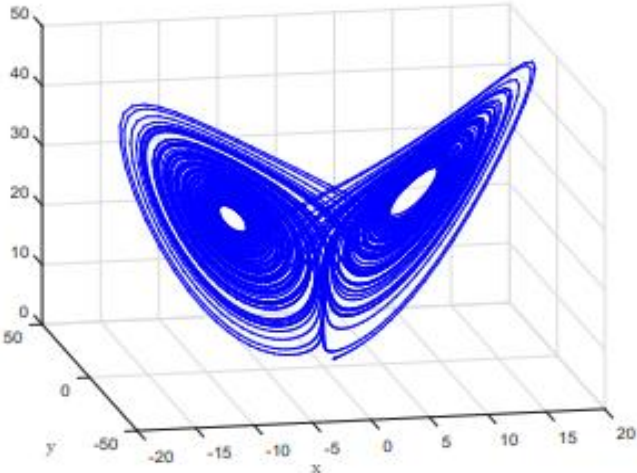


The above picture 10 is describing the Phase Portrait of the ‘HCM considering 2 DOF’. All axes ( $x, y, z$ ) of the figures are representing the state variables. Actually the dynamical equation is converted into the state variable forms. After that, the simulation is done with proper coding. Anyway, from the above figure it can be concluded that for  $\alpha < 0$  and  $\beta < 0$  no solution exists which implies there exist no stable parametric value of the entire design. There is a unique solution for  $\alpha \neq 0, \beta \neq 0$ . Again for  $\alpha$  is not equal to 0 and  $\beta$  is equal to 0 there are two solutions depending on the situation. One is  $[k < 27(\alpha^2 - m)]$  and other is  $[k > 27(\alpha^2 - m)]$ . In all three cases the simulation shows a fixed point, limit cycle which implies that there are some parametric values for which the entire nonlinear design is asymptotically stable.



Picture 11 – Diverging state for the non-linear proposed system

The above picture11 is representing the simulation based proof of the condition,  $\alpha < 0$  and  $\beta < 0$ . We have already discussed that there will be no exact solution for the above condition. This numerical simulation shows the instability as the output of the proposed nonlinear system is not converging in nature, rather is diverges w.r.t time. The x axis of the figure denotes the time while the y axis represents the amplitude of the output response. Now we are going to simulate the 3 DOF system and the result is given in the picture 12.



Picture 12 – Phase Portrait of the HCM considering 3 DOF

Similar to the picture 10, picture 12 is representing the Phase Portrait of the ‘HCM’ considering 3 DOF. Again three conditions are considered under some particular assumption. All the axes of the figure are representing the state variable corresponding to the equation number (12). The state model is not given in the article. However, the simulation result shows a chaotic behavior which is expected as the entire design is based on the complex nonlinear mode. For a particular situation,  $\alpha$  is not equal to 0 and  $\beta$  is equal to 0 there are two solutions depending

on the situation which we have already been discussed. One is  $[k < 27(\alpha^2 - m)]$  and other is  $[k > 27(\alpha^2 - m)]$ . For these conditions, the 3 DOF system also shows a stable limit cycle which implies that there are some parametric values for which the proposed nonlinear design is stable in nature.

### Conclusion

In this paper a nonlinear model of cardiovascular muscle is proposed in which the analytical solutions of the nonlinearly coupled homogeneous equations are solved. Three types of solution are found under some particular assumption which is the key factor of this research work. There is no solution for a particular case while there are three types of solutions are obtained under some particular assumption. Considering these condition the satisfactory simulation results are also provided in this research article. As the entire design is based on the complex nonlinear mode, a frequency domain formulation is also given in this paper which is another aspect of this research work. A treatment towards the non-conservative nonlinearity is also depicted in this article. The Oscillatory system model of HCM addresses in this work mainly deals with the friction playing within the cardiovascular muscle.

### References

1. Mei,X.,Cheng,Ke.,(2020).“Recent Development in Therapeutic Cardiac Patches”Published in *Frontiers in Cardiovascular Medicine*. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2020.610364>
2. Wang, Lu.,Serpooshan,V., Zhang, J. (2021) “Engineering Human Cardiac Muscle Patch Constructs for Prevention of Post Infection LV Remodeling”Published in *Frontiers in Cardiovascular Medicine*. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2021.621781>
3. Regazzoni,F., Dede,L., Quarteroni,A., (2021)“Active Force Generation in Cardiac Muscle Cells: Mathematical Modeling and Numerical Simulation of the Actin-Myosin Interaction” Published in *Vietnam journal of Mathematics*. Vol- 49.,pp- 87-118
4. Bairagi;V.K.,Kanwade,A.K.,(2021)“Novel slope-based onset detection algorithm for electromyographical signals”, Published in *International Journal of Biomedical Engineering and Technologies*,Vol -36, No -4, DOI: 10.1504/IJBET.2021.116992.
5. Molero-Díez, Y.B., -Taberneró,S,Á., Ruiz-Simón FA, Sanchis-Dux R. (2019) “Fourth universal definition of myocardial infarction: perioperative anesthetic considerations”. Published in *Colombian Journal of Anesthesiol.* 47:175–7. doi: 10.1097/CJ9.000000000000120
6. Rosenberg,R. M.,(1962) “The normal modes of nonlinear n-degrees-of-freedom systems”, Published in the *Journal of applied Mechanics* Vol-30,pp 595–611.
7. Rand,R., (1974) “A direct method for nonlinear normal modes”, Published in *International journal of Non-linear Mechanics*” Vol- 9. pp 363–368. doi:10.1016/0020-7462(74)90021-3.
8. Szemplinska-Stupnicka,W., (1983) "Non-linear normal modes and the generalized Ritz method in the problems of vibrations of non-linear elastic continuous systems”, Published in *International Journal of Non-Linear Mechanics* 18 (2) 149–165. doi:10.1016/0020-7462(83)90042-2.
9. Shaw,S. W., Pierre,C. (1993). “ Normal modes for non-linear vibratory systems, *Journal of Sound and Vibration*”Vol- 164 pp 85–124. doi:10.1006/jsvi.1993.1198.
10. Vakakis,A.F.,Manevitch,L.I., Mikhlin,Y.V., Pilichuk,V.N., Zevin,A. A., ( 1996). “ Normal Modes and Localization in Nonlinear Systems”, *Wiley series in nonlinear science*.
11. Jézéquel,L. ,Lamarque,C.H. ,(1991) “Analysis of non-linear dynamical systems by the normal form theory”, *Journal of Sound and Vibration* 149 (3) 429–459. doi:10.1016/0022-460X(91)90446-Q.
12. Nayfeh,A.H.,(1995) “ On direct methods for constructing nonlinear normal modes of continuous systems”, *Journal of Vibration and Control* 1 (4) 389–430. doi:10.1177/107754639500100402.

13. Vakakis,A.F., Manevitch,L.I., Gendelman,O., Bergman,L., (2003) “Dynamics of linear discrete systems connected to local, essentially non-linear attachments”, *Journal of Sound and Vibration* 264 559–577. doi:10.1016/S0022-460X(02)01207-5.
14. Stokers,J.J., (1957). “Water Waves” Published in Interscience, New York.
15. Ghosh,K.K., Debnath,L., (1997). “Some Exact Solutions of Non-Linear Shallow Water Equations”, Published in *International Journal of Non-Linear Mechanics*, Vol -32, No.- 3, pp. 633-636.
16. Laxalde,D., Thouverez,F., Sinou,J.J (2006) “Dynamics of a linear oscillator connected to a small strongly non-linear hysteretic absorber”, *International Journal of Non-Linear Mechanics* 41 (8) 969–978. doi:10.1016/j.ijnonlinmec.2006.09.002.
17. Setio,S.,Setio,H.,Jézéquel,L. (1992).“Modal analysis of nonlinear multi-degree-of-freedom structure”Published in the *International Journal of Analytical and Experimental Modal Analysis* 7 (2),pp- 75–94.
18. Chong,Y.H.,Imregun,M., (2001).“Development and application of a nonlinear modal analysis technique for modal systems”, Published in the *Journal of Vibration and Control* 7 (2) 167–179. doi:10.1177/107754630100700202.
19. Kerschen,G., Peeters,M.,Golinval,J.C.,Vakakis,A.F., (2008). “Nonlinear normal modes, part I: A useful framework for the structural dynamics”, Published in the *Journal of Mechanical Systems and Signal Processing*. doi:10.1016/j.ymsp.2008.04.002.
20. Pesheck,E., Pierre,C., Shaw,S.W., (2002). “A new galerkin-based approach for accurate non-linear normal modes through invariant manifolds”, Published in the *Journal of Sound and Vibration* 249 (5) (2002) 971–993. doi:10.1006/jsvi.2001.3914.
21. Cochelin,B., Damil,N.,Potier-Ferry,M. (1994). “Asymptotic-numerical methods and pade approximants for non-linear elastic structures”, Published in *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, Vol- 37 (7) pp- 1187–1213. doi:10.1002/nme.1620370706.
22. Arquier,R., Bellizzi,S. ,Bouc,R. ,Cochelin,B. (2006).“Two methods for the computation of nonlinear modes of vibrating systems at large amplitudes”, Published in *International Journal for Computers & Structures* 84 (24-25) pp- 1565–1576. doi:10.1016/j.compstruc.2006.01.011.
23. Peeters,M., Vigiúé,R., Sérandour,G., Kerschen,G., Golinval,J.C. (2008).“Nonlinear normal modes, part II: Toward a practical computation using numerical continuation techniques”, Published in *International Journal for Mechanical Systems and Signal Processing*. doi:10.1016/j.ymsp.2008.04.003.
24. Pierre,C.,Ferri,A.A,Dowell,E.H. (1985). “Multi-harmonic analysis of dry friction damped systems using an incremental harmonic balance method”, Published in the *Journal of Applied Mechanics* Vol- 52 PP- 958–964.
25. Cardona,A., Coune,T., Lerusse,A., Géradin,M. ,(1994).“A multi-harmonic method for non-linear vibration analysis”, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, Vol - 37 (9) pp- 1593–1608. doi:10.1002/nme.1620370911.
26. Nacivet,S., Pierre,C. ,Thouverez,F. ,Jézéquel,L. (2003). “A dynamic lagrangian frequency-time method for the vibration of dry-friction-damped systems”, *Journal of Sound and Vibration* Vol- 265,pp-201–219. doi:10.1016/S0022-460X(02)01447-5.
27. Cameron,T.M.,Griffin,J.H., (1989). “An alternating frequency/time domain method for calculating the steady-state response of nonlinear dynamic systems”, *Journal of Applied Mechanics* Vol-56 ,pp- 149–154.
28. Griffin,J.H., (1990) “A review of friction damping of turbine blade vibration”, Published in *International Journal of Turbo and Jet Engines*, Vol- 7 pp-297–307.
29. Berthillier,M., Dupont,C. , Mondal,R., Barrau,J.J. (1998).“Blades forced response analysis with friction dampers”, *Journal of Vibration and Acoustics* Vol-120,pp- 468–474.

30. Petrov,E.P., (2003).“Analytical formulation of friction interface elements for analysis of nonlinear multi-harmonic vibrations of bladed disks”, Published in the Journal of Turbomachinery 125 (2)pp- 364. doi:10.1115/1.1539868.
31. Charleux,D., Gibert,C., Thouverez,F.,Dupeux,J. (2004). “Numerical and experimental study of friction damping in blade attachments of rotating bladed disks”, Published in International Journal of Rotating MachineryArticle ID 71302, 13 pages.
32. Laxalde,D., Thouverez,F., Lombard,J.P., (2007) “Vibration control for integrally bladed disks using friction ring dampers”, Published in: Proceedings of ASME Turbo Expo, no. GT2007-27087, Montréal, Canada.
33. Marshall,J.G ,Imregun,M., (1996). “A review of aeroelasticity methods with emphasis on turbomachinery applications”, Journal of Fluids and Structures Vol -10,pp-237–267.
34. Kielb,R.E., Barter,J.W., Thomas,J.P. Hall,K.C., (2003). “Blade excitation by aerodynamic instabilities – a compressor blade study”, Published in: Proceedings of ASME Turbo Expo, Atlanta, Georgia, USA.
35. Dahl,P. R. (1976). “Solid friction damping of mechanical vibrations”, AIAA Journal 14 (12) pp-1675–1682.
36. Setio,S., Setio,H.D. ,Jézéquel,L., (1992). “A method of non-linear modal identification from frequency response tests”, Journal of Sound and Vibration 158 (3) 497–515.doi:10.1016/0022-460X(92)90421-S.
37. Gibert,C., (2003),“Fitting measured frequency response using non-linear modes, Mechanical systems and signal processing” Vol- 17 (1), pp-211–218.
38. Petrov,E.P., Ewins,D.J., (2006).“Effects of damping and varying contact area at blade-disk joints in forced response analysis of bladed disk assemblies”, Journal of Turbomachinery 128 (2) 403–410. doi:10.1115/1.2181998.
39. Sanliturk,K.Y., Ewins,D.J., (1996). “Modelling two-dimensional friction contact and its application using harmonic balance method”, Journal of Sound and Vibration Vol-193 (2) pp- 511–523. doi:10.1006/jsvi.1996.0299.
40. Menq,C.H.,Yang,B.D., (1998). “Non-linear spring resistance and friction damping of frictional constraint having two-dimensional motion”, Published in the Journal of Sound and Vibration. Vol- 217 (1) pp-127–143. doi:10.1006/jsvi.1998.1739.
41. Xia,F., (2003). “Modelling of a two-dimensional coulomb friction oscillator”, Published in the Journal of Sound and Vibration 265 (5) pp- 1063–1074. doi:10.1016/S0022-460X(02)01444-X.
42. Salles,L., Blanc,L., Thouverez,F., Gouskov,A. (2008). “Analysis of a bladed disk with friction and fretting-wear in blade attachments”, Published in: Proceedings of ASME Turbo Expo, no. GT2008- 51112, Berlin, Germany.
43. Laxalde,D., Salles,L., Blanc,L. ,Thouverez,F., (2009). “Non-linear modal analysis for bladed disks with friction contact interfaces”,Published in: Proceedings of ASME Turbo Expo, no.GT2007-50860, Berlin, Germany.

### Секция 3. Информационные технологии в управлении организационными системами

УДК 519.24

#### ПРОГНОЗНАЯ АНАЛИТИКА И БОЛЬШИЕ ДАННЫЕ В ОЦЕНКЕ РИСКОВ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ

Добронев Б.С., Попова О.А., Шломин А.А.

Сибирский Федеральный Университет

г. Красноярск, Россия, [BDobronets@yandex.ru](mailto:BDobronets@yandex.ru); [OlgaArc@yandex.ru](mailto:OlgaArc@yandex.ru); [jartburr@gmail.com](mailto:jartburr@gmail.com)

**Аннотация.** В работе рассмотрены оценки рисков инвестиционных проектов выпуска нового продукта. Метод основан на использовании вычислительного вероятностного анализа для оценки функций плотности вероятности NPV и IRR.

**Ключевые слова:** вычислительный вероятностный анализ, оценки риска, большие данные, прогнозирование продаж нового продукта.

**Abstract.** The paper considers risk assessments of investment projects for the release of a new product. The method is based on the use of computational probabilistic analysis to estimate the probability density functions NPV and IRR.

**Keywords:** computational probabilistic analysis, risk assessments, big data, new product sales forecasting.

#### Введение

Технологии больших данных и быстрый рост вычислительной мощности создали большие возможности для разработки прогностических моделей как для исследователей, так и для практиков. Учитывая потенциал во многих областях бизнеса, а именно в сфере прогноза продаж новых продуктов прогностический анализ и прогнозирование становятся неотъемлемой частью большинства процессов принятия решений. Точечные прогнозы с использованием статистических моделей и моделей машинного обучения широко изучались в литературе. Однако вероятностному прогнозированию, которое часто более важно при принятии решений, уделялось относительно ограниченное внимание.

В работе рассматриваются оценки рисков инвестиционных проектов внедрения новых продуктов. Внедрение новых продуктов может обеспечить конкурентное преимущество, а также долгосрочную финансовую отдачу от инвестиций [1]. Однако разработка нового продукта также является длительным процессом с высоким риском неудачи. На новом рынке компании обычно представляют новые продукты в попытке расширить свою долю рынка. Очевидно, что такие рынки имеют высокий потенциал для продаж, поскольку доля потенциальных новых покупателей велика. Согласно [2], отличительные продукты нравятся всем покупателям, но только новые покупатели будут платить за них более высокую цену. Это дает компаниям стимул разрабатывать новые интересные продукты, которые заметно отличаются от других продуктов на рынке, чтобы привлечь этих новых покупателей. Многие компании приложили много усилий к инновациям продуктов и постоянно занимаются деятельностью, связанной либо с внедрением собственных новых продуктов, либо противодействовать новым продуктам своих конкурентов на тех же рынках [3].

Согласно исследованию К. Кана, точность прогнозов продаж новых продуктов составляет чуть более 50% [4]. Это связано и с отсутствием исторических данных в качестве основы анализа, и со специфическими характеристиками, присущими распространению новых продуктов. В результате фирма сталкивается с неточными прогнозами, которые являются следствием снижения эффективности всей деятельности предприятия в целом.

## 1. Оценка рисков инвестиционных проектов

Рассмотрим оценку рисков инвестиционных проектов, для которых рассчитываются функции плотности вероятности таких факторов, как чистая текущая стоимость (NPV) и внутренняя норма доходности (IRR).

Чистая приведенная стоимость (NPV) – это формула, используемая для определения текущей стоимости инвестиций по дисконтированной сумме всех денежных потоков, полученных от проекта. Формула для дисконтированной суммы всех денежных потоков может быть представлена как

$$NPV(r) = C_{z_1 s_1} \sum_{i=1}^T \frac{C_i}{(1+r)^i} - C_0,$$

где  $C_0$  – начальные инвестиции;  
 $C_i$  – денежные потоки;  
 $T$  – время;  
 $r$  – ставка дисконтирования.

IRR определяет максимально допустимую ставку дисконтирования, при которой можно инвестировать без потерь, и описывается уравнением

$$NPV(r) = 0.$$

В качестве примера, рассмотрим компанию, которая начинает новый проект. Компании необходимо определить инвестиции на развитие своего нового продукта. По оценкам компании, денежный поток будет иметь вид  $C_i = c_i x_i$ , где  $c_i$  – цена и  $x_i$  – объем продаж. Заметим, что будущие объемы продаж  $x_i$  – неизвестные случайные величины, цена определяется менеджерами и является функцией от объема продаж. Таким образом, для оценки выражения NPV(r) необходимо построить совместную функцию плотности вероятности  $p(x_1, x_2, \dots, x_T)$ . Таким образом, для оценки рисков инвестиционного проекта необходимо построить функции плотности вероятности NPV и IRR используя  $p(x_1, x_2, \dots, x_T)$ . Для этих целей будем использовать вычислительный вероятностный анализ (ВВА) [5].

Основой ВВА являются численные операции над функциями плотности вероятности случайных значений. Это операции «+», «-», «·», «/», «↑», «max», «min», а также отношения порядка «≤», «≥» и некоторые другие. Численные операции над кусочно-полиномиальными представлениями функций плотности вероятности и вероятностные расширения составляют основной компонент ВВА.

Используя подход ВВА, построены численные методы, которые позволяют решать системы линейных и нелинейных алгебраических уравнений со случайными параметрами.

Одной из наиболее важных проблем численного моделирования больших данных является задача вычисления функциональных зависимостей. Для организации вычислительного процесса предлагается использовать одно из основных понятий ВВА – вероятностное расширение. Данный подход может использоваться как в случае больших данных, так и для различных типов неопределенности.

Под вероятностным расширением  $f(x_1, \dots, x_n)$  функции  $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  мы имеем в виду функцию плотности вероятности случайной величины  $z = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  где  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  – система непрерывных случайных величин с совместной функцией плотности вероятности  $p(x_1, x_2, \dots, x_n)$  [5].

**Теорема 1** [5]. Пусть  $f(x_1, \dots, x_n)$  вероятностное расширение функции  $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  и для всех вещественных  $t$  функция  $f(t, x_2, \dots, x_n)$  – вероятностное расширение функции  $f(t, x_2, \dots, x_n)$ . Тогда

$$f(\mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_n) = \int_{x_1}^{\bar{x}_1} \mathbf{x}_1(t) f(t, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_n) dt.$$

**Замечание.** Из теоремы 1 вытекает возможность рекурсивного вычисления вероятностных расширений общего вида, сведением их к вычислению одномерных вероятностных расширений.

Данный подход позволяет провести эффективные вычисления для NPV и IRR.

## 2. Прогнозы продаж новых продуктов

Многие компании называют оценку объемов продаж новых продуктов одной из самых сложных проблем прогнозирования, с которыми они сталкиваются. Такое прогнозирование предполагает слепой прыжок в будущее, потому что исторических данных, которые могли бы служить ориентиром, мало или совсем нет [6]. Высокая степень неопределенности, связанная с внедрением новых продуктов, только усложняет их прогнозирование. Неточные прогнозы могут отразиться на ошибках бизнес-решений, что может привести к избыточным запасам продуктов или значительному их дефициту.

Рассмотрим основные подходы к оценкам объемов продаж.

Подход к оценке среднего значения продаж может быть выражен следующей формулой [7]:

$$\hat{y}_T + h|T = \frac{\sum_{i \leq T} y_i}{T}, \quad (1)$$

где  $h$  – целое число, обозначающее количество периодов времени прогнозирования вперед;

$T$  – текущее время;

$y_t$  – прогноз спроса на время  $t$ .

Подход среднего значения продаж может быть использован, если ожидается, что продукт не будет иметь большой вариации или сезонных колебаний. Этот метод можно использовать, когда уже имеются некоторые данные о продажах нового продукта или доступны данные о продажах аналогичного продукта.

Наивный подход и сезонный наивный подход могут быть выражены следующими формулами соответственно [7]:

$$\hat{y}_T + h|T = y_T, \quad (2)$$

$$\hat{y}_T + h|T = y_{T+h-m(k+1)}, \quad (3)$$

где  $m$  – количество сезонных периодов;

$k$  – целая часть  $\frac{h-1}{m}$ .

Сезонно-наивный подход требует, как минимум,  $m$  периодов истории. Этот метод не очень сложен и основан на рассуждениях о том, что прогноз равен последней (сезонной) точке данных. Этот метод можно использовать в ситуациях, аналогичных подходу среднего значения продаж.

Метод дрейфа является дополнением к наивной модели. Разница между первой и последней точками данных представляет собой изменение во времени, также называемое дрейфом [7]. Идея состоит в том, что эта разница, то есть увеличение или уменьшение, сохранится в следующей единицу времени. Это приводит к следующей формуле:

$$\hat{y}_T + h|T = y_T + \frac{h}{T-1} \sum_{t=2}^T y_t - (y_{t-1}). \quad (4)$$

Этот метод можно использовать, если данные показывают тенденцию и не имеют сезонной закономерности. Для этого метода необходимы только две точки данных, по-

этому этот метод можно применять еще при небольшой истории. Как и другие простые методы, этот метод можно использовать с небольшими данными о продажах или данными об аналогичном продукте.

Модели диффузии могут использоваться для построения прогноза продаж новых продуктов с течением времени, используя нелинейную кривую логистической диффузии [8]. Одной из самых известных диффузионных моделей является модель Басса.

Модель Гомперца позволяет прогнозировать распределение продаж за период и совокупных продаж в течение жизненного цикла продукта. Модель Гомперца разработана путем экспоненциального наклона модели Гомперца. Благодаря параметру наклона эта новая модель является гибкой и способна описывать более широкий диапазон форм по сравнению с существующими моделями. Модель с наклоном Гомперца в большинстве случаев дает более точные квантильные и точечные прогнозы [10].

Модель Гомперца, которая имеет функцию распределения имеет вид:

$$F_{TiGo}(t) = \frac{\gamma(\delta, \rho) - \gamma(\delta, \rho e^{-\lambda t})}{\gamma(\delta, \rho) - I_{(-\infty, 0)}(\lambda) \Gamma(\delta)}$$

при  $-\infty < \lambda < \infty, \lambda \rho \neq 0$ , и  $0 < \delta, \rho < \infty$ . Распределение имеет три параметра:  $\lambda, \delta$  и  $\rho$  – это параметры масштаба, наклона и формы соответственно.

Модель Гомперца разработана для создания точных прогнозов распределения. Прогнозы на основе модели можно делать до запуска продукта, часто обновлять после этого и генерировать в масштабе.

### 3. Оценки рисков

Используя приведенные выше модели оценки объемов продаж нового продукта, можно построить совместную функцию плотности вероятности  $p(x_1, x_2, \dots, x_T)$ . В работе [5] приведен пример использования вычислительного вероятностного анализа для построения кусочно-полиномиальных приближений для NPV и IRR выпуска нового продукта. На рисунке 1 приведены примеры построенных функций плотности вероятности NPV и IRR [5].

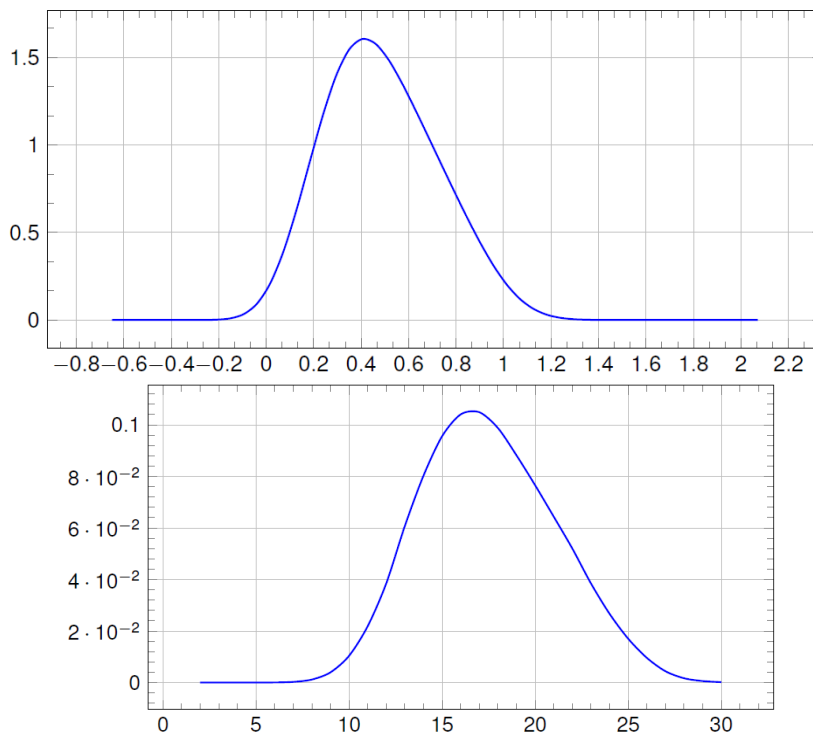


Рисунок 1 – Функции плотности вероятности NPV и IRR



Используя оценки плотности вероятности NPV и IRR в форме кубических сплайнов, можно оценить риск того, что инвестиционный проект приносит убытки. Итак, если  $P_{NPV}$  – функция плотности вероятности NPV, то вероятность того, что инвестиционный проект является убыточным, можно рассчитать по формуле:

$$P = \int_{-\infty}^0 P_{NPV}(\xi) d\xi.$$

Сравнение методов ВВА и Монте-Карло показало хорошее согласие результатов. В то же время численные эксперименты показывают, что ВВА значительно быстрее метода Монте-Карло. В результате подход, основанный на ВВА, может быть успешно применен для решения ряда экономических проблем.

#### **Библиографический список**

1. Thomas, R. J. (1993). *New product development: Managing and forecasting for strategic success*. Wiley.
2. Klepper, S. (1996). Entry, exit, growth, and innovation over the product life. *The American Economic Review*, 86(3), 281–562.
3. Shankar, V. (1999). New product introduction and incumbent response strategies: Their interrelationship and the role of multi-market contact. *Journal of Marketing Research*, 36(3), 327–344.
4. Kahn K.B. (2006). *New Product Forecasting: an Applied Approach*. New York: M.E. Sharpe, Inc.E.
5. Вычислительный вероятностный анализ: модели и методы : монография / Б. С. Добронеев, О. А. Попова. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2020. – 236 с.
6. Mentzer, T. J., & Moon, M. A. (2005). *Sales forecasting management: A demand management approach*. Sage Publications, Inc.
7. Mik (2019) Ellen C. Mik. 2019. *New Product Demand Forecasting, A Literature Study*. Master's thesis. Vrije Universitat, Amsterdam.
8. Oren, S. S., & Rothkopf, M. H. (1984). A market dynamics model for new industrial products and its application. *Marketing Science*, 3(3), 247–265.
9. Aburto, L.; Weber, R. Improved supply chain management based on hybrid demand forecasts. *Appl. Soft Comput.* 2007, 7, 136–144.
10. Frank M. Bass (1969), *A New Product Growth for Model Consumer Durables*. *Management Science*, Vol. 15, No. 5, January, 1969, United States of America.
11. Guo, Xiaojia; (2020) *Probabilistic Forecasting in Decision-Making: New Methods and Applications*. Doctoralthesis (Ph.D), UCL (University College London).

## ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ В АНАЛИЗЕ НЕСТРУКТУРИРОВАННЫХ ДАННЫХ

Добронец Б.С., Попова О.А.

Сибирский Федеральный Университет  
г. Красноярск, Россия, [VDobronets@yandex.ru](mailto:VDobronets@yandex.ru); [OlgaArc@yandex.ru](mailto:OlgaArc@yandex.ru)

**Аннотация.** В работе рассматриваются новые информационно-аналитические подходы к представлению, обработке и анализу неструктурированных данных больших объемов. Показывается, что применение вычислительного вероятностного анализа (ВВА) позволяет организовать данные в объекты, которые обеспечивают необходимый способ представления неструктурированной информации и эффективно применять вычислительные процедуры моделирования и последующего прогнозирования. На примере построения и исследования распределения размера заработной платы работников демонстрируется использование ВВА для исследования дифференциации заработной платы и прогнозной динамики.

**Ключевые слова:** вычислительный вероятностный анализ, временные ряды распределений, прогноз плотности, кусочно-полиномиальные модели.

**Abstract.** The paper considers new information-analytical approaches to the presentation, processing and analysis of unstructured data of large volumes. It is shown that the use of computational probabilistic analysis (CPA) makes it possible to organize data into objects that provide the necessary way to represent unstructured information and effectively apply computational modeling procedures and subsequent forecasting. On the example of constructing and studying the distribution of wages of workers, the use of VVA to study the differentiation of wages and predictive dynamics is demonstrated.

**Keywords:** computational probabilistic analysis, distributions time series, density forecast, piecewise polynomial models.

С появлением необходимости в обработке и исследовании больших и сверх больших наборов неструктурированных данных (Big Data) для многих организаций и предприятий существует острая необходимость применения современных программно-аналитических систем. Специфика и разнообразие информации, требующей исследования и анализа для принятия управленческих решений, диктует необходимость использования современных вычислительных технологий, позволяющих получать необходимые знания, в том числе при обработке и исследовании данных, обладающих высокой степенью неопределенности. Возникает острая необходимость в разработке и применении новых информационно-аналитических и вычислительных технологий для решения задач прогнозирования и оценки различных рисков ситуаций, которые эффективно и надежно учитывают эти факторы. В настоящее время к такому направлению можно отнести символический анализ данных [1]. Его основная идея заключается в том, что данные могут быть организованы в объекты, которые обеспечивают информацию за пределами простых скалярных переменных. Интервальные данные, гистограммы, частотные полигоны, кусочно-полиномиальные функции (сплайны) являются примерами символических данных; они обеспечивают графическое представление для описания размаха, как в случае интервалов, или более информативное представление в случае кусочно-полиномиальной функции: функции распределения частот реализаций случайной величины. Это означает, что некоторый случайный эксперимент производит реализацию случайной величины, которая наблюдается как частотные распределения. Многие авторы в своих исследованиях адаптировали методы для анализа распределений, например, анализ главных компонент и кластерный анализ [2].

Еще одним новым направлением является функциональный анализ данных. В функциональном анализе данных (ФАД) [3] представлены методы для работы с функциональными временными рядами. ФАД в целом используется во многих приложениях (климатология, дистанционное зондирование, лингвистика, точное земледелие и т. д.), где данные собираются путем наблюдения за непрерывным явлением во времени или про-

странстве. В последнее время ФАД используется для регрессии распределений, но имеет достаточно много ограничений и во многих случаях не учитывает свойств распределений.

С точки зрения временного ряда можно определить временные ряды распределений, как совокупность кусочно-полиномиальных функций, упорядоченных по времени.

Классические подходы в моделировании требуют оценки зависимости данных и поиск наиболее подходящей модели.

При работе с временными рядами распределений, представленными кусочно-полиномиальными моделями (гистограммы, частотные полигоны, сплайны), возникает вычислительная проблема, связанная разработкой численных операций для построения прогноза. В качестве подхода к решению этой проблемы следует выделить работы в области вычислительного вероятностного анализа (ВВА) [4,5], где предлагается новый подход. Суть данного подхода реализует идею представления эмпирических данных в виде функций распределений на основе применения кусочно-полиномиальных моделей.

Разработанные в рамках ВВА численные арифметики и использование нового понятия «вероятностное расширение» позволили авторам разработать методы численного моделирования и анализа распределений, которые можно рассматривать как особый вид переменных, над которыми выполняются соответствующие операции и процедуры.

Применение методов и процедур ВВА позволяет представить выходное распределение вероятностей как функцию входных распределений и использовать методы анализа неопределенностей.

Далее на примере построения и исследования распределения размера заработной платы работников демонстрируется использование вычислительного вероятностного анализа для исследования дифференциации заработной платы и прогнозной динамики [6-10].

В [11] приведено распределение работников по размеру заработной платы. По существу данные представляет частотное распределение работников по размеру заработной платы в виде кусочно-постоянной функции (гистограммы). Наша задача аппроксимировать это частотное распределение в виде гладкой кусочно-полиномиальной функции.

Для этих целей на первом этапе преобразуем частотное распределение в кусочно-линейную функцию распределения. Для удобства дальнейшей работы она будет представлена в логарифмической системе. Для построения функции плотности распределения работников по размеру заработной платы необходимо продифференцировать функцию распределения. Кусочно-линейные функции распределения для этих целей подходят плохо, так как их дифференцирование приведет к исходной кусочно-постоянной функции плотности. Таким образом, для построения гладкой функции плотности вероятности будем аппроксимировать кусочно-линейные функцию распределения сглаживающим сплайном  $S$  [4]. В данной работе для сглаживания используются эрмитовы сплайны пятой степени.

На рисунке 1 представлены кусочно-полиномиальные представления функции распределения заработной платы за 2019 год, голубая линия – кусочно-линейная, красная –  $S_{19}$ , приближение функции распределения сглаживающим эрмитовым сплайном пятой степени.

Продифференцировав  $S_{19}$  получаем приближение функции плотности вероятности распределения заработной платы  $s_{19}$  за 2019 год. Проводя аналогичные процедуры с данными за 2021 год, получаем  $S_{21}$ , приближение функции распределения за 2021 год сглаживающим эрмитовым сплайном пятой степени.

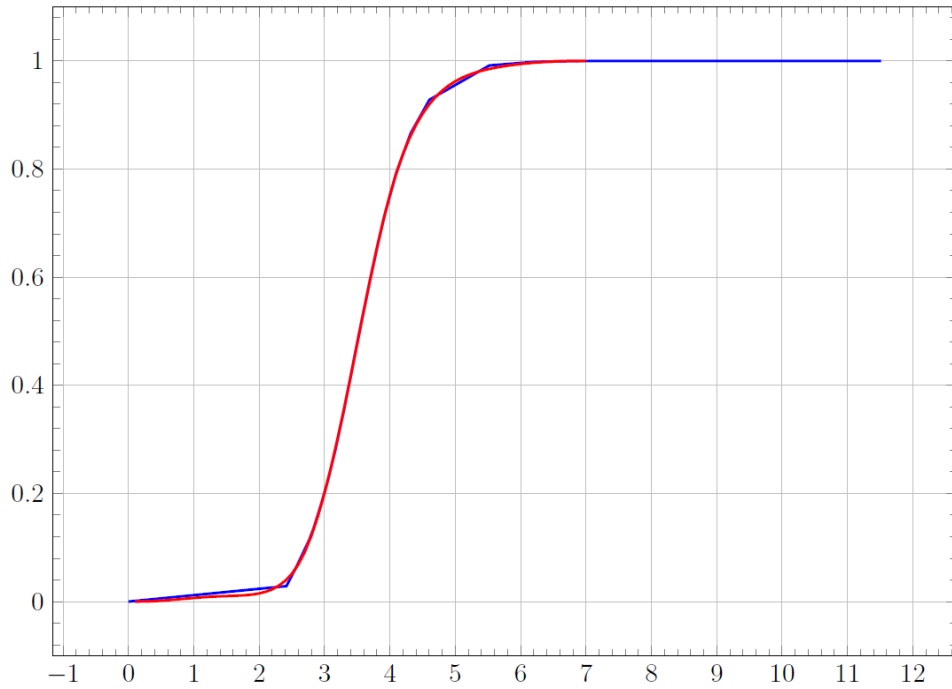


Рисунок 1 – Кусочно-полиномиальные представления функции распределения заработной платы за 2019 год

Для аппроксимаций использовались эрмитовы сплайны пятой степени. Эти сплайны  $s(x)$  определяются в узлах сетки  $x_i$  значениями  $f_i, f'_i, f''_i$  :

$$s(x) = \sum_i f_i \varphi((x-x_i)/h_i) + h_i f'_i \varphi_1((x-x_i)/h_i) + h_i^2 f''_i \varphi_2((x-x_i)/h_i),$$

$$h_i = x_{i+1} - x_i,$$

где  $\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2$  – базисные функции, такие что  $\varphi_i^{(\nu)}(x) = 0, \nu \in \{0,1,2\}, x \in \{-1,0,1\}$ .  
Исключение составляют

$$\varphi_0(0) = 1; \varphi'_1(0) = 1; \varphi''_2(0) = 1.$$

Таким образом, решая в пространстве эрмитовых полиномов пятой степени, получаем

$$\varphi_0(x) = \begin{cases} -(x-1)^3(6x^2+3x+1), & x \geq 0; \\ (x+1)^3(6x^2-3x+1), & x \leq 0. \end{cases}$$

$$\varphi_1(x) = \begin{cases} -x(x-1)^3(3x+1), & x \geq 0; \\ -x(x+1)^3(3x-1), & x \leq 0. \end{cases}$$

$$\varphi_2(x) = \begin{cases} -x^2(x-1)^3, & x \geq 0; \\ x^2(x+1)^3, & x \leq 0. \end{cases}$$

На рисунке 2 показаны базисные функции эрмитового сплайна пятой степени.

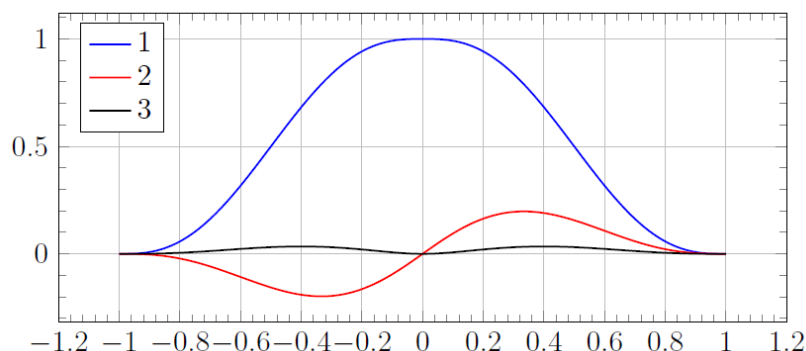


Рисунок 2 – Базисные функции эрмитового сплайна пятой степени

На рисунке 3 показаны кусочно-полиномиальные представления функций плотности вероятности заработной платы за 2019 и 2021 г.г. Красная линия – функция плотности вероятности за 2019 г., синяя линия –  $s_{21}$  кусочно-полиномиальное представление функции плотности вероятности заработной платы за 2021 г.

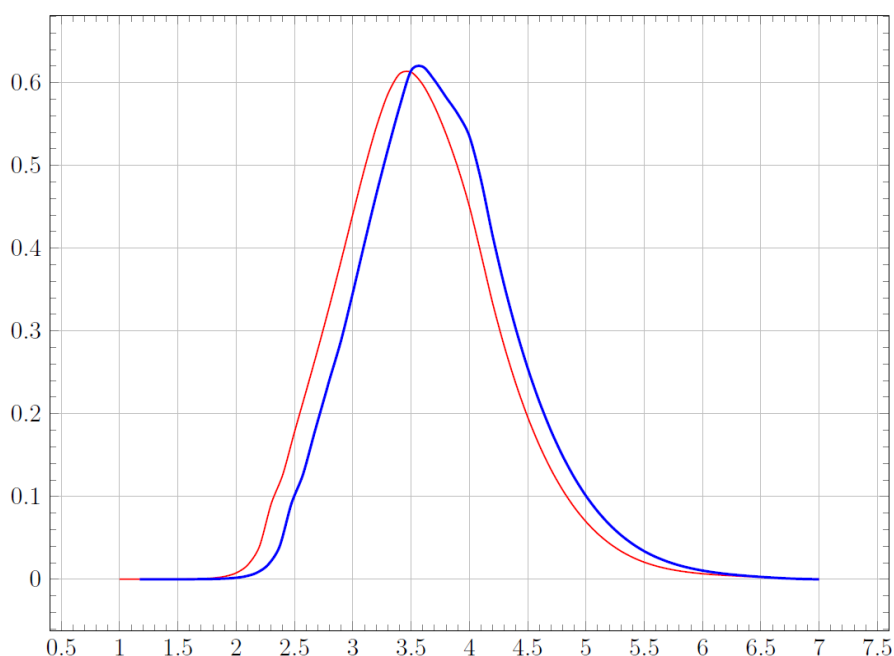


Рисунок 3 – Сравнение функций плотности вероятности заработной платы за 2019 и 2021 г.г.

Таким образом, исследуя функция плотности вероятности за 2019 и 2021 г.г., можно не только оценить дифференциальные свойства структуры заработной платы, но и динамику ее изменения.

Сравнивая кусочно-полиномиальные представления функций плотности вероятности заработной платы за 2019 и 2021 г.г., легко видеть как общие закономерности в поведении функции плотности вероятности: участки, где функции имеют одинаковый наклон. Между тем максимум функции плотности вероятности за 2021 г. значительно сдвинут в сторону увеличения. Построив кусочно-полиномиальные представления функций плотности вероятности заработной платы за несколько лет можно представить их в виде временного ряда распределений и далее исследовать их динамику и прогноз.

Определим временной ряд распределений как последовательность плотностей вероятности, представленных в виде кусочно-полиномиальных функций  $P_i$ .

В символьном анализе данных интервальные, гистограммы и кусочно-полиномиальные переменные применены, чтобы описать изменчивость количественных признаков понятий.

Использование кусочно-полиномиальных переменных обусловлено прежде всего тем, что они позволяют достаточно точно представлять произвольные распределения. Вторая причина – развитая арифметика для работы с кусочно-полиномиальными переменными.

Важно отметить, что кусочно-полиномиальные функции охватывают все возможные интервалы оценки плотности вероятности. Наиболее популярными из них являются гистограммы с фиксированной шириной столбцов, которые в большом объеме используются на практике, частотные полигоны и сплайны.

Причины для использования кусочно-полиномиальных функций могут быть сформулированы следующим образом:

- можно использовать их для любой исходной плотности вероятности;
- они могут описывать данные с достаточной степенью точности.

На рис. 4 показано преобразование исходных данных во временной ряд распределений  $y_i$  [10]. Далее, используя методы регрессии в пространстве распределений, можно построить прогноз временного ряда в виде распределения.

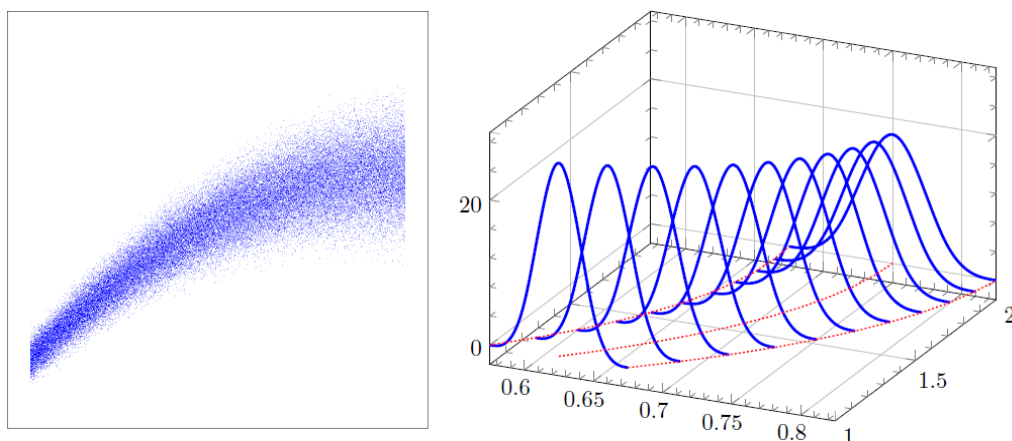


Рисунок 4 – Модель исходных данных (слева) и временной ряд распределений (справа)

Кусочно-полиномиальные функции  $y_i$  (синие линии) сетки  $\omega_i$  (красные линии) преобразуем с помощью отображения  $S(t)$  в функцию  $s_i$  на сетке  $\omega$ .

Рассмотрим, например, использование эрмитовых сплайнов пятой степени. Тогда для каждого узла  $x_i \in \omega$  известны значения  $s_{ii}$ ,  $s'_{ii}$ ,  $s''_{ii}$  и можно построить кривые регрессии  $s_i(t)$ ,  $s'_i(t)$ ,  $s''_i(t)$ . Используя эти кривые регрессии, можно построить кусочно-полиномиальные функции  $s(t)$  на сетке  $\omega$  для любого  $t$ . Затем с помощью обратного преобразования  $S^{-1}(t)$  построить значение  $\bar{y}(t)$  для любого значения  $t$  и тем самым осуществить прогноз.

Приведенные исследования использования временных рядов распределений показали перспективность развития подхода для решения проблемы дифференциации заработной платы, исследовать динамику различия в уровне оплаты труда, как между работниками одной организации, так и между работниками различных организаций.

Временные ряды распределений в дальнейшем предполагается использовать в тех областях, где обычные временные ряды недостаточно полно описывают происходящие процессы, не эффективны и требуют больших вычислительных затрат. Такие процессы возникают при обработке информации зондирования Земли, в прогнозах гидрологических рядов, исследовании денежных потоков, оценке инвестиционных рисков и многих других задачах.

### Библиографический список

1. L. Billard and E. Diday. Symbolic Data Analysis: Conceptual Statistics and Data Mining (1st ed.), Chichester, John Wiley & Sons, 2006.
2. Brito P. and Dias S. Analysis of Distributional Data, Taylor & Francis Group, 2022
3. J.O. Ramsay and B.W. Silverman. Functional Data Analysis. Springer 2nd ed., New York, 2005.
4. Добронев, Б.С. Вычислительный вероятностный анализ: модели и методы / Б.С. Добронев, О.А. Попова. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, Институт космических и информационных технологий, 2020.
5. Dobronets V.S., Popova O.A. Computational Probabilistic Analysis of Distributional Time Series // Journal of Physics: Conference Series, 2020, 1680(1), 012008.
6. Елисеева, И. И. Дифференциация заработной платы в Российской Федерации: территориальные особенности / И.И. Елисеева, М.П. Декина // Интеллект. Инновации. Инвестиции. - 2020. № 5. - С. 39–51. DOI: 10.25198/2077-7175-2020-5-39.
7. Рогаева, А.В. Дифференциация заработной платы на базе оценки интенсивности труда / А.В. Рогаева. // Экономический анализ: теория и практика. – 2009. - № 5 (134). - С. 21–23.
8. Соболев, Э.Н. Оплата труда в российской экономике: тенденции и проблемы / Э.Н. Соболев. // Вестник ИЭ РАН. – 2018. - №5. - С. 79–96.
9. Добронев, Б.С., Попова О.А. Вычислительные аспекты цифровой экономики / Б.С. Добронев, О.А. Попова. // Управление большими системами: сборник трудов. - 2020. С. 114-129.
10. Dobronets, V.S., Popova, O.A. and Merko, A.M. (2021) Distributional time series for forecasting and risk assessment // Int. J. Risk Assessment and Management, Vol. 24, Nos. 2/3/4, pp.140–155.
11. Сведения о распределении численности работников по размерам заработной платы // Федеральная служба государственной статистики <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13268>.

### ОПЕРЕЖАЮЩЕЕ РАЗВИТИЕ ПЕРСОНАЛА КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПЕРСОНАЛА И РАЗВИТИЯ БИЗНЕСА

Домнышев А.В.<sup>2</sup>, Затепакин О.А.<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»  
г. Новокузнецк, Россия

<sup>2</sup>[aleksey.domnyshev@evraz.com](mailto:aleksey.domnyshev@evraz.com)

**Аннотация.** В работе представлены практики по обучению и развитию компетенций персонала под будущие запросы бизнеса. Функция обучения должна быстро реагировать на запросы бизнеса, а во многих моментах опережать их, своевременно прогнозируя запросы под будущие изменения технологии и техники на производстве.

**Ключевые слова:** опережающая подготовка персонала, тренажерная подготовка, практикоориентированность обучения, компетенции персонала.

***Abstract.** The paper presents practices for training and developing personnel for future business needs. The training function must quickly respond to business requests, and in many cases be ahead of requests, timely forecasting requests for changes in technology and equipment in production.*

***Keywords:** advanced training of personnel, simulator training, practice orientation of training, personnel competencies.*

## **Введение**

ЕВРАЗ – крупная горно-металлургическая компания, лидер на рынках стального проката для инфраструктурных проектов. Ключевая цель компании – быть в пятерке лидеров на рынках инфраструктурных проектов, миссия - объединять таланты для лучшего будущего наших сотрудников, общества и партнеров. Одним из направлений достижения целей компании является реализация крупных проектов по модернизации производства, а также проектов, связанных с его цифровизацией.

Важно отметить, что реализуемые на предприятии проекты развития производства и его цифровизация требует совершенно другого уровня качества компетенций у персонала, обеспечивающих повышение его внутренней конкурентоспособности [1]. Внутренняя конкурентоспособность достигается для разных категорий персонала за счет развития соответствующих компетенций: для руководителей – технических, управленческих, экономических, для специалистов – в области инженерной аналитики, цифровой трансформации, для рабочих – развитие мультискиллинга, быстрой адаптации и другое [2,3].

Для реализации всех этих задач необходимо:

– опережающая подготовка сотрудников предприятия под внедрение технологий и оборудования, как фактор оперативного изменения;

– перестройка системы подготовки персонала в образовательных учреждениях, как фактор долгосрочного изменения [4].

Основой для быстрой реакции на запросы бизнеса в области компетенций персонала является формирование и развитие центров экспертизы в функции обучения. Которая не только обеспечивает реакцию, но и позволяет с опережением производства изучать и внедрять современные решения в области технологии и производства.

Задачами в долгосрочной работе с образовательными учреждениями является создание модели непрерывного образования школа-образовательное учреждение-предприятие, развитие внутренней конкурентоспособности сотрудника [5]. Формирование компетенций в более раннем возрасте в этой цепочке, позволяет на выходе достигать более высокого уровня компетенций персонала, решать более сложные задачи [6].

Основными проектами с образовательными учреждениями в 2022 году была реализация двух ключевых проектов:

1. реализация пилотного проекта Цифровая металлургия совместно с Сибирским Государственным Индустриальным Университетом (СибГИУ), с дальнейшим разворачиванием проекта в 2023 г;
2. создание кластера Цифровая металлургия Кузбасса в рамках проекта «Профессионалитет» совместно с Кузнецким индустриальным техникумом (КИТ) и Кузнецким металлургическим техникумом (КМТ), как основными ключевыми партнерами в подготовке специалистов и рабочих.

Более подробно рассмотрим данные проекты.

### **Формирование и развитие центров экспертизы в функции обучения**

Начиная с 2016 года стартовал новый этап развития системы подготовки персонала, формирования центров компетенций для решения сложных задач по удовлетворению потребностей предприятия как в текущем моменте, так и под будущие задачи. Ключевой инициативой стало создание полигонов и лабораторий по стандартам WorldSkills. Это объединило в себе несколько задач:

– оснащение принципиально новым учебным оборудованием, на уровне лидеров отрасли и не только РФ;



- развитие и сертификация экспертов по международным стандартам;
  - организация соревнований различных уровней, в т.ч. организации площадки корпоративного чемпионата;
  - внедрение новых подходов в образовательный процесс.
- С 2016 по 2019 годы количество компетенций на площадке корпоративного чемпионата увеличилось с 4 до 12. Динамика по годам представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Изменение количества компетенций по годам

	2016	2017	2018	2019
Кол-во компетенций	4	6	10	12
Наименование компетенции	Мехатроника, Промышленная автоматика, Сварочные технологии, Электромонтаж	Дополнительно: Лаборант хим анализа, Обработка листового металла	Дополнительно: Инженер дизайн КАД, Неразрушающий контроль, Реверсивный инжиниринг.	Дополнительно: Охрана труда. Инженерное проектирование

Кроме увеличения компетенций увеличились возрастные группы и количество площадок:

- в рамках корпоративного чемпионата появились категории детей 12+, 14+, юниоры (студенты базовых образовательных учреждений), кол-во компетенций увеличивалось с 2017 по 2022 год;
- в 2022 представители предприятия выступили дополнительно в четырех компетенциях на национальном чемпионате: промышленная робототехника, экология, инженерное мышление «Каракури», Инженерное мышление «ТРИЗ».

С 2021 года Кузнецкий индустриальный техникум стал площадкой чемпионата для юниоров, что позволило стать одной из лучших профориентационных площадок в городе и регионе.

Следует выделить несколько групп компетенций, которые способствовали созданию центров компетенций и экспертизы:

1. компетенции, связанные с автоматизацией производственных процессов, внедрения современных средств управления: мехатроника, промышленная автоматика, промышленная робототехника, мобильная робототехника, электромонтаж. Это позволило:
  - вывести на принципиально новый уровень подготовки специалистов электротехнических служб предприятия, численностью более 1300 чел.;
  - разработать уникальные курсы по подготовке, лежащие на стыке нескольких областей компетенций (автоматика, гидравлика, пневматика и др.);
  - на опережение подготовить специалистов под внедрение крупных инфраструктурных проектов;
2. компетенции, связанные с проектной деятельностью: аддитивное производство, инженерное проектирование, инженерный дизайн CAD. Это позволило:
  - вывести проектную деятельность на новый уровень по производительности труда, скорости обслуживания заказчиков;

- внедрить современные программные продукты и оборудование в проектировании;
  - дать импульс внедрения в производстве сканеров, 3D печати и др. технологий;
3. компетенции, связанные с мультискиллингом на производстве: обработка листового металла, промышленная механика и монтаж, сварочные технологии, лабораторный химический анализ. Это позволило:
    - получить уникальный набор рабочих профессий у одного работника;
    - включить работника в инженерную деятельность за счет формирования навыков работы с чертежами, проектирование моделей в программах;
    - существенно поднять престиж рабочих профессий;
  4. компетенции, связанные с безопасностью труда и окружающей среды, не менее актуальные. Одной из ключевых стратегий компании является безопасность, снижение нагрузки на внешнюю среду. Это позволило:
    - развить компетенции в данном направлении, организовать обмен лучшими практиками;
    - внести существенный вклад в изменение культуры на предприятии;
    - позиционирование предприятия, как локомотива в области безопасности;
  5. компетенции, связанные с развитием инженерного подхода и мышления: Каракури, ТРИЗ. Это позволило:
    - вовлечь молодых специалистов предприятие в инженерную деятельность нового уровня сложности;
    - сформировать модель развития и передачи инженерных подходов внутри сообщества молодых инженеров;
    - подготовить специалистов к новым вызовам и задачам в будущем.

Важным моментом является формирование экспертного сообщества на предприятии, позволившаякратно увеличить количество экспертов за короткий промежуток времени. Это стало возможным за счет ежегодным увеличением экспертного сообщества за счет победителей национальных чемпионатов. В результате количество экспертов с 4 в 2016 году возросло до 60 в 2022 году.

Так же необходимо отметить о существенные перестройки всех процессов подготовки персонала на предприятии, за счет использования оборудования, экспертов и совершенного нового подхода в организации подготовки персонала, основанного на: практикоориентированном подходе на каждом этапе обучения; комплексной системы критериев оценки; демонстрации теоретических знаний на практике.

Таким образом, формирование центров экспертизы позволило: вовлечь в систему не только сотрудников, но и студентов и школьников; не только внедрить в функции обучения и развития новые технологии, но и транслировать дальнейшее их освоение в производстве; решать задачи принципиально нового уровня, существенно повысить внутреннюю конкурентоспособность персонала.

Кроме того, за короткий период компания ЕВРАЗ вошла в тройку победителей национального чемпионата в общекомандном первенстве, разделяя места на пьедестале в компетенциях с государственными корпорациями Росатомом, Роскосмос. Это является важным аспектом как развитием сотрудников компании, так и продвижением ее бренда.

### **Реализация проекта «Цифровая металлургия» совместно с Сибирским Государственным Индустриальным Университетом**

Пилотный проект Цифровая металлургия направлена на подготовку принципиально нового уровня специалистов, которые будут владеть как технологической экспертизой, так и инструментами цифровизации: использование цифровых подсказчиков и цифровых двойников, владение базовыми основами инженерной аналитики, различными программными продуктами.

Для предприятия проект позволяет:

- обеспечить необходимый уровень подготовки специалистов по необходимым компетенциям на позиции руководителей и специалистов;

- повысить привлекательность предприятия в целом и специальностей отдельно.

Проект позволяет студентам получить качественное образование, востребованное на рынке труда за счет:

- реализации сетевых образовательных программ СибГИУ с участием ведущих ВУЗов страны в области металлургии, материаловедения и информационных технологий;

- опыта участия в реальных проектах по разработке гибридных и цифровых двойников технологических линий металлургического производства стратегического партнера СибГИУ – ЕВРАЗ ЗСМК;

- применения на практике принципов построения дополненной и виртуальной реальности (AR/VR) в металлургии.

По результатам подготовки на бакалавриате выпускники имеют возможность:

- продолжить обучение по специальности в магистратуре любого из ТОПовых ВУЗов России;

- реализовать индивидуальный карьерный трек в ЕВРАЗе.

Для ВУЗа проект позволяет:

- повысить качество и практикоориентированность подготовки;

- привлечь инвестиции от индустриального партнера в развитие материально-технической базы;

- вывести интеграцию и взаимодействие между экспертами предприятия и ВУЗа на принципиально новый уровень.

По итогам 2022 года принято решение о продолжении проекта. Кроме того, компанией ЕВРАЗ совместно с СибГИУ и УРФУ запущен проект по пересборке программ бакалавриата под потребность предприятий компании.

**Создание кластера Цифровая металлургия Кузбасса в рамках проекта «Профессионалитет» совместно с Кузнецким индустриальным техникумом и Кузнецким металлургическим техникумом**

Проект направлен на построение региональной модели ускоренной практикоориентированной подготовки специалистов в рамках федерального проекта «Профессионалитет» в партнерстве ЕВРАЗ ЗСМК, КИТ и КМТ. Проект обеспечит развитие кадрового потенциала металлургической отрасли региона. В рамках реализации данного проекта в Кузбассе создано в 2022 году всего два подобных кластера, один из которых на базе КИТ, КМТ и ЕВРАЗ ЗСМК.

Для студента проект позволяет:

- построить карьеру в крупной международной компании;

- получить уникальные навыки в период обучения;

- гарантировать трудоустройство в ЕВРАЗ после окончания образовательного учреждения;

- получить диплом специалиста за сокращенные сроки обучения.

Для техникумов кластера проект позволяет:

- кардинально развить учебно-материальную базу за счет федерального финансирования в размере 100 млн.руб. и финансирования со стороны индустриального партнера;

- развить компетенции преподавательского состава за счет участия в программах обучения и стажировки;

- повысить привлекательность и рейтинг образовательных учреждений.

Для предприятия проект позволяет:

- снизить сроки подготовки специалистов на один год, до 2 лет 10 месяцев;

- повысить практикоориентированность подготовки под индустриального партнера;
- повысить качество отбора абитуриентов в техникумы и как следствие уровень выпускников.

В результате реализации проекта в 2022 году был осуществлен набор 6 групп общей численностью 150 студентов в рамках данного проекта. В 2023 и последующие годы предусмотрено увеличение контрольных цифр приема в рамках данного проекта.

Кроме того, в рамках проекта предусмотрено получение студентами дополнительных/смежных компетенций в области цифровых технологий.

### **Заключение**

Таким образом, реализация мероприятий по созданию центров компетенций, а также запуск новых проектов с образовательными учреждениями позволил:

- во-первых, обеспечить необходимый уровень экспертизы в системе подготовки персонала, позволяющий проводить подготовку под любые задачи бизнеса;
- во-вторых, быстро реагировать на потребность бизнеса в воспроизводстве необходимых компетенций, а также лидировать в освоении нового оборудования, программ и подходов в работе и способствовать их дальнейшему внедрению на производстве;
- в-третьих, обеспечить набор в образовательные учреждения, обеспечив конкурсы в техникумах и сдвинув рамку развития компетенций на более ранний возраст;
- в-четвертых, создать дальнейшие предпосылки для трансформации образования под потребности бизнеса;
- в-пятых, повысить внутреннюю конкурентоспособность персонала, а как следствие и его вовлеченность, и мотивацию к дальнейшему развитию.

Реализация мероприятий позволяет быстро реагировать на запрос со стороны бизнеса как в текущем моменте, так и в перспективе, а также формировать опережающее развитие экспертизы под будущие изменения в компании. Результатом является изменение показателя внутренней конкурентоспособности персонала, готового к решению задач более высокого уровня [9].

### **Библиографический список**

1. Вайл, П. Цифровая трансформация бизнеса: Изменение бизнес-модели для организации нового поколения / П. Вайл // Москва : Альпина Паблишер, 2019. – 257 с.
2. Шматко, Н.А. Компетенции инженерных кадров: опыт сравнительного исследования в России и странах ЕС / Н.А. Шматко // Форсайт. – № 2012. – № 4 Т. 6. – С. 31-47.
3. Легкий, С. Навыки и компетенции руководителя / С. Легкий // Бизнес. ру – Режим доступа: <https://www.business.ru/article/1456-professionalnye-navyki-i-kompetentsii-rukovoditelya>
4. Домнышев, А.В. Формирование экосистемы на базе учебного центра / А. В. Домнышев, науч. рук. О.А. Затепакин // Студент года 2021 : сборник статей Международного учебно-исследовательского конкурса, 19 мая 2021 г. – Петрозаводск : Новая наука, 2021. – Ч. 4. – С. 34-41. – URL: <http://library.sibsiu.ru>.
5. Домнышев, А.В. Профориентационная работа как один из ключевых элементов экосистемы / А. В. Домнышев, научный руководитель О. А. Затепакин // Лучшая научная статья 2021 : сборник статей XLIII Международного научно-исследовательского конкурса, 30 июня 2021 г. – Пенза. – С. 51–53. – URL: <http://library.sibsiu.ru>.
6. Домнышев А.В. Построение системы внутренней кокурентоспособности персонала на промышленном предприятии как фактор развития и удержания сотрудников и развития предприятия / А.В. Домнышев, научный руководитель О.А. Затепакин// // Лучшая научная статья 2021 : сборник статей XI Международного научно-исследовательского конкурса «Конкурс молодых ученых», 15 июня 2022 г. – Пенза. – URL: <http://library.sibsiu.ru>.

7. Домнышев А.В. Современные подходы в подготовке кадров для промышленного производства на основе автоматизации и цифровизации процесса обучения / А.В. Домнышев, научный руководитель О.А. Затепякин// // Лучшая научная статья 2021 : сборник статей XIV Всероссийская научно-практическая конференция «высокие технологии, наука и образование: актуальные вопросы, достижения и инновации», 23 января 2022 г. – Пенза. – URL: <http://library.sibsiu.ru>.
8. Сибел, Т Цифровая трансформация. Как выжить и преуспеть в новую эпоху / Томас Сибел. – Москва : Манн, Иванов и Фербер, 2021. – 256 с
9. Капустянова К.А., Гелета И.В. Совершенствование системы оценки конкурентоспособности персонала на предприятии//Символ науки.–2016. – №11-1. – С. 67–69

УДК 004.93

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЕТЕКЦИИ В СВЁРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЯХ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ КЛАССИФИКАЦИИ

Бычков А.Г., Киселёва Т.В., Маслова Е.В.

*ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»*

*г. Новокузнецк, Россия, [aleksds1@yandex.ru](mailto:aleksds1@yandex.ru); [kis@siu.sibsiu.ru](mailto:kis@siu.sibsiu.ru);*

*[Elenamaslova1805@yandex.ru](mailto:Elenamaslova1805@yandex.ru)*

***Аннотация.** В работе рассматриваются структура свёрточной нейронной сети и математические методы, используемые для подсчёта её значений. Для повышения точности классификации предложены методы детекции. Также рассматриваются различные способы оптимизации исходного набора данных, что тоже влияет на скорость работы алгоритмов.*

***Ключевые слова:** нейронные сети, свёрточные нейронные сети, детекция, подготовка данных.*

***Abstract.** The paper discusses the structure of a convolutional neural network and the mathematical methods used to calculate its values. To improve the classification accuracy, detection methods are proposed. Various ways of optimizing the initial data set are also considered, which also affects the speed of the algorithms.*

***Keywords:** neural networks, convolutional neural networks, detection, data preparation.*

В настоящее время машинное обучение применяется во многих областях, как науки, так и промышленности. Машинное обучение (англ. machine learning, ML) – класс методов искусственного интеллекта, характерной чертой которых является не прямое решение задачи, а обучение в процессе применения решений множества сходных задач. Для построения таких методов используются средства математической статистики, численных методов, методов оптимизации, теории вероятностей, теории графов, различные технологии работы с данными в цифровой форме [1]. Данное определение подразумевает наличие определённых математических действий, которые могут потребовать недопустимо большое количество машинного времени. Это обстоятельство является одной из причин недостаточно быстрого внедрения технологий машинного обучения в различные сферы деятельности. Довольно часто нейронные сети и машинное обучение применяется для распознавания изображений [2]. В докладе рассмотрены возможные способы использования методов сегментации в машинном обучении в свёрточных нейронных сетях.

Суть свёрточных нейронных сетей состоит в том, что веса и значения активации какого-либо нейрона зависят не от всех входов, а только от некоторой окрестности «вокруг» него. После чего такое «движущееся окно» проходит по всему изображению.

В итоге для соседнего «пикселя» в свёрточном слое будут те же самые веса, но входной кусок картинки будет сдвинут.

Идея состоит в том, что в одной ячейке свёрточного слоя записывается определённый паттерн изображения (линии, углы, цветовые пятна и т.п.), которые затем прогоняются с целью нахождения похожих паттернов в других частях изображения, либо других изображениях в принципе.

Важной особенностью свёрточных нейронных сетей является Pooling layer или, как в некоторых источниках его называют, субдискретизирующий слой [3].

Он даёт возможность менять длину и высоту активационных карт. Поставив этот слой после ReLU, можно сжать получившиеся значения. Делается это по простому правилу. К примеру, используется Max Pool – выбирается максимальное значение из квадрата 2x2 и передаётся дальше. Это позволяет во время обратного прохода отдать весь градиент именно этому значению, а остальным – нули (максимум зависит от одного входа).

Такое сжатие позволяет создать информацию, которой оперирует сеть, более глобальной. В вышеуказанном примере в левом верхнем квадранте будет самым важным число 6, а остальные входы имеют меньшее значение, что позволит применять обученную в дальнейшем сеть к более широкому классу изображений, избегая тем самым переобучения модели. Это даёт возможность передавать дальше лишь самые выделяющиеся признаки на картинке, не вдаваясь в мелкие подробности (избегая переобучения), но при этом, обучая модель, видеть всю картинку целиком [3].

На вход подаётся изображение, дальше свёрточный слой его обрабатывает, затем изображение пропускается через нелинейность (ReLU). Может быть несколько комбинаций свёрточных и ReLU-слоёв. Далее происходит сжатие с помощью Pooling Level. Вся эта конструкция может повторяться далее, пока не получится свёрточный слой, достаточно малый для того, чтобы его можно было сделать «плоским» – перевести в одномерный массив, – связать с полносвязным слоем, который можно пропустить через Softmax и получить уже готовый результат.

Данная архитектура имеет огромное преимущество: она по умолчанию адаптирована к сдвигам изображений. Если нужный элемент переместился, к примеру, в другой угол изображения, то свёрточные веса тоже сдвинутся. Но в отличие от перцептрона есть ещё и Pooling-слои, которые обеспечат максимальное значение активации. Через несколько итераций таких слоёв в итоге на выходе окажется именно тот, который отвечает за распознавание именно этого элемента [3].

Подавляющее число ранних исследований связано с классификацией. Сначала бинарной, а потом и многовариантной, но всё же классификацией одного объекта. Тогда как на изображении может быть не только собака, но и велосипед, автомобиль и т.п. Кроме того, у той же собаки есть лапы, хвост и т.д. Возникла потребность извлечения автоматически больше информации. И потому возникли задачи сегментации и детекции.

Основное отличие между сегментацией и детекцией состоит в том, что детекция применяется в первую очередь для задач нахождения координат объекта как на рисунке 1.

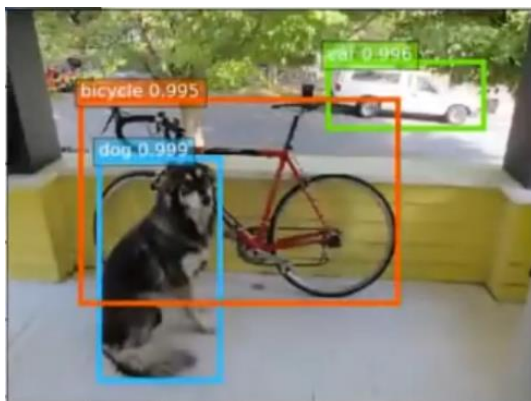


Рисунок 1 – Пример использования детекции

Детекцию можно использовать и для нахождения типа объекта, его атрибутов. Во многом из-за этого детекция порой используется чаще, чем сегментация. У детекции есть сложности с определением конкретной метрики и соответственно loss-функции. Для де-

текции важно в первую очередь точность определение координат (что прямоугольник, обводящий объект, расположен правильно) и confidence объекта (что корректно определён класс объекта). Обычно используют для метрики mAP – mean Average Precision.

Одним из основных подходов к детекции является Non Maximum Supression. Его суть состоит в том, чтобы сначала предсказать много боксов (тех самых прямоугольников), а потом отфильтровать лишние (рисунок 2). На текущий момент именно этот подход используется в подавляющем большинстве детекционных сетей [4].



Рисунок 2 – Фильтрация с помощью Non-Maximum Supression

Детекционные сети бывают двух видов: One-shot (быстрые) – YOLO, SSD, RetinaNet, SqueezeNet, DetectNet, и Two-shot (точные) – R-FCN, Fast RCNN, Faster-RCNN.

Различие между быстрыми и точными сетями важно по причине различных вариантов использования этих сетей. Скажем, если есть камера видеонаблюдения на улице, считывающая номера мимо проезжающих машин, то скорость куда важнее точности в данном случае. Но при решении задач, которые можно делать оффлайн, не на лету, таких как обработка спутниковых снимков, можно позволить себе использовать точные, но более медленные сети.

Идея One-shot сетей проста в реализации. Берётся исходное изображение, делится на регионы (ячейки), после чего для каждой такой ячейки в последнем Conv-слое сети предсказываются координаты бокса и класс объекта с центром в этой самой ячейке (рисунок 3). В обычной сегментационной сети на этом месте было бы предсказание класса каждого пикселя. Условно говоря, для бинарной классификации для каждой ячейки предсказываются 5 чисел: первые 4 – это координаты бокса, а последнее – вероятность класса. В случае мультиклассовой классификации будет не одно число в конце, а столько, сколько классов.

Данная сеть работает очень быстро, так как нужно предсказывать значительно меньшее количество раз. Скажем, вместо попиксельной классификации, когда может возникнуть ситуация с 1000x1000 вычислениями, в этом же случае будет 7x7 ячеек – 49 вычислений.

Одним из основных one-shot детекторов является YOLO (You Only Look Once), который представляет принципы Non Maximum Supression и деления на ячейки [5].

Для каждой ячейки в последнем conv-слое предсказываются координаты бокса и класс объекта с центром в ячейке. Для корректной работы данного алгоритма нужно иметь хорошо обученный энкодер, но зато при работе модели на практике получается великолепная производительность и приемлемая точность.



Рисунок 3 – Пример работы One-Shot сети

Другой популярный детектор, но уже с FPN, называется SSD (Single Shot Detector). SSD предназначается для решения проблемы multiscale, когда на вход могут подаваться изображения разных размеров.

Далее идут Two-shot детекторы. Одним из основных является R-CNN (Region-based Convolutional Neural Network). Принцип работы показан на рисунке 4.

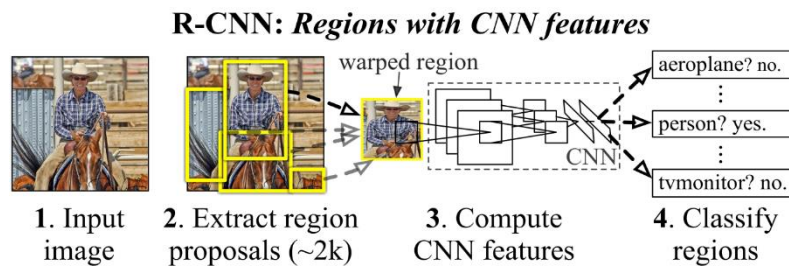


Рисунок 4 – Схема R-CNN

Условный алгоритм большинства Two-shot детекторов можно описать следующим образом. Берётся некоторое изображение, на нём некоторым способом (обычно selective choice) выбираются регионы, где возможно могут находиться объекты, которые нужно классифицировать.

Для каждого такого региона с помощью свёрточных нейросетей производится классификация.

В итоге получаем отдельные регионы с объектами и их классами. В центре стоят свёрточные нейронные сети, которые показывают хорошую точность на примере изображений. Но у такой архитектуры есть недостатки: он энергозатратный – требует большого количество времени на обучение. В методе selective search изображение сначала сегментируется на 2000 регионов, которые затем в ходе итерирования с помощью жадного алгоритма объединяются в более крупные регионы. Кроме того, сами свёрточные сети тоже требуют вычислительных мощностей. R-CNN не может быть использован для видео. Это вытекает из недостатка выше, так как все промежуточные методы энергозатратны, поэтому кадры просто не будут успевать обрабатываться. Selective search не является алгоритмом машинного обучения, поэтому могут возникнуть проблемы с выявлением потенциальных объектов на разных изображениях. На данный момент модель R-CNN устарела и не применяется.



Недостатки R-CNN привели авторов в 2015 году к улучшению модели [6]. Они назвали ее Fast R-CNN. В ее основе лежит следующая архитектура: изображение подается на вход сверточной нейронной сети и обрабатывается selective search. В итоге, имеем карту признаков и регионы потенциальных объектов. Координаты регионов потенциальных объектов преобразуются в координаты на карте признаков. Полученная карта признаков с регионами передается слою RoI (Region of Interest) pulling layer. Здесь на каждый регион накладывается сетка размером  $H \times W$ . Затем применяется MaxPulling для уменьшения размерности. Так, все регионы потенциальных объектов имеют одинаковую фиксированную размерность. Полученные признаки подаются на вход полносвязного слоя (Fully-connected layer), который передается двум другим полносвязным слоям. Первый с функцией активации softmax определяет вероятность принадлежности классу, второй – границы (смещение) региона потенциального объекта. Схема работы алгоритма приведена на рисунке 5.

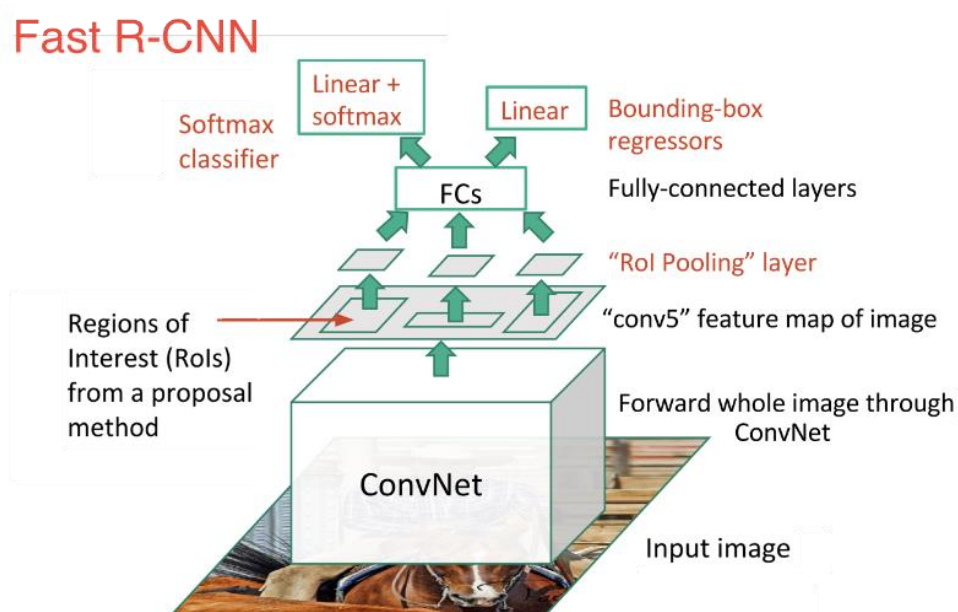


Рисунок 5 – Схема Fast R-CNN

Fast R-CNN показывает чуть более высокую точность и большие затраты времени обработки в отличие от R-CNN, так как не требуется подавать все регионы на сверточный слой. Но тем не менее, данный метод использует затратный Selective Search. Поэтому авторы пришли к Faster R-CNN.

Авторы продолжили улучшение Fast R-CNN и в 2016 предложили Faster R-CNN. Они разработали собственный метод локализации объекта взамен Selective Search – RPN (Region Proposals Networks) [7]. В основе RPN лежит система якорей. Архитектура Faster R-CNN образована следующим образом: изображение подается на вход сверточной нейронной сети. Так формируется карта признаков. Карта признаков обрабатывается слоем RPN. Здесь скользящее окно проходит по карте признаков. Центр скользящего окна связан с центром якорей. Якоря – это области, имеющие разные соотношения сторон и разные размеры. Авторы используют 3 соотношения сторон и 3 размера. На основе метрики IoU(intersection-over-union), степени пересечения якорей и истинных размеченных прямоугольников, выносится решение о текущем регионе – есть объект или нет. Далее используется алгоритм FastCNN: карта признаков с полученными объектами передается слою RoI с последующей обработкой полносвязных слоев и классификацией, а также с определением смещения регионов потенциальных объектов. Схема Faster R-CNN показана на рисунке 6.

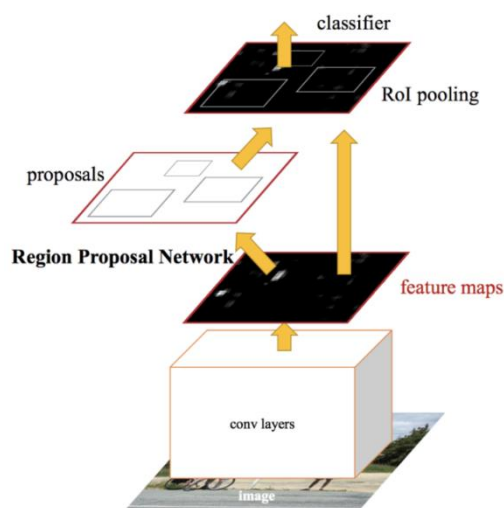


Рисунок 6 – Схема Faster R-CNN

Модель Faster R-CNN справляется немного хуже с локализацией, но работает быстрее Fast R-CNN. По различным исследованиям получалось, что R-CNN обрабатывает изображение около 50 секунд, Fast R-CNN – 2 секунды, а Faster R-CNN – около 0.2 секунды. Для улучшения работоспособности Faster R-CNN можно использовать следующие методы: добавить «тяжёлые» backbones (предобученные энкодеры из больших и громоздких сетей), добавить FPN, заменить RoI Pooling на RoI-align, производить аугментации изображений.

Таким образом, в данной работы рассмотрено текущее состояние области задач искусственного интеллекта. Особенность задач искусственного интеллекта состоит в том, что как только они будут решены, они переходят в разряд задач обычного вычисления.

Приведено определение свёрточных нейронных сетей. Описана их структура и основные отличия от обычного перцептрона: наличие свёрточных слоёв и pooling-слоёв.

Было дано определение принципов детекции в машинном обучении, а конкретно в распознавании образов.

Показана история развития свёрточных нейросетей на основе детекции, их эволюция. Описаны методы, которые используются для повышения эффективности работы сетей.

### Библиографический список

1. Комашинский, В.И. Нейронные сети и их применение в системах управления и связи / В.И. Комашинский. – М.: Горячая линия-Телеком, 2002 – 94 с.
2. Бычков, А.Г. Методика оптимизации элементов нейронной сети на примере перцептрона / А.Г. Бычков, Т.В. Киселева, Е.В. Маслова // Системы управления и информационные технологии. – 2022. – № 1. – С. 4-8.
3. Червяко, Н.И. Применение нейронных сетей для задач прогнозирования и проблемы идентификации моделей прогнозирования / Н.И. Червяков // Нейрокомпьютеры: разработка и применение, 2003. – № 10. – С. 11-14.
4. Круглов, В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика / В.В. Круглов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2001. – 382 с.
5. Хайкин, С. Нейронные сети. Полный курс : пер. с англ. – 2-е изд. - М. : ИД «Вильямс», 2006. - 1104 с.
6. Николенко, С. Глубокое обучение / С. Николенко, А. Кадури, Е. Архангельская. – СПб. : Питер, 2018. - 480 с.
7. Яковлев, Е. Л. Комплекс программ для навигации мобильных устройств внутри помещений с помощью нейронных сетей / Е. Л. Яковлев, А. Д. Хомоненко, П. А. Новиков // Информационно-управляющие системы. - 2016. - № 1. - С. 32–39.

## МЕТАГРАФЫ И РЕДУКЦИЯ КРОНА В МОДЕЛИРОВАНИИ ОРГСИСТЕМ

Блюмин С.Л.

Липецкий государственный технический университет  
г. Липецк, Россия, [sabl@lipetsk.ru](mailto:sabl@lipetsk.ru)

**Аннотация.** С ориентацией на использование в моделировании организационных систем предложена трактовка редукции Крона в контексте общих и гибких современных граф-структур – мета-графов. Предварительно напоминаются редукция Крона в первоначальном изложении Крона и используемое в ней дополнение псевдо-Шура блока блочной матрицы с применением псевдо-обращения блока в случае, когда блок необратим. В качестве примера показано, что редукция Крона блока лапласиана мета-дуги мета-графа является пустым графом.

**Ключевые слова:** организационная система, мета-дуга, мета-граф, блочная матрица, редукция Крона, псевдо-обращение, дополнение псевдо-Шура.

**Abstract.** With orientation on using in modeling of organizational systems an interpretation of Kron reduction is proposed in the context of general and flexible modern graph structures – meta-graphs. Preliminarily the Kron reduction in the original presentation of Kron is reminded as well as using in it of pseudo-Schur complement of a block of a block matrix with using of pseudo-inversion in the case when the block is noninvertible. As an example, it is shown that the Kron reduction of the block of the Laplacian of the meta-arc of the meta-graph is an empty graph.

**Keywords:** organizational system, meta-arc, meta-graph, block matrix, Kron reduction, pseudo-inversion, pseudo-Schur complement.

Математические модели и методы широко используются при решении задач моделирования, анализа и управления организационными системами [1]. Применяются как подходы непрерывной прикладной математики – дифференциальные уравнения, теория управления и т.п., так и подходы дискретной прикладной математики – математическая логика, теория графов и т.п. В последнее время все шире используются более развитые, гибкие и общие, чем «обычные» графы, современные графовые структуры, объединяемые подходом графоструктурного моделирования, в частности, метаграфы [2]. Некоторое развитие их теории и приложений содержится в [3].

Важной для математических моделей задачей является их редукция – снижение или понижение порядка, размерности, степени и т.п. Известны различные подходы к редукции математических моделей. Один из них был предложен Кроном ([4], Глава 10 «Формулы редукции»). Метод редукции Крона активно используется в настоящее время в связи с электрическими сетями [5]; одной из последних в этом направлении является работа [6]. Представляет интерес перенесение накопленного здесь опыта на достаточно широкие классы организационных систем.

Метод редукции Крона использует известный из матричной алгебры метод дополнения Шура блока блочной матрицы, предложенный в [7] и получивший в последнее время значительное развитие [8]. Он использует обращение блока матрицы, а в тех случаях, когда блок необратим, использует его псевдообращение, алгоритмы которого представлены в [9].

Редукция Крона особенно эффективно реализуется и интерпретируется в тех случаях, когда математическая модель объекта описывается с использованием графовых структур; именно это характерно для цитированной выше работы [5] и многих других работ. При этом существенно используются матричные характеристики графовой структуры – матрицы инцидентности, смежности, валентности и лапласианы.

Цель данной работы – проиллюстрировать применение редукции Крона на простейшем примере блока лапласиана одной метадуги метаграфа.

Прежде чем переходить к интерпретации редукции Крона в графо-структурном моделировании, представляет интерес изложить редукцию Крона в его первоначальной

трактовке. Она дана в [4], Глава 10 «Формулы редукции». Крон рассматривает линейное инвариантное уравнение  $\mathbf{e}=\mathbf{z}\cdot\mathbf{i}$ , описывающее простейшую сеть, где  $\mathbf{e}$  – вектор напряжений,  $\mathbf{i}$  – вектор токов,  $\mathbf{z}$  – матрица импедансов соответствующих размеров. Обосновывается возможность уменьшения числа уравнений в контексте такой электрической сети. Она связана с часто возникающей необходимостью разбиения вектора напряжений и вектора токов каждого на два подвектора и обнулением одного из подвекторов напряжения. Это обоснование позволяет записать уравнения  $\mathbf{e}=\mathbf{z}\cdot\mathbf{i}$  как два инвариантных уравнения:

$$\mathbf{e}_1=\mathbf{z}_1\cdot\mathbf{i}^1+\mathbf{z}_2\cdot\mathbf{i}^2,$$

$$\mathbf{0}=\mathbf{z}_3\cdot\mathbf{i}^1+\mathbf{z}_4\cdot\mathbf{i}^2.$$

Здесь  $\mathbf{e}_1$  – необнуляемый и подлежащий определению через  $\mathbf{i}^1$  подвектор напряжения (обнуляемый подвектор напряжения обозначен  $\mathbf{0}$ ),  $\mathbf{i}^1$  и  $\mathbf{i}^2$  – соответствующие подвекторы токов,  $\mathbf{z}_1$ ,  $\mathbf{z}_2$ ,  $\mathbf{z}_3$ ,  $\mathbf{z}_4$  – соответствующие блоки матрицы импедансов. Для определения  $\mathbf{e}_1$  через  $\mathbf{i}^1$  из первого уравнения следует исключить  $\mathbf{i}^2$ . В предположении обратимости блока  $\mathbf{z}_4$  из второго уравнения получаем  $\mathbf{i}^2 = -\mathbf{z}_4^{-1}\cdot\mathbf{z}_3\cdot\mathbf{i}^1$ . Подстановка в первое уравнения приводит к искомому выражению  $\mathbf{e}_1$  через  $\mathbf{i}^1$ :

$$\mathbf{e}_1=(\mathbf{z}_1 - \mathbf{z}_2 \cdot \mathbf{z}_4^{-1} \cdot \mathbf{z}_3) \cdot \mathbf{i}^1.$$

Таким образом, два инвариантных уравнения сведены к одному инвариантному уравнению, так что редукция выполнена. При этом в редукции использовано дополнение Шура [7] блока  $\mathbf{z}_4$  в матрице  $\mathbf{z}$  при условии обратимости этого блока:

$$(\mathbf{z}/\mathbf{z}_4)=\mathbf{z}_1 - \mathbf{z}_2 \cdot \mathbf{z}_4^{-1} \cdot \mathbf{z}_3.$$

Но дополняемый по Шуру блок может быть необратим; тогда используется псевдообращение и говорят о дополнениях псевдо-Шура, которые в соответствии с [8] записываются так (индекс  $P$  связан с использованием псевдообращения):

$$M_{(p+r)\times(q+s)} = \begin{bmatrix} A & B \\ p \times q & p \times s \\ C & D \\ r \times q & r \times s \end{bmatrix} \rightarrow$$

$$\rightarrow A = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix},$$

$$(M/A)_P = D - C \cdot A^+ \cdot B$$

$$(M/B)_P = C - D \cdot B^+ \cdot A$$

$$(M/C)_P = B - A \cdot C^+ \cdot D$$

$$(M/D)_P = A - B \cdot D^+ \cdot C$$

Ниже дополнении псевдо-Шура используется в контексте графоструктурного моделирования.

В дальнейшем используется симметричная матрица  $D = \begin{bmatrix} c^2 & cd \\ cd & d^2 \end{bmatrix}$  (обозначение соответствует обозначенному выше нижнему правому блоку матрицы  $M$ ; такой блок, возможно, в иных обозначениях, неоднократно используется в дальнейшем), связанная с ней матрица  $D^T \cdot D = D^2 = (c^2 + d^2) \cdot D$  и матрица

$$D^+ = \varphi_1^{-1} \cdot \Phi_1 \cdot D^T = \frac{1}{(c^2 + d^2)^2} D$$

Перейдем к редукции Крона метадуги простейшего метаграфа. Пусть множество из 4 вершин носителя разбито на 2 подмножества; они допускают интерпретацию как метавершины метаграфа [2]. Их можно рассматривать как концы метадуги, помечаемые в ее столбце инцидентности знаками: начало (-) и конец (+). Для параметризации последующих выкладок вершинам приписаны веса  $a, b, c, d$ .

Столбец инцидентности этой метадуги

$$I = \begin{bmatrix} -a \\ -b \\ c \\ d \end{bmatrix},$$

а столбцы инцидентности метавершин

$$I_1 = \begin{bmatrix} -a \\ -b \end{bmatrix}, \quad I_2 = \begin{bmatrix} c \\ d \end{bmatrix}.$$

Лапласиан этой метадуги

$$L = I \cdot I^T = \begin{bmatrix} -a \\ -b \\ c \\ d \end{bmatrix} \cdot [-a \quad -b \quad c \quad d] =$$

$$= \begin{bmatrix} a^2 & ab & -ac & -ad \\ ab & b^2 & -bc & -bd \\ -ac & -bc & c^2 & cd \\ -ad & -bd & cd & d^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{11} & L_{12} \\ L_{12}^T & L_{22} \end{bmatrix},$$

причем

$$L_{11} = I_1 \cdot I_1^T, L_{12} = I_1 \cdot I_2^T, L_{22} = I_2 \cdot I_2^T.$$

Блок  $L_{22}$  совпадает с матрицей  $D$ , псевдообратная которой указана выше, что теперь используется: так как матрица  $L_{22}$ , очевидно, необратима,  $\det(L_{22}) = 0$ , то дополнение Шура блока  $L_{22}$  лапласиана определяется по формуле

$$L_K = L_{11} - L_{12} \cdot L_{22}^+ \cdot L_{12}^T,$$

так что

$$\begin{aligned} L_K &= \begin{bmatrix} a^2 & ab \\ ab & b^2 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} -ac & -ad \\ -bc & -bd \end{bmatrix} \cdot \\ &\cdot \frac{1}{(c^2 + d^2)^2} \begin{bmatrix} c^2 & cd \\ cd & d^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} -ac & -bc \\ -ad & -bd \end{bmatrix} = \\ &= \begin{bmatrix} a^2 & ab \\ ab & b^2 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} a^2 & ab \\ ab & b^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} = 0. \end{aligned}$$

Таким образом, редукция Крона метадуги метаграфа является нулевым графом. С другой стороны, дополнение Шура столбца инцидентности этой метадуги:

$$I_K = I_1 \cdot \Pi = I_1 \cdot (E_1 - I_2^+ \cdot I_2).$$

Так как

$$I_2^+ = \begin{bmatrix} c \\ d \end{bmatrix}^+ = \frac{1}{c^2 + d^2} \begin{bmatrix} c & d \end{bmatrix},$$

то

$$\Pi = 1 - \frac{1}{c^2 + d^2} \begin{bmatrix} c & d \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} c \\ d \end{bmatrix} = 1 - 1 = 0,$$

а потому и

$$I_K = \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} \cdot 0 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} = 0,$$

так что снова выполняется контроль – стандартное соотношение между матрицами инцидентности и лапласианами:

$$L_K = I_K \cdot I_K^T = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} = 0.$$

Это еще раз подтверждает, что редукция Крона метадуги метаграфа является нулевым графом. В итоге в контексте метаграфов достигнута основная цель редукции, в дан-

ном случае – редукции Крона: число вершин редуцированного метаграфа меньше числа вершин исходного метаграфа.

Распространение данного исследования на матрицы инцидентности произвольного метаграфа, составленные из столбцов инцидентности его метадуг, требует более громоздких вычислений.

Выше отмечалось, что известны различные подходы к редукции математических моделей. Одним из них является метод Петрова-Галеркина, реализующий кластерный подход к редукции моделей, который в [10] связан с метаграфами, то есть с этим методом выполнено то, что в данной работе предпринято с методом редукции Крона.

В заключение представляется целесообразным подчеркнуть принципиальное отличие орметаграфа [2,3] от орграфа: если дуга орграфа определяется как упорядоченная пара его вершин, то метадуга орметаграфа определяется как упорядоченная пара его метавершин, которые являются наборами вершин или гиперребрами соответствующего гиперграфа; но в гиперграфе пары гиперребер не рассматриваются. Предельно простой пример метаграфа рассмотрен выше: это одна метадуга, «концами» которой являются два «обычных» ребра, что можно наглядно представить в виде буквы H, подчеркнув, что в «обычном» графе пары ребер не рассматриваются.

Также представляется целесообразным процитировать обоснование Кроном в [4] его метода редукции. Во многих задачах все контуры электрической сети, лежащей в основе энергосистемы, можно разбить на две группы: одна может содержать приложенные напряжения, а другая не имеет напряжений, но является постоянно коротко замкнутой. Если для анализа энергосистемы не требуется знать токи в постоянно замкнутых контурах, то соответствующие уравнения математической модели можно опустить. В других задачах некоторые из контуров, возможно, не играют важной роли при анализе, даже если к ним приложены напряжения, так что их можно исключить из рассмотрения уменьшением числа уравнений, что может быть, с другой стороны, мотивировано попыткой упростить решение системы уравнений математической модели, так как обычные решения системы линейных уравнений с помощью определителей или исключения переменных по одному требуют длительного времени. Предлагаемый здесь метод редукции развивает прием, экономящий труд. Метод исключает много промежуточных и ненужных шагов, которые присутствуют при решении систем линейных уравнений с помощью определителей и метода последовательного исключения переменных по одному. В соответствии с предлагаемым методом редукции исключение нескольких переменных за один шаг включает в формуле дополнения Шура  $(z/z_4)=z_1 - z_2 \cdot z_4^{-1} \cdot z_3$  из [4,7] и соответствующей формуле

дополнения псевдо-Шура  $(M/D)_P = A - B \cdot D^+ \cdot C$  из [8] следующие операции:

– вычисление обратной к  $z_4$  (псевдообратной к  $D$ ) матрицы, в которой исключается столько строк и столбцов, сколько неизвестных;

– два перемножения  $z_4^{-1} \cdot z_3$  и  $z_2 \cdot z_4^{-1} \cdot z_3$  (соответственно  $D^+ \cdot C$  и  $B \cdot D^+ \cdot C$ );

– одно вычитание.

Следует отметить, что Крон, фактически используя дополнение Шура, о нем не упоминает, хотя к этому времени в матричной алгебре оно было хорошо известно.

Таким образом, в данной работе проиллюстрировано применение редукции Крона на простейшем примере блока лапласиана одной метадуги метаграфа.

### Библиографический список

1. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами / Д.А. Новиков. – М.: МПСИ, 2005. – 584 с.
2. Basu, A. Metagraphs and Their Applications / A. Basu, R. Blanning. – NY: Springer, 2007.–172 p.

3. Блюмин, С.Л. Развитие методов графоструктурного моделирования и анализа конечных изменений / С.Л. Блюмин, Г.С. Боровкова, Н.Ю. Жбанова, А.С. Сысоев. – Липецк: ЛГТУ, 2021. – 110 с.
4. Крон, Г. Тензорный анализ сетей / Г. Крон. – М.: Сов. Радио, 1978. – 720 с.
5. Dorfler, F. Electrical networks and algebraic graph theory: Models, properties, and applications / F. Dorfler, J. W. Simpson-Porco, F. Bullo. // Proc. IEEE. – 2018. – Vol. 106, № 5. – P. 977–1005.
6. Singh, M. Time-domain Generalization of Kron Reduction / M. Singh, S. Dhople, F. Dorfler, G. Giannakis. // arXiv:2203.12084v1, 2022. – 15 p.
7. Schur, J. Uber Potenzreihen, die im Innern des Einheitskreises beschränkt sind / J. Schur. // J. Reine Angew. Math. – 1917. – № 147. – S. 205-232.
8. Redivo-Zaglia, M. Pseudo-Schur complements and their properties / M. Redivo-Zaglia. // Structured Numerical Linear Algebra Problems: Algorithms and Applications. – 2004.– 42 p.
9. Погодаев, А.К. Оптимизация. Псевдообращение. Итерации и рекурсии / А.К. Погодаев, С.Л. Блюмин, С.П. Миловидов, А.С. Сысоев. – Липецк: ЛГТУ, 2015.–195 с.
10. Blyumin, S. Cluster Approach to Model Reduction: Petrov-Galerkin Method, Hypergraphs, Metagraphs / S. Blyumin, A. Galkin, M. Oreshina. // Proc. 3rd Int. Conf. SUMMA. – Liptsk: LSTU, 2021. – P. 40–43.

УДК 519.6

## СТИМУЛИРОВАНИЕ ПУБЛИКАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ

Щепкин А.В.<sup>1</sup>, Амелина К.Е.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ИПУ РАН

г. Москва, Россия, av\_shch@mail.ru

<sup>2</sup>МГТУ им. Н.Э. Баумана

г. Москва, Россия, amelks@mail.ru

**Аннотация.** Проводится анализ механизма стимулирования за публикацию статей. Каждый тип статьи для организатора стимулирования – Центра имеет свою важность, соответственно, для автора каждый тип статьи характеризуется затратами на ее подготовку. Эффективность механизма стимулирования определяется по количеству и типу подготовленных статей коллективом авторов в ситуации равновесия по Нэшу.

**Ключевые слова:** механизм стимулирования, равновесие Нэша, показатель публикационной деятельности.

**Abstract.** An analysis of the incentive mechanism for the publication of articles is carried out. Each type of article for the organizer of incentives - the Center has its own importance, respectively, for the author, each type of article is characterized by the cost of its preparation. The effectiveness of the incentive mechanism is determined by the number and type of articles prepared by a team of authors in a Nash equilibrium situation.

**Keywords:** incentive mechanism, Nash equilibrium, index of publication activity.

Различные механизмы стимулирования достаточно широко представлены в работах по теории активных систем [1-10]. В частности, в работах, посвященных распределению фонда стимулирования среди исполнителей работ (агентов) особое место уделялось формированию процедуры определения вклада каждого агента в общий результат [7,8,10]. При этом достаточно подробно рассматривались вопросы определения вклада агентов при стимулировании по нескольким показателям [7].

Обозначим:

$N = \{1, 2, \dots, n\}$  множество агентов, публикующих свои работы;

$M = \{1, 2, \dots, m\}$  множество типов публикаций;

$x_{ij}$  количество публикаций  $i$ -го агента  $j$ -го типа.



Показатель публикационной деятельности  $i$ -го агента определим, как

$$P_i = \sum_{j \in M} k_j x_{ij}, \quad i \in N,$$

где коэффициенты  $k_j$  соответствуют важности  $j$ -го типа публикации.

Если на стимулирование всех агентов Центр выделяет фонд  $\Phi$ , то, как показано в [7] вклад  $i$ -го агента в общий результат может быть определен как

$$\delta_i = \frac{P_i}{\sum_{q \in N} P_q}, \quad i \in N.$$

Размер вознаграждения  $\Pi_i$ , который получит  $i$ -й агент будет определяться выражением

$$\Pi_i = \frac{P_i}{\sum_{q \in N} P_q} \Phi, \quad i \in N.$$

При этом целевая функция  $i$ -го агента при этом может быть записана в виде

$$f_i = \Pi_i - \sum_{j \in M} h_{ij} x_{ij}, \quad i \in N. \quad (1)$$

Здесь  $h_{ij}$  коэффициенты затрат  $i$ -го агента на подготовку  $j$ -го типа публикаций.

Следует отметить, что если для  $\forall i \in N$  и  $j \in M$  имеем  $x_{ij} = 0$ , то это соответствует тому, что никаких публикаций агентами не подготовлено, поэтому  $\delta_i = 0$ , и, соответственно,  $f_i = 0$ .

В дальнейшем будем считать, что все агенты готовят такое количество публикаций каждого типа, чтобы максимизировать свои целевые функции, то есть стараются добиться того, чтобы полученное вознаграждение максимально превышало их затраты. Фактически это игровая ситуация, когда все агенты делят общий фонд стимулирования, причем размер вознаграждения одного агента, а значит и значение его целевой функции зависит от действий всех агентов. Устойчивое состояние, в котором можно судить об эффективности механизма стимулирования в этой ситуации – это ситуация равновесия по Нэшу.

Утверждение 1. Если показатель публикационной деятельности  $t$ -го агента составляет величину

$$P_t = \sum_{j \in M} k_j x_{tj}, \quad (2)$$

то целевая функция  $t$ -го агента в ситуации равновесия по Нэшу принимает максимальное значение, если  $x_{t1}^* = x_{t2}^* = \dots = x_{ts-1}^* = x_{ts+1}^* = \dots = x_{tm}^* = 0$ , а  $x_{ts}^* = \hat{x}_{ts} > 0$ , при этом номер  $s$  находится из условия

$$\frac{h_{ts}}{k_s} = \min_{j \in M} \left\{ \frac{h_{tj}}{k_j} \right\}. \quad (3)$$

*Доказательство.* Пусть имеются отличные от нуля значения  $\{x_{ij}\}$ ,  $j \in M$ , по которым рассчитывается (2). Очевидно, для номера  $s$ , определенного в соответствии с (3)

можно выбрать такой  $\hat{x}_{ts}$ , что выполняется равенство  $k_s \hat{x}_{ts} = \sum_{j \in M} k_j x_{ij}$ .

Покажем теперь, что справедливо неравенство

$$\frac{k_s \hat{x}_{ts}}{\sum_{q \in N} P_q} \Phi - h_{ts} \hat{x}_{ts} > \frac{\sum_{j \in M} k_j x_{ij}}{\sum_{q \in N} P_q} \Phi - \sum_{j \in M} h_{ij} x_{ij} \quad (4)$$

Так как  $\frac{k_s \hat{x}_{ts}}{\sum_{q \in N} P_q} \Phi = \frac{\sum_{j \in M} k_j x_{ij}}{\sum_{q \in N} P_q} \Phi$ , достаточно показать, что

$$h_{ts} \hat{x}_{ts} < \sum_{j \in M} h_{ij} x_{ij} \quad (5)$$

В силу того, что  $P_t = k_s \hat{x}_{ts}$  из (2) следует

$$\hat{x}_{ts} = \sum_{j \in M} \frac{k_j}{k_s} x_{ij} \quad (6)$$

Подставляя (5) в (6) получаем

$$h_{ts} \sum_{j \in M} \frac{k_j}{k_s} x_{ij} < \sum_{j \in M} h_{ij} x_{ij},$$

или

$$\sum_{j \in M} k_j \left( \frac{h_{ts}}{k_s} - \frac{h_{ij}}{k_j} \right) x_{ij} < 0$$

Так как справедливо (3), то для любого  $j \in M$  справедливо неравенство

$$\frac{h_{ts}}{k_s} - \frac{h_{ij}}{k_j} \leq 0$$

Из справедливости этого неравенства следует справедливость неравенства (4). Утверждение доказано.

Обозначим через  $s_i$  номер типа публикации, для которого справедливо

$$\frac{h_{is_i}}{k_{s_i}} = \min_{j \in M} \left\{ \frac{h_{ij}}{k_j} \right\}, \quad i \in N. \quad (7)$$

В этом случае, целевую функцию  $i$ -го агента можно записать в виде

$$f_i = \frac{k_{s_i} x_{is_i}}{\sum_{q \in N} k_{s_q} x_{qs_q}} \Phi - h_{is_i} x_{is_i} \quad (8)$$

Каждый агент стремится получить максимум своей целевой функции, который находится из решения системы уравнений

$$\frac{\partial f_i}{\partial x_{is_i}} = k_{s_i} \frac{\sum_{q \in N} k_{s_q} x_{qs_q} - k_{s_i} x_{is_i}}{\left( \sum_{q \in N} k_{s_q} x_{qs_q} \right)^2} \Phi - h_{is_i} = 0, \quad i \in N.$$

Решение этой системы имеет вид

$$x_{is_i}^* = \frac{n-1}{k_{s_i} \sum_{q \in N} \frac{h_{qs_q}}{k_{s_q}}} \Phi \left( 1 - \frac{h_{is_i}}{k_{s_i}} \frac{n-1}{\sum_{q \in N} \frac{h_{qs_q}}{k_{s_q}}} \right), \quad i \in N. \quad (9)$$

Это решение имеет смысл, когда  $x_{is_i}^* \geq 0$ . Если же установлены коэффициенты важности  $k_j, j \in M$ , и коэффициенты затрат агентов  $h_{ij}, i \in N, j \in M$  такие, что найдется такой агент под номером  $t$ , для которого справедливо неравенство

$$1 - \frac{h_{ts_t}}{k_{s_t}} \frac{n-1}{\sum_{q \in N} \frac{h_{qs_q}}{k_{s_q}}} < 0,$$

то этому агенту для максимизации целевой функции (1) вообще не выгодно публиковать свои статьи. В этом случае число публикаций остальных агентов будет определяться выражением

$$x_{is_i}^* = \frac{n-2}{k_{s_i} \sum_{\substack{q \in N \\ q \neq t}} \frac{h_{qs_q}}{k_{s_q}}} \Phi \left( 1 - \frac{h_{is_i}}{k_{s_i}} \frac{n-2}{\sum_{\substack{q \in N \\ q \neq t}} \frac{h_{qs_q}}{k_{s_q}}} \right), \quad i \in N, i \neq t.$$

Утверждение 2. Если для  $\forall i \in N$  справедливо неравенство

$$1 - \frac{h_{is_i}}{k_{s_i}} \frac{n-1}{\sum_{q \in N} \frac{h_{qs_q}}{k_{s_q}}} \geq 0, \quad (10)$$

где номер  $s_i$  определяется условием (7), то целевая функция (8) в ситуации равновесия по Нэшу принимает неотрицательные значения.

*Доказательство.* Подставляя в (8) равновесные значения (9) получаем

$$f_i(x^*) = \left( 1 - \frac{h_{is_i}}{k_{s_i}} \frac{n-1}{\sum_{q \in N} \frac{h_{qs_q}}{k_{s_q}}} \right)^2 \Phi.$$

Отсюда видно, что  $f_i(x^*) \geq 0$ .

Утверждение доказано.

Таким образом, если справедливо (10), то общее количество всех публикаций агентов определяется выражением

$$X = \sum_{i \in N} x_{is_i} = \frac{n-1}{\sum_{q \in N} \frac{h_{qs_q}}{k_{s_q}}} \Phi \left( \sum_{q \in N} \frac{1}{k_{s_q}} - \sum_{q \in N} \frac{h_{qs_q}}{(k_{s_q})^2} \frac{n-1}{\sum_{q \in N} \frac{h_{qs_q}}{k_{s_q}}} \right).$$

Особенность рассматриваемой ситуации заключается в том, что при этом может быть получено большое количество публикаций одного типа и не будет публикаций других типов.

### Библиографический список

1. Бурков В.Н., Еналеев А.К., Новиков Д.А. Механизмы стимулирования в вероятностных моделях социально-экономических систем // Автоматика и Телемеханика. 1993. № 11. С. 3 – 30.
2. Новиков Д.А. Оптимальные механизмы стимулирования в активной системе с вероятностной неопределенностью. // Автоматика и Телемеханика. 1995. № 12. С. 118-123.
3. Новиков Д.А. Стимулирование в социально-экономических системах (базовые математические модели). М.: ИПУ РАН, 1998. - 216 с.
4. Новиков Д.А., Цветков А.В. Механизмы стимулирования в многоэлементных организационных системах. М.: Апостроф. 2000. - 184 с.
5. Кочиева Т.Б., Новиков Д.А. Базовые системы стимулирования. М.: Апостроф, 2000. 108 С.
6. Новиков Д.А. Стимулирование в организационных системах. М.: Синтег, 2003 - 312 с.
7. Толстых А.В., Щепкина М.А. Стимулирование в коллективе по нескольким показателям. Труды Международной конференции «Теория активных систем – 2005». М.: ИПУ РАН, 2005. С.41 – 43.
8. Иващенко А.А., Новиков Д.А., Щепкина М.А. Модели и механизмы многокритериального стимулирования в организационных системах. М.: ИПУ РАН, 2006. 60 с.
9. Васильева О.Н., Засканов В.В., Иванов Д.Ю., Новиков Д.А. Модели и методы материального стимулирования (теория и практика) / Под ред. проф. В.Г. Засканова и проф. Д.А. Новикова. – М.: ЛЕНАНД, 2007. – 288 с.
10. Щепкин А.В. Повышение эффективности механизма стимулирования путем выбора показателей оценки деятельности членов трудового коллектива // Проблемы управления. 2011. № 3. С.49-55.

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМА ANTI-TAILGATE ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ НЕСАНКЦИОНИРОВАННОГО ПРОХОДА

Графкин А.В., Александрова М.И.

Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С.П. Королева  
г. Самара, Россия, lvg\_alex@mail.ru; marialexan25@gmail.com

**Аннотация.** Статья посвящена разработке BIM-модели для построения системы стерео-видеонаблюдения, позволяющей реализовать алгоритм anti-tailgate. BIM-модель представляет собой информационную модель существующего объекта и обладает присущими ему свойствами. Это даёт возможность производить с ней технические расчеты, настраивать под систему. Разработанные BIM-модели реальных устройств позволили оцифровать алгоритм, устраняющий уязвимость физического доступа на объект.

**Ключевые слова:** anti-tailgate, BIM, САПР, СКУД, стерео-видеонаблюдение.

**Abstract.** The article is devoted to the development of a BIM model for building a stereo video surveillance system that allows implementing the anti-tailgate algorithm. A BIM model is an information model of an existing object and has its own properties. This makes it possible to make technical calculations with it, adjust it to the system. The developed BIM models of real devices made it possible to digitize an algorithm that eliminates the vulnerability of physical access to an object.

**Keywords:** anti-tailgate, BIM, CAD, ACMS, stereo video surveillance.

В последнее время происходит бурное развитие информационных технологий, которые активно внедряются в различные отрасли промышленности и значительно облегчают работу многих сотрудников. Одной из таких технологий является BIM-моделирование, оказавшее значительное влияние на архитектурно-строительное проектирование. Если раньше проекты зданий выполнялись на бумаге, что влекло за собой множество неточностей и ошибок, то сейчас проектирование целиком перешло в цифровую область [1]. Работать над проектами, заносить в них новую информацию, изменять старую, стало гораздо проще благодаря BIM-технологиям. Кроме того, многие программы для BIM-проектирования предлагают различные инструменты, расширения и дополнения, позволяющие свободно работать не только с архитектурно-строительной информацией о проекте, но и с инженерными системами, электрическими схемами, цепями. В свою очередь производители, как технических устройств, так и объектов обстановки, дизайна, предлагают широкий выбор BIM-моделей своей продукции, которые можно загрузить и работать с ними, изменяя под свои нужды, моделируя уникальную систему.

Информационное моделирование зданий (Building Information Modeling, BIM) – процесс, в результате которого формируется информационная модель здания (в широком смысле любого объекта инфраструктуры), при этом, для каждой стадии соответствует некоторая модель, которая отображает объем обработанной на этот момент информации (архитектурной, конструкторской, технологической, экономической) о здании или сооружении, к которой имеют доступ все заинтересованные лица [2].

В основе BIM лежит объектно-ориентированное проектирование. Иными словами, все работающие в этой технологии программы предполагают моделирование на основе семейств - большого количества заранее созданных объектов. Основные проектные операции ведутся с такими элементами, как с неделимыми блоками, своего рода «комплексующими».

Под BIM можно понимать не только процесс построения модели, но и саму конечную модель, наполненную информацией. Информационная модель – это пригодная для компьютерной обработки информация о проектируемом или существующем строительном объекте, при этом:

– нужным образом скоординированная, согласованная и взаимосвязанная;

- имеющая геометрическую привязку;
- пригодная для расчетов и анализа;
- допускающая необходимые обновления [3].

Проект, реализующий BIM технологии, состоит не просто из несущих линий и текстур, как при обычном 3D-моделировании, но и из множества искусственных элементов, которые в реальной жизни имеют физические свойства. Это значит, что проектировщик, когда закладывает в свою модель все исходные данные, фактически переводит настоящий объект в цифровое пространство. Процесс усложняется тем, что пока объект не создан, он находится в стадии разработки, и есть только исходные данные и расчеты, реальных свойств же пока нет. Именно для того, чтобы определить их, требуются САПР, в которых и происходит BIM моделирование. В специализированное программное обеспечение заложены функции по автоматизированному расчету свойств и характеристик будущей BIM модели.

Подводя итог, BIM-технологии позволяют создать информационную модель, обладающую свойствами реального объекта. Кроме того, они предполагают совместную работу нескольких участников проекта (технологов, архитекторов, конструкторов, инженеров и т.д.), предоставляют возможность производить технические расчеты и анализ характеристик. Благодаря этому, уменьшается количество ошибок, сокращается время работы над проектом, а недостаток информации стремится к минимуму.

Целью данной работы является использование BIM-технологий для реализации алгоритма anti-tailgate. Серьезная уязвимость – физический доступ к охраняемым на объекте данным. Данная уязвимость может быть реализована с помощью двойного прохода или по-другому tailgating, когда злоумышленник, проходит через охраняемую дверь без ведома лица, имеющего к ней законный доступ, тем самым осуществляя несанкционированный проход на объект [4].

Представим следующую ситуацию: у нас есть защищаемый объект, физический доступ к которому осуществляется через прохождение системы управления и контроля доступом по пропуску сотрудника объекта. Для прохода нужно приложить пропуск к считывателю, установленному на турникете или рядом с охраняемой дверью. При этом возникают следующие ситуации, угрожающие безопасности:

1. сотрудник прикладывает пропуск к считывателю и вместе с ним проходит нарушитель;
2. сотрудник выходит с объекта, пропуская нарушителя внутрь.

Алгоритм anti-tailgate призван предотвращать подобные ситуации, его суть заключается в обнаружении нескольких лиц на территории, с которой может быть получен доступ к охраняемой зоне и последующего срабатывания сигнала тревоги [5].

В качестве защищаемого объекта выбран корпус Самарского университета, для предотвращения двойного прохода использовались возможности стереокамер, которые по полученным стереоизображениям строили карту глубин, дающую представление о глубине видимого пространства и объемности предметов, находящихся в нем. Данная система защиты с помощью стереокамер, фиксирующих нескольких человек в зоне прохода, не позволяет получить несанкционированный доступ к объекту нескольким лицам.

Существует множество различных программных решений, позволяющих работать с BIM-технологией. Для данной работы выбран САПР Autodesk Revit в силу таких преимуществ как:

1. возможность задать связи между объектами с помощью формул и отношений. При создании BIM моделей устройств это избавляет от ручного внесения правок в характеристики, при изменении одного параметра, связанного с другими формулой, все расчеты производятся автоматически;

2. функция многовариантности одного и того же решения, объекта. Позволяет создавать несколько объектов, принадлежащих к одному семейству, но различающихся некоторыми параметрами, например, размерами;
3. управление и проработка мельчайших деталей чертежа;
4. вложенность нормативы по армированию и обустройству коммуникаций по образцу европейских стандартов;
5. возможность внедрения компонентов с внешних файлов;
6. полная поддержка импорта и экспорта с AutoCAD.

Autodesk Revit дает возможность работать с технологией, архитектурой, инженерными коммуникациями, что позволяет как построить архитектурную модель корпуса Самарского университета, так и наполнить эту модель необходимыми устройствами системы безопасности.

Перед началом работы в Autodesk Revit нужно подобрать необходимые библиотеки семейств для будущей BIM-модели: строительные конструкции (стены, потолки, крыши, колонны), элементы мебели, оргтехники, технические устройства и т.д. В Autodesk Revit есть готовые семейства базовых BIM-моделей, которые можно настроить и использовать. Отсутствующие в Autodesk Revit BIM-модели можно либо загрузить из библиотеки семейств, либо создать в самой программе. Наиболее известные библиотеки BIM-моделей: BIMObject, BIMLIB, NBS National BIM Library.

Кроме того, для Revit существуют плагины, позволяющие выбрать подходящую модель камеры, настроить её параметры, такие как угол обзора, наклон, поворот камеры, разрешение. С учетом данных параметров в дальнейшем происходит построение реалистичного изображения, получаемого камерой (рисунок 1). Подобные возможности предоставляют плагины RVi BIM [6] и Axis.

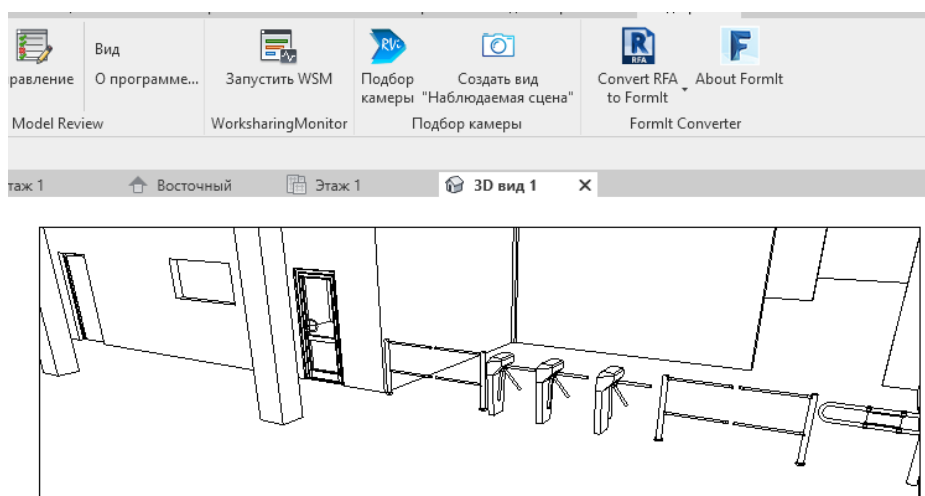


Рисунок 1 – Вид с камеры RVi BIM

Для созданной BIM-модели корпуса Самарского университета (рисунок 2) разработаны BIM-модели следующих устройств:

- NVIDIA Jetson Xavier NX;
- RPi camera (D);
- ZED2 stereo camera.

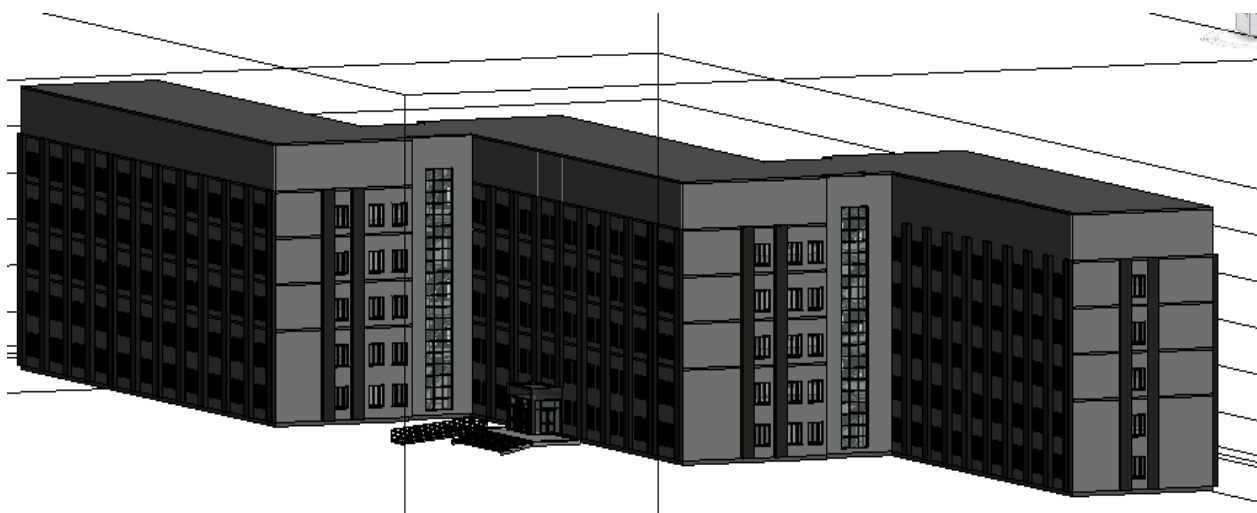


Рисунок 2 – BIM-модель корпуса Самарского университета

В качестве примера, загруженная 3D модель камеры ZED2 (рисунок 3), наделена идентифицирующими её свойствами (рисунок 4), плагин RVi, примененный к камере, позволяет настроить в свойствах поля размеров, данных, видимости (рисунок 4).

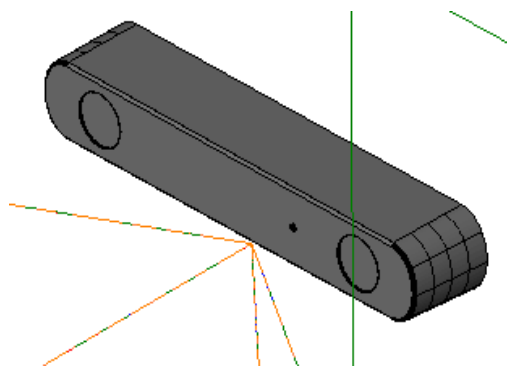


Рисунок 3 – 3D модель ZED2

Для защиты от уязвимости tailgating спроектирована схема стереовидеонаблюдения, представленная на рисунке 5. Принцип работы данной системы состоит в том, что камеры идентифицируют зону проходной, полученные стереоизображения передаются суперкомпьютеру Jatson Xavier NX, что позволяет построить карту глубины объектов, по которой определяется количество лиц, находящихся в зоне прохода.

Реализация BIM модели данной схемы проходной корпуса Самарского университета представлена на рисунках 6, 7 в 2D виде, 8, 9 – в 3D. Для суперкомпьютера Jatson Xavier NX создано условное обозначение «J». Суперкомпьютер с камерами образуют электрическую цепь, провода в Revit обозначены стрелками.

В данной работе произведена оценка существующей системы безопасности учебного корпуса университета. В рамках оценки выявлены уязвимости, связанные с системой безопасности. Современные технологии построения цифровой копии реальных объектов зданий и сооружений (BIM) применялись для построения цифрового двойника учебного корпуса. Полученная модель оснащена системой контроля и управления доступом и видеонаблюдения с учетом ранее выявленных недостатков системы безопасности. Однако не все уязвимости системы безопасности удалось решить доступными устройствами. Для решения этих проблем создано устройство, позволяющее строить карту глубин объекта и выявлять нештатные ситуации на нём. Для созданного программно-



аппаратного устройства, реализованного на основе микрокомпьютера Jatson Xavier NX, создана ВІМ модель, и на базе кафедры проходит апробация алгоритма.

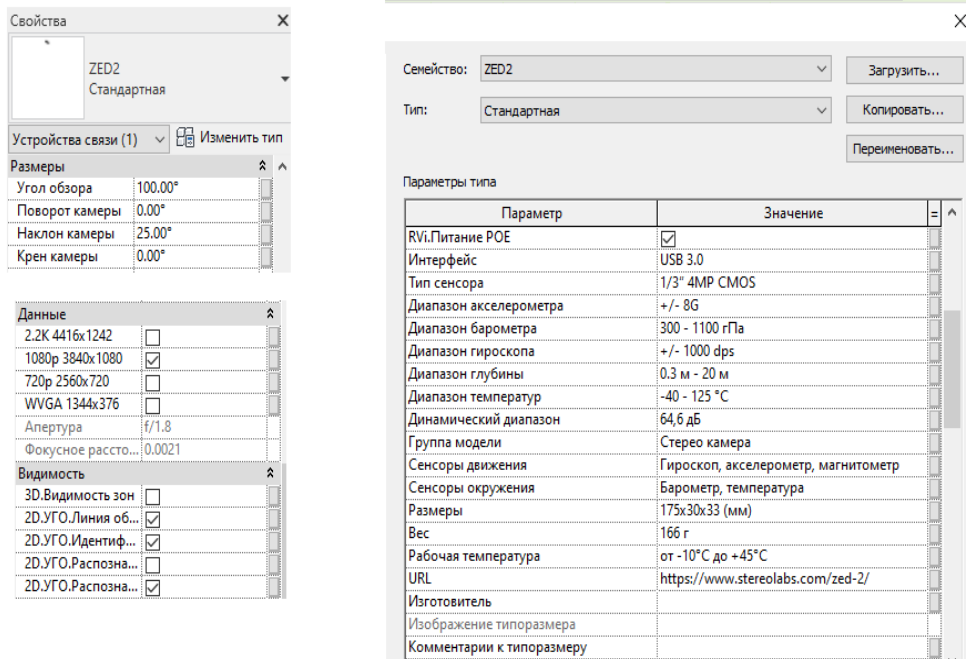


Рисунок 4 – Свойства камеры ZED2

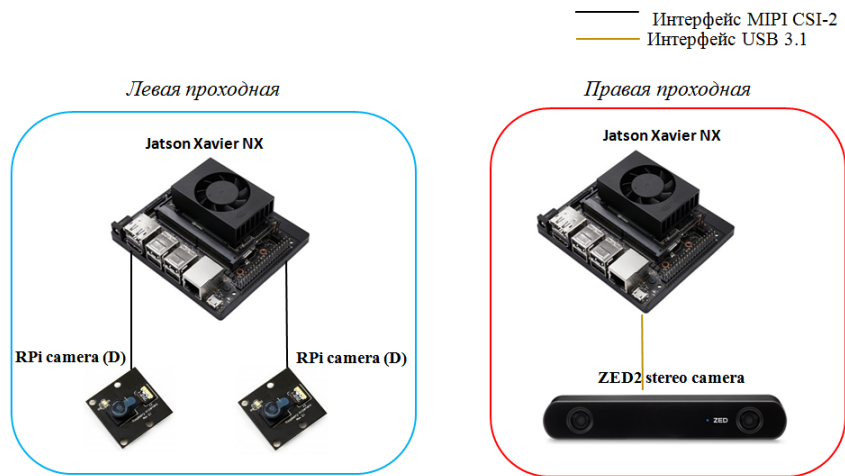


Рисунок 5 – Схема, реализующая алгоритм anti-tailgate

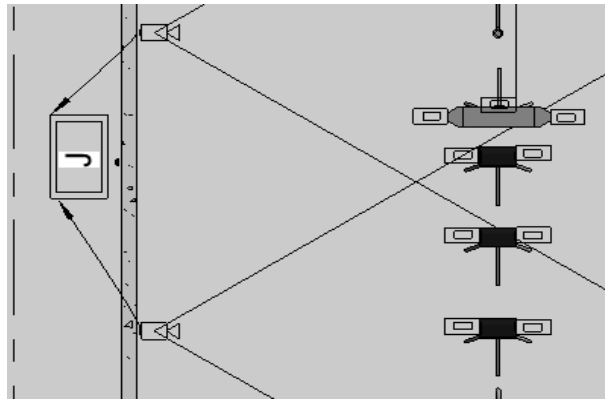


Рисунок 6 – 2xRpi camera (D) +Jatson Xavier NX

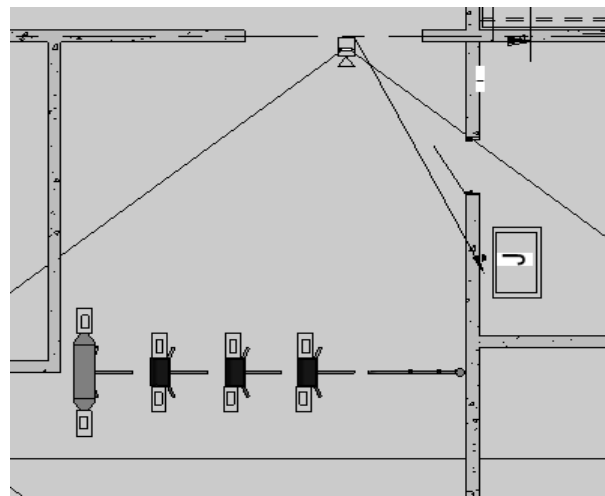


Рисунок 7 – ZED2 +Jatson Xavier NX

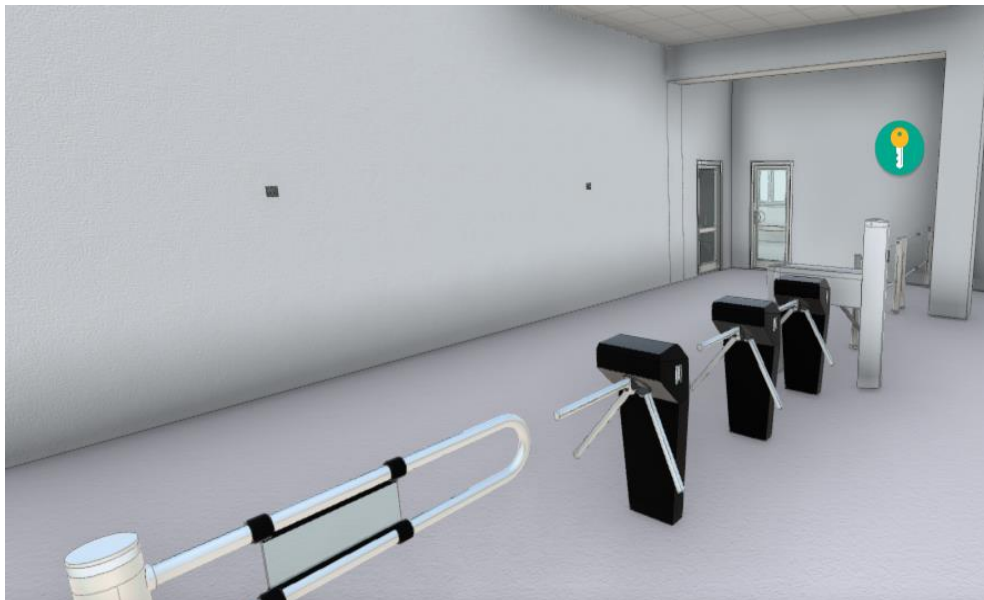


Рисунок 8 – Левая проходная в 3D



Рисунок 9 – Правая проходная в 3D

### Библиографический список

1. Постановление Правительства Российской Федерации от 05.03.2021 № 331 «Об установлении случая, при котором застройщиком, техническим заказчиком, лицом, обеспечивающим или осуществляющим подготовку обоснования инвестиций, и (или) лицом, ответственным за эксплуатацию объекта капитального строительства, обеспечиваются формирование и ведение информационной модели объекта капитального строительства».
2. Талапов В.В. Технология BIM: суть и основы внедрения информационного моделирования зданий. – М. : Изд-во «ДМК-пресс», 2015. – 410 с.
3. Талапов В.В. BIM: что под этим обычно понимают. Второе издание. 2014. URL: [https://isicad.ru/ru/articles.php?article\\_num=17298](https://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=17298) (дата обращения: 05.11.2022).
4. Marikkannu .P, Adri Jovin. A Secure Mobile Agent System against Tailgating Attacks // Journal of Computer Science 7(4):488-492. 2011. URL: [https://www.researchgate.net/publication/215447739\\_A\\_Secure\\_Mobile\\_Agent\\_System\\_against\\_Tailgating\\_Attacks](https://www.researchgate.net/publication/215447739_A_Secure_Mobile_Agent_System_against_Tailgating_Attacks) (дата обращения: 05.11.2022).
5. Kannamma R, Bhargavi S, Bhavani Sree S, Mahalakshmi J. Security System to Prevent Tailgating Using Face Recognition and Ultrasonic Sensor // 2020. URL: [https://www.researchgate.net/publication/349524843\\_Security\\_System\\_to\\_Prevent\\_Tailgating\\_Using\\_Face\\_Recognition\\_and\\_Ultrasonic\\_Sensor](https://www.researchgate.net/publication/349524843_Security_System_to_Prevent_Tailgating_Using_Face_Recognition_and_Ultrasonic_Sensor) (дата обращения: 05.11.2022).
6. Руководство пользователя по работе с комплексом RVi BIM. URL: [https://rvigroup.ru/techsupport/proektirovanie/bim/RViBIM\\_rucovodstvo.pdf](https://rvigroup.ru/techsupport/proektirovanie/bim/RViBIM_rucovodstvo.pdf) (дата обращения: 05.11.2022).

## РАЗРАБОТКА ПРОДУКЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ УЧЕБНОЙ НАГРУЗКИ КАФЕДРЫ

Четвертков Е.В., Кораблина Т.В.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»  
г. Новокузнецк, Россия, egorchetvertkov@list.ru

**Аннотация.** В статье рассматривается разработка языка продукционной модели представления знаний в контексте системы поддержки принятия решений. Язык включает основные математические и логические операции. Для преобразования строкового литерала в команду строится абстрактное синтаксическое дерево. Программная реализация выполняется на языке программирования C#.

**Ключевые слова:** СППР, продукционная модель представления знаний, язык программирования, абстрактное синтаксическое дерево, учебная нагрузка кафедры.

**Abstract.** The article deals with the development of a language for a production model of knowledge representation in the context of a decision support system. The language includes basic mathematical operations and logical operations. An abstract syntax tree is built to convert a string literal into a command. The software implementation is performed in the C# programming language.

**Keywords:** DSS, production model of knowledge representation, programming language, AST, teaching load of the department.

Продукционная модель знаний представляет собой набор некоторых правил, каждое из которых задается в виде символической конструкции: ЕСЛИ <условие> ТО <действие 0> [ИНАЧЕ <действие 1>]. Каждое правило имеет уникальное имя в базе знаний, которое называется спецификацией правила, а само выражение – ядром [1].

Ядро правила содержит набор служебных слов, логических и математических операторов, а также константных и переменных значений. Условие должно принимать значение «истина» или «ложь», а в качестве действия может выступать как какое-либо константное или переменное рассчитываемое значение, так и другое правило.

Достоинства продукционной модели заключается в близости продукции к логическим импликациям и, следовательно, стиль мышления человека-эксперта легко ложиться на подобное представление знаний в базе знаний [2].

К основному недостатку подобной модели относят сложность организации большой базы знаний, которая будет хранить несколько тысяч правил. В такой системе возникают сложности с проверкой правильности заполнения правил, полноты и непротиворечивости базы знаний [2], а также ухудшаются временные показатели логического вывода.

Ежегодно в университете при подготовке к новому учебному году ученым секретарем производится расчет учебной нагрузки, закрепленной за кафедрой, который включает в себя все виды контактной работы преподавателя и контроля самостоятельной работы обучающихся. При этом необходимо учитывать нормы нагрузки преподавателей в зависимости от занимаемой должности, наличия ученого звания и ученой степени, штатный сотрудник или совместитель. Также объем нагрузки кафедры и штатное расписание зависит от количества реализуемых основных образовательных программ, контингента обучающихся и ряда других факторов. Для разработки системы поддержки принятия решений ученого секретаря кафедры при расчете нагрузки преподавателей и формировании штатного расписания можно использовать продукционную модель представления знаний.

В разрабатываемой системе указанные недостатки продукционной модели знаний нивелируются следующими положениями:

– для расчета значения нормы учебной нагрузки может быть сформировано одно и только одно правило;

– для расчета значения нагрузки по конкретному виду учебной деятельности используется одно и только одно правило;

– ограничения, задаваемые на виды учебной нагрузки, задаются одним и только одним правилом для каждой должности;

– ограничения, задаваемые на ведение дисциплин у различных уровней образования, задаются одним и только одним правилом для каждой должности.

Подобные ограничения позволяют минимизировать количество правил в базе знаний, обеспечить полноту, так как каждому параметру будет присвоено правило, благодаря этому правила не пересекаются и обеспечивается непротиворечивость базы знаний.

В контексте разработки системы поддержки принятия решений ученого секретаря кафедры при расчете нагрузки преподавателей и формировании штатного расписания кафедры важно понимать, что общие правила задаются на уровне университета приказом ректора и действуют для всех институтов и кафедр. В то же время у ученого секретаря должна быть возможность в особых случаях вносить корректировки в нормы нагрузки для конкретных преподавателей.

Таким образом, в разрабатываемой системе предполагается два уровня правил – общеуниверситетские и локальные, характерные только для конкретной кафедры. Локальные правила лишены сложной структуры и предполагают задание нормы учебной нагрузки отдельных преподавателей в ручном режиме.

На уровне контейнер-диаграммы модели C4 [3] разрабатываемую систему можно представить, как показано на рисунке 1.

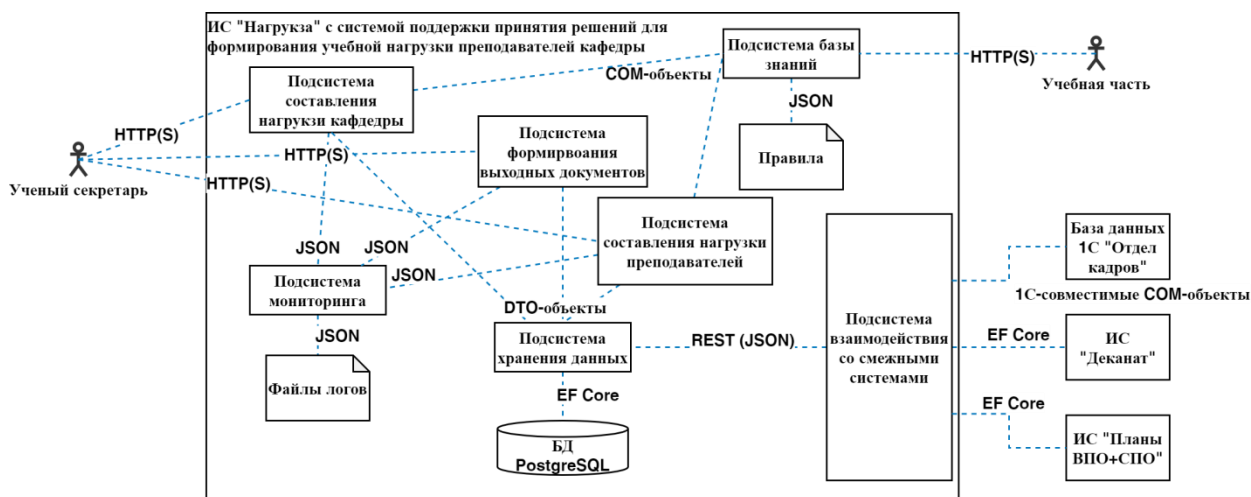


Рисунок 1 – Контейнер-диаграмма разрабатываемой системы в нотации C4

На контейнер-диаграмме приведены модули разрабатываемой системы и их взаимодействие на уровне программных интерфейсов. Подсистема базы знаний заполняется учебной частью и ученым секретарем кафедры посредством взаимодействия с подсистемой составления нагрузки кафедры. Правила сохраняются в файле в формате JSON и используются в подсистеме составления нагрузки преподавателей.

Помимо взаимодействия с базой знаний подсистема составления нагрузки преподавателей связана с подсистемой хранения данных, которая заполняется в полуавтоматическом режиме с привлечением данных из смежных систем через подсистему взаимодействия со смежными системами.

Подсистема хранения данных также содержит информацию из подсистем составления нагрузки кафедры и формирования выходных документов. Хранение данных осуществляется с использованием СУБД PostgreSQL.

Для записи логов в информационной системе используется подсистема мониторинга. Логи сохраняются в формате JSON.

Обмен между подсистемами происходит в одном из следующих форматов:

– API на основе REST и HTTP(S)-запросов;

- объекты на языке программирования C# в формате COM и DTO;
- объекты сериализованные в JSON-строки;
- механизм передачи данных EF Core.

База знаний в своей основе содержит продукционную модель представления знаний. Для ее наполнения пользователь задает инструкции в текстовом формате. Наиболее известным способом преобразования текста в исполняемые команды является построение, так называемого, абстрактного синтаксического дерева (AST).

Для построения AST необходимо произвести лексический и синтаксический разбор выражения. Эти функции выполняются специальными компонентами – лексер и парсер. Лексер предназначен для лексического разбора выражения, определения и выделения токенов, обработки неизвестных лексем, формирования последовательности известных лексем и передачи их парсеру. На этом же этапе проверяется корректность заполнения переменных.

Парсер осуществляет синтаксический разбор выражения. Из последовательности токенов он пытается построить корректное абстрактное синтаксическое дерево. При парсинге учитываются баланс скобок, правильность построения математических и логических выражений. В случае, если переданное выражение не является синтаксически верным и невозможно построить корректное AST будет возвращена ошибка с указанием токена, который невозможно использовать.

После того как будет построено корректное дерево, оно сохраняется в базе знаний. Правила хранятся в базе знаний в формате JSON-строки, поэтому предварительно дерево необходимо сериализовать, т.е. конвертировать в JSON формат.

Правила извлекаются из базы знаний при запросе и передаются в «решатель», где преобразуются обратно в дерево путем десериализации. «Решатель» с учетом значений переменных контекста определяет и возвращает значение того или иного параметра в подсистему составления нагрузки преподавателей, где на ее основе принимается решение о назначении еще одного вида нагрузки.

На рисунке 2 приведена компонент-диаграмма, описывающая подсистему базы знаний.



Рисунок 2 – Компонент-диаграмма подсистемы базы знаний в нотации C4

Так как правила всегда содержат условную конструкцию, можно облегчить работу составителя базы знаний и сформировать удобный графический конструктор (рисунки 3-4).

Директор института

ЕСЛИ

УСЛОВИЕ0

ТО ▼

ДЕЙСТВИЕ0

ИНАЧЕ ▼

УСЛОВИЕ ▼

ЕСЛИ

УСЛОВИЕ1

ТО ▼

ДЕЙСТВИЕ1

ИНАЧЕ ▼

ВЫРАЖЕНИЕ ▼

ДЕЙСТВИЕ2

Преподаватель

ЕСЛИ

УСЛОВИЕ0

ТО ▼

ДЕЙСТВИЕ0

ИНАЧЕ ▼

НЕТ ▼

Рисунок 3 – Фрагмент макета графического пользовательского интерфейса. Правила расчета нагрузки по должностям

ДОЛЖНОСТЬ ▼

УРОВЕНЬ ОБРАЗОВАНИЯ ▼

ФОРМА ОБРАЗОВАНИЯ ▼

Лекции

Лабораторные занятия

Практические занятия

КСР

Консультации

Зачеты

Экзамены

Курсовые проекты/работы

Учебная, производственная практика, НИР

ВКР

Рисунок 4 – Фрагмент макета графического пользовательского интерфейса. Правила, ограничивающие занимаемые виды учебной деятельности

Для расчета максимальной учебной нагрузки преподавателей по занимаемым должностям, наличию ученой степени и ученого звания используются явные блоки условных конструкций. В поле условия вводится выражение, которое при значении «истина» будет приводить в ветку «ТО», в противном случае в ветку «ИНАЧЕ». «ТО» и «ИНАЧЕ» могут представлять собой как выражения, так и другие условные конструкции (рисунок 3). Помимо этого, «ИНАЧЕ» может быть пустым, это справедливо для тех случаев, когда с помощью конструктора необходимо задать константное значение, например, преподаватель имеет норму нагрузки 900 часов, тогда для него в пункт «УСЛОВИЕ0» записывается любое истинное выражение, либо любое положительное число, а в пункте «ДЕЙСТВИЕ0» указывается значение 900.

Для формирования доступных видов учебной нагрузки преподавателя в соответствии с занимаемой должностью наиболее оптимальным будет использование возможности выбора доступных видов учебной нагрузки не заданием их с помощью текстовых правил, а выбором из списка, как показано на рисунке 4. После формирования такого списка система сама преобразует его в правило и занесет в базу знаний.

На данный момент разработаны и протестированы модули лексического и синтаксического анализа и модуль «решателя» с консольным пользовательским интерфейсом. Предстоит работа по разработке графического пользовательского интерфейса, модуля сериализации-десериализации и самого хранилища правил, а также модуля формирования контекста.

Кроме того, необходимо разработать и представленные на контейнер-диаграмме модули и подсистемы.

### **Библиографический список**

1. Косарев Н.И. Продукционная модель представления знаний в системах поддержки принятия решения // Вестник Сибирского юридического института МВД России. - 2013. - №2 (13). - С. 136-140.
2. Иванов А.С. Модель представления продукционных баз знаний на ЭВМ // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Математика. Механика. Информатика. - 2007. - №7 (1). - С. 83-88.
3. The C4 model for visualising software architecture // C4model URL: <https://c4model.com/> (дата обращения: 18.10.2022).

УДК 656.11

## **РАЗРАБОТКА ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТЬЮ С ЦЕЛЬЮ ОПТИМИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА**

**Бабушкина О.С., Калашников С.Н.**

*ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»  
г. Новокузнецк, Россия, babushkina.olga51999@gmail.com*

***Аннотация.** Цель статьи заключается в разработке теоретических основ для управления улично-дорожной сетью с целью оптимизации динамических параметров функционирования объектов транспортной инфраструктуры города Новокузнецка на базе существующих подходов к имитационному моделированию комплексных многоагентных систем и возможностей их совместного использования, а также адаптации разработанной модели улично-дорожной сети к условиям движения транспортного потока с помощью глобальной навигационной спутниковой системы. В работе предложен комплекс мероприятий для решения постоянно растущих проблем дорожного движения на основе анализа сложных ситуаций на автодорогах.*



**Ключевые слова:** улично-дорожная сеть, транспортный поток, транспортная система, имитационное моделирование, модель, дорожно-транспортное происшествие, управление, безопасность дорожного движения.

**Abstract.** The purpose of the article is to develop theoretical foundations for the management of the road network in order to optimize the dynamic parameters of the functioning of the transport infrastructure of the city of Novokuznetsk on the basis of existing approaches to the simulation of complex multi-agent systems and the possibilities of their joint use, as well as the adaptation of the developed model of the road network to traffic conditions using a global navigation satellite system. The paper proposes a set of measures to solve the ever-growing traffic problems based on the analysis of complex situations on highways.

**Keywords:** street and road network, traffic flow, transport system, simulation modeling, model, traffic accident, management, traffic safety.

В эпоху информатизации как никогда необходимо внедрять современные разработки и оперативно осваивать новые технологии для эффективного развития Кузбасса, являющегося не только крупным промышленным и сырьевым узлом, но и центром науки и высшего образования. С открытием научно-образовательного центра мирового уровня (НОЦ) регион стал площадкой для продвижения идей и достижений ученых и практиков, в том числе и в области повышения эффективности использования улично-дорожной сети (УДС) с целью решения постоянно растущих проблем автодорожного движения в крупных городах. При этом актуальным является интеграция различных методов и средств, что позволит с разных сторон посмотреть на возникающие проблемы.

В рамках мероприятия, ставшего центральным событием региональных Дней науки 2021 года, корпорация «АСИ», как один из представителей реального сектора экономики и партнёр НОЦ «Кузбасс», презентовала концепцию комплексной научно-технической программы (КНТП) «Цифровое кольцо Сибири». Реализация данной программы позволит решить широкий круг актуальных вопросов, связанных с обеспечением государственной безопасности на всех уровнях в масштабах макрорегиона, а также направленных на развитие научно-технического, производственного, кадрового потенциалов Кузбасса [1].

Актуальность работы обусловлена необходимостью изыскания нового научного подхода к задаче повышения эффективности решений по управлению транспортными потоками города на основе светофорных объектов и по снижению временных затрат для минимизации задержек транспорта.

Одним из подходов к решению таких проблем является внедрение автоматизированной системы управления дорожным движением, применение которой позволит в настоящее время снизить загруженность отдельных участков городской улично-дорожной сети. Особенность этой системы управления заключается в том, что она управляет работой светофоров не по заранее заложенным алгоритмам и схемам, а подстраивается под конкретную ситуацию на дороге, отслеживаемую набором датчиков на каждом перекрестке. Это позволит решить актуальную задачу введения координированного движения транспортных потоков, а также их прогнозирования и гибкого регулирования, в том числе с функциями фиксации нарушений правил дорожного движения (ПДД).

Кроме адаптации работы светофоров актуальной проблемой является информирование водителей с помощью средств современных информационных технологий о состоянии улично-дорожной сети с учетом проводимых ремонтно-строительных работ, а также о наличии горюче-смазочных материалов (ГСМ) на ближайших автозаправочных станциях (АЗС).

Признанным методом изучения и анализа транспортных сетей является имитационное моделирование. Преимущество имитационных моделей по сравнению с аналитическими состоит в принципиальной возможности отобразить объект на любом уровне детализации. При создании моделей движения транспорта и пешеходов использование имитационного подхода становится ключевым фактором решения задачи моделирования транспортного потока.

По программе [2] одним из важнейших вопросов городского округа является обеспечение безопасности на автомобильных дорогах общего пользования местного значения. Анализ многолетних данных и динамика основных показателей аварийности свидетельствует о том, что уровень дорожно-транспортного травматизма в городе Новокузнецке остается высоким. Основными причинами дорожно-транспортных происшествий (ДТП) являются недостаточная эффективность системы обеспечения безопасности дорожного движения и низкая дисциплина участников дорожного движения.

Качество некоторых дорог Новокузнецка не соответствует установленным стандартам в связи с отсутствием своевременного ремонта, который необходим для поддержания дорожного полотна в хорошем состоянии. Отсутствие должного ухода приводит к появлению ям и других дефектов покрытия, часть из них в последние годы постепенно ликвидируются. Основными недостатками транспортно-эксплуатационного состояния улично-дорожной сети в местах совершения дорожно-транспортных происшествий являются: отсутствие, плохая видимость горизонтальной дорожной разметки (26%), дефекты покрытия (4%), недостатки зимнего содержания (5%), отсутствие дорожных знаков в необходимых местах (20%), отсутствие пешеходных ограждений в необходимых местах (7%), отсутствие освещения (7%).

Для проведения мероприятий по изменению организации дорожного движения [3] необходимо обоснование, опирающееся на подсчет интенсивности движения транспорта и пешеходов и расчеты длительности циклов, программного обеспечения режима работы светофорного объекта. Спонтанные эксперименты в этом не допустимы. Введение выделенной фазы для пешеходов увеличивает цикл работы светофоров и как следствие увеличивает задержки транспорта.

Все «проблемные» перекрестки, расположенные в границах города Новокузнецка включены в перспективный план мероприятий по реконструкции. В основном необходимо увеличение геометрических параметров дороги (проезжей части) либо изменение режима работы светофорной сигнализации.

В большинстве случаев, для того чтобы въехать или выехать из города необходимо в обязательном порядке проехать через Центральный район, где расположены наиболее загруженные транспортные узлы – «Рембытехника», «Дом быта», «Кузнецкий мост», «Советская площадь» и т.д., являющиеся основными поставщиками статистики ДТП. Других возможностей миновать эти очаги ДТП практически нет. Для решения данной проблемы организация «ЭНКО» в своем проекте планировки улично-дорожной сети предлагает закольцевать движение вокруг Центрального района, т.е. связать улицы Хлебозаводская-Ноградская-Запорожская-Транспортная-Вокзальная-Сибиряков Гвардейцев-Рудокопровая-Музейная в единое высокопропускное кольцо без пересечения в одном уровне, аналогично московскому МКАД и соразмерно нашим потребностям, автоматически снижая аварийность при проезде кольца Рембытехники [4].

Таким образом, с целью дальнейшего повышения эффективности управления территорией Новокузнецкого городского округа и комплексного планирования развития улично-дорожной сети необходимо проведение работ по [5]:

- созданию в виде программных средств имитационной модели транспортной системы, постоянный мониторинг транспортной ситуации и поддержание актуальности транспортной модели;

- созданию интеллектуальной транспортной системы как комплексной системы управления и информационного обеспечения на городском автомобильном транспорте и электротранспорте, основанной на применении современных информационных и телекоммуникационных технологий и методов управления;

- внедрению систем интеллектуального управления светофорными объектами;

– развитию автоматизированной системы управления дорожным движением (АСУДД) и связанной с нею системы информирования участников движения о транспортной ситуации (в виде геоинформационного портала).

Внутренние автотранспортные связи и основу транспортной сети Новокузнецкого городского округа составляют автомобильные дороги местного значения, обеспечивающие сообщение между районами города [6].

В основе формирования улично-дорожной сети города лежат: главные и второстепенные дороги, перекрестки с круговым движением, местные проезды. Схема УДС для обеспечения работы внутреннего автомобильного транспорта – радиальная. Главные улицы города от Вокзала расположены по лучевой схеме. Протяженность внутренних автотранспортных связей в границах Новокузнецкого городского округа составляет 508,8 км. Доля протяженности улично-дорожной сети, соответствующая нормативным требованиям к ее транспортно-эксплуатационному состоянию, составляет 38%, что характеризует УДС как значительно изношенную. На основе представленных в таблице 1 удельных показателей можно сделать вывод об удовлетворительном уровне обеспеченности дорогами и улицами общего пользования Кузнецкого и Куйбышевского районов, что также обусловлено характером территорий – значительной доли малоэтажной застройки.

Таблица 1 – Удельные показатели обеспеченности Новокузнецкого городского округа улично-дорожной сетью

Район	Плотность сети дорог к площади территории, км/кв.м	Плотность сети дорог к населению, км/1000 жителей
Центральный	1,77	0,71
Заводской	1,08	1,22
Кузнецкий	3,45	2,51
Куйбышевский	3,84	4,48
Новоильинский	2,14	0,63
Орджоникидзевский	1,59	1,80

В границах Центрального района сосредоточено порядка 37% улично-дорожной сети с тремя и более полосами движения. В то же время, в отношении удельной обеспеченности Новокузнецкого городского округа улично-дорожной сетью, этот район один из худших по данным показателям. Подобная ситуация наблюдается также по Новоильинскому району. С учетом роли Центрального района как основного транспортного узла, в том числе обеспечивающего транзитное движение, и центра тяготения транспортных и пассажирских корреспонденций, очевидны сложившиеся недостатки планировочных решений в существующем положении.

В городе имеются различные дорожные развязки, 4 автомобильных моста, объездные дороги вокруг центра. Общая длина внутригородских маршрутов – 756 км. Общее количество автобусных маршрутов составляет 76, трамвайных – 9, троллейбусных – 5. Трамвайные линии есть практически во всех районах, за исключением Новоильинского. Троллейбусные линии имеются в Центральном и Заводском районах [7].

В результате проведения натурных обследований определен временной период, когда наблюдается максимальный транспортный поток на улично-дорожной сети города Новокузнецка: с 6:30 до 9:30 утром и 16:00 до 19:00 вечером. Общая протяженность перегруженных участков составляет 11,53 км. Основные места скопления автотранспорта – это Кузнецкий мост, перекрестки, в том числе перекрестки с круговым движением, северный и южный выезд из Новокузнецкой агломерации (таблицы 2-3).

Таблица 2 – Перечень участков УДС с наибольшей интенсивностью движения в утренний час пик

№ п/п	Название улицы	Участок улично-дорожной сети	Интенсивность автомобилей/час на направление	Коэффициент загрузки
1	пр-кт Строителей	ул. ДОЗ - ул. Ноградская	4389	0,38
2	Кузнецкий мост	ул. Ленина - ул. Кирова	3514	0,44
3	Кузнецкий мост	ул. Транспортная - ул. Ленина	3485	0,42
4	ул. Кирова	пр-кт Кузнецкстроевский - ул. Тольятти	3277	0,28
5	Кузнецкое шоссе	пр-кт Шахтеров - Кузнецкое шоссе	2893	0,45
6	пр-кт Кузнецкстроевский	пр-кт Пионерский - ул. Кирова	2844	0,23
7	ул. Ноградская	пр-кт Строителей - ул. Запорожская	2796	0,45
8	ул. Кирова	пр-кт Дружбы - ул. Транспортная	2729	0,24
9	Кузнецкое шоссе	Байдаевское шоссе - ул. Обнорского	2378	0,41
10	ул. Обнорского	ул. Народная - Кузнецкое шоссе	2354	0,41
11	пр-кт Строителей	ул. Филипова - пр-кт Metallургов	2327	0,20

Таблица 3 – Перечень участков улично-дорожной сети с наибольшей интенсивностью движения в вечерний час пик

№ п/п	Название улицы	Участок улично-дорожной сети	Интенсивность, автомобилей /час на направление	Коэффициент загрузки
1	пр-кт Строителей	ул. ДОЗ - ул. Ноградская	5478	0,47
2	Кузнецкий мост	ул. Транспортная - ул. Ленина	3886	0,47
3	Кузнецкий мост	ул. Ленина - ул. Кирова	3769	0,48

Продолжение таблицы 3

№ п/п	Название улицы	Участок улично-дорожной сети	Интенсивность, автомобилей /час на направление	Коэффициент загрузки
4	ул. Ноградская	пр-кт Строителей - ул. Запорожская	3738	0,60
5	ул. Кирова	пр-кт Кузнецкстроевский - ул. Тольятти	3694	0,32
6	ул. Кирова	пр-кт Дружбы - ул. Транспортная	3490	0,30
7	ул. Запорожская	ул. Ноградская - ул. Транспортная	3149	0,93
8	Кузнецкое шоссе	пр-кт Шахтеров - Кузнецкое шоссе	3029	0,47
9	ул. Транспортная	пр-кт Октябрьский - ул. Запорожская	2911	0,37
10	2-й Андреевский пер.	ул. Вокзальная - ул. Циолковского	2525	0,65
11	пр-кт Строителей	ул. Филлипова - пр-кт Metallургов	2519	0,22
12	пр-кт Metallургов	ул. Орджоникидзе - ул. Кирова	2518	0,21
13	пр-кт Кузнецкстроевский	пр-кт Пионерский - ул. Кирова	2436	0,20
14	ул. Ленина	ул. Конева - Кузнецкий мост	2396	0,64
15	Кузнецкое шоссе	Байдаевское шоссе - ул. Обнорского	2378	0,41
16	ул. Обнорского	ул. Народная - Кузнецкое шоссе	2354	0,41

Таким образом, наибольшие значения интенсивности движения транспортных средств выявлены на улично-дорожной сети Центрального района, на ряде важных магистральных направлений: Кузнецкое шоссе, ул. Обнорского, ул. Народная. Коэффициент загрузки УДС с наибольшей интенсивностью движения имеет значительный разброс (0,19-0,93), что указывает на наличие проблемных участков с дефицитом пропускной способности. Подобными проблемными участками являются мостовые переходы (Кузнецкий и Запсибовский) и подъезды к ним, ул. Транспортная – важный транспортный узел, обслуживающий терминалы внешнего транспорта, улицы Ленина и Народная обеспечивают межрайонные транспортные связи [8].

Полученные результаты исследований могут быть использованы в ходе организации дорожного движения на регулируемом перекрестке с многополосным движением, при проведении ремонтно-строительных работ на участках улично-дорожной сети, а так-

же для информирования водителей о наличии, сортаменте и ценах ГСМ на АЗС в шаговой доступности. Кроме этого, результаты работы имеют важное значение для транспортных предприятий и научно-исследовательских институтов (НИИ) в процессе принятия управленческих решений и проектирования улично-дорожной сети.

### Библиографический список

1. «Цифровое кольцо Сибири»: дорога в будущее региона [Электронный ресурс] : сайт. – Режим доступа: <https://icasi.ru/press-centr/news/vystavki-i-seminary/cifrovoe-kolco-sibiri-doroga-v-buduwee-regiona/>, свободный (дата обращения: 10.05.2021).
2. О внесении изменения в постановление администрации города Новокузнецка от 19.12.2014 №196 «Об утверждении муниципальной программы «Комплексное благоустройство Новокузнецкого городского округа» [Электронный ресурс] : решение Новокуз. город. Сов. народ. депутат. от 16 мая 2017 г. № 70. – Режим доступа: <https://gkh-nk.ru/wp-content/uploads/2017/05/programmablago.pdf>, свободный (дата обращения: 06.06.2021).
3. Уменьшение транспортных заторов на регулируемых перекрестках г. Новокузнецка [Электронный ресурс] : сайт. – Режим доступа: <http://gi.admnkz.info/initiative/193/>, свободный (дата обращения: 07.06.2021).
4. Проект улично-дорожной сети Новокузнецка [Электронный ресурс] : сайт. – Режим доступа: <https://proboknet-nk.livejournal.com/518.html>, свободный (дата обращения: 07.06.2021).
5. Программа комплексного развития транспортной инфраструктуры городской агломерации «Новокузнецкий городской округ» [Электронный ресурс] : сайт. – Режим доступа: <https://mykonspekts.ru/2-49236.html>, свободный (дата обращения: 11.06.2021).
6. Паспорт программы комплексного развития транспортной инфраструктуры Новокузнецкого городского округа на 2019-2030 годы [Электронный ресурс] : сайт. – Режим доступа: <https://kuzpress.ru/city/21-01-2020/72537.html>, свободный (дата обращения: 06.06.2021).
7. Дороги Новокузнецка и состояние транспортной системы [Электронный ресурс] : сайт. – Режим доступа: <https://fb.ru/article/339330/dorogi-novokuznetska-i-sostoyanie-transportnoy-sistemyi>, свободный (дата обращения: 06.06.2021).
8. Паспорт и обоснование программы комплексного развития транспортной инфраструктуры агломерации «Новокузнецкий городской округ» [Электронный ресурс] : сайт. – Режим доступа: <https://pandia.ru/text/82/280/89817-3.php>, свободный (дата обращения: 12.04.2022).

## ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОХРАНЫ РЕПРОДУКТИВНОГО ЗДОРОВЬЯ

Власенко А.Е., Жилина Н.М., Ренге Л.В.

*Новокузнецкий государственный институт усовершенствования врачей – филиал  
ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального  
образования» Министерства здравоохранения РФ  
г. Новокузнецк, Россия, VlasenkoAnna@inbox.ru*

**Аннотация.** В статье представлено описание информационной системы поддержки принятия решений для охраны здоровья женщин. В основу системы положен ряд математических моделей, охватывающих все этапы охраны репродуктивного здоровья. Применение системы поддержки принятия решений на практике обеспечит раннюю диагностику и профилактику развития отдельных заболеваний репродуктивной системы, позволит увеличить результативность ЭКО и позволит выбрать оптимальную тактику родоразрешения и ведения послеродового периода у женщин.

**Ключевые слова:** система поддержки принятия решений, репродуктивное здоровье, логистическая регрессия, нейронные сети, беременность, внутриутробное инфицирование.

**Abstract.** The article presents a description of the decision support information system for women's health. The system is based on a number of mathematical models covering all stages of reproductive health care. The use of a decision support system in practice will ensure early diagnosis and prevention of the development of certain diseases of the reproductive system, will increase the effectiveness of IVF and will allow choosing the optimal tactics of delivery and management of the postpartum period in women.

**Keywords:** decision support system, reproductive health, logistic regression, neural networks, pregnancy, intrauterine infection.

**Актуальность:** вопросы охраны здоровья матери и ребенка названы в качестве приоритетных во всех основополагающих документах ВОЗ о развитии здравоохранения. Одним из перспективных направлений в охране репродуктивного здоровья является разработка и использование систем поддержки принятия решений (СППР) [5]. При этом наибольшая эффективность СППР достигается при соблюдении принципов системного подхода при её разработке и использовании [2]. Комплексность и системность в данном случае рассматривается с 3 позиций. Во-первых, необходимо учитывать, что репродуктивное здоровье это не некоторое точечное измерение, а процесс, протекающий во времени, состоящий из нескольких последовательных этапов, таких как профилактика развития заболеваний, связанных со снижением репродуктивного потенциала, непосредственно беременность (возможность зачать и выносить ребенка) и как итог – роды здорового ребенка. Во-вторых, системность подхода применительно к охране репродуктивного здоровья должна отражаться в том, что эффект от реализации управленческих воздействий должен быть виден как на уровне отдельного индивида (индивидуальный уровень), так и на популяции в целом (популяционный уровень). И в-третьих, необходимо помнить, что репродуктивное здоровье зависит от состояния организма в целом, а также социальных, экономических, демографических факторов, что необходимо учитывать при построении прогнозных моделей, являющихся ядром системы.

**Цель:** разработать систему охраны репродуктивного здоровья, основанную на математических прогнозных моделях и интерфейс, позволяющий использовать её на практике.

### **Задачи исследования:**

1. разработать алгоритмы ранней диагностики и профилактики развития заболеваний репродуктивной системы и послеоперационных осложнений;
2. улучшить результаты применения вспомогательных репродуктивных технологий за счёт возможности прогноза результатов ЭКО и принятия своевременного управленческого решения на основе этого прогноза;

3. разработать алгоритм выбора тактики ведения беременности и родоразрешения на основе прогнозирующих моделей развития внутриутробной инфекции у новорождённого с учётом инфекционного фона матери.

**Научная новизна** разработанной системы заключается:

- в разработке совокупности математических моделей, охватывающих все этапы системы охраны репродуктивного здоровья;
- в формировании алгоритмов принятия решений и выбора оптимальной тактики ведения пациенток в зависимости от исходного состояния и рассчитанного с помощью разработанных моделей прогноза;
- в составлении базы знаний управленческих решений, направленных на устранение и/или минимизацию выявленных рисков для каждой конкретной женщины;
- в написании программных модулей, позволяющих быстро в автоматическом режиме проводить расчёты риска наступления определённого негативного исхода;
- разработке скрининговых шкал и номограмм, позволяющих проводить расчёты и без применения вычислительной техники.

**Материалы и методы:** исследование проводилось с 2015г. по 2022г. На базе Новокузнецкого перинатального центра, включающего консультативные отделения и родильные дома, а также некоторых частных медицинских учреждений г. Новокузнецка. Построение моделей проводилось в статистической среде R (v.3.6, лицензия GNU GPL2) с применением пакета caret (v.6.0, лицензия GNU GPL2). Отбор переменных для прогнозистических моделей проводился с помощью алгоритма Boruta [1]. Настраиваемые параметры методов моделирования определялись с помощью задания соответствующей сетки и оценке параметров «Точность» (Accuracy) и «Каппа» (Kappa). Для повышения качества модели применялась кроссвалидация с разделением обучающей выборки на 3 части и проведением 100 повторений. Проверка качества модели проводилась на тестовых выборках.

**Результаты исследования:** в качестве основных результатов исследования была разработана система математических моделей, представленная в таблице 1. В таблице используются следующие сокращения: ВРТ – вспомогательные репродуктивные технологии, ЛГ – лапароскопическая гистерэктомия, ВУИ – внутриутробное инфицирование плода, ПРПО – преждевременный разрыв плодных оболочек, УЗИ – ультразвуковое исследование, ЭКО - экстракорпоральное оплодотворение.

Первый этап системы охраны репродуктивного здоровья включает в себя ранее выявление и профилактику развития заболеваний репродуктивной системы. Для реализации данного этапа были разработаны 3 диагностические модели, позволяющие оценить *индивидуальный риск развития миосаркомы, профелирующей миомы, аденомиоза у женщин с миомой*, а также модель, позволяющая спрогнозировать *риски развития осложнений после проведения лапароскопической гистерэктомии* [3]. Для построения моделей применялся метод логистической регрессии с принудительным включением предварительно отобранных влияющих переменных. Качество прогноза на тестовых выборках для построенных моделей колебалось от 86% до 97%. Алгоритм принятия решений на основе разработанных моделей предполагает, что, если для конкретной женщины прогнозировался высокий риск наличия определённого заболевания, женщине назначались дополнительные инвазивные исследования, специфичные именно для этого заболевания. В случае высокого риска развития послеоперационных осложнений женщине назначался комплекс профилактических мероприятий, включающих не только медицинский аспект, но и предполагающие временную корректировку образа жизни.



Таблица 1 – Математические модели, входные воздействия и предполагаемый эффект от применения на практике разработанной системы охраны репродуктивного здоровья

Этап	Модели	Входные показатели	Эффект от применения	
			Индивидуальный уровень	Популяционный уровень
Этап профилактики	1. Риск развития миосаркомы 2. Риск развития пролифирующей миомы 3. Риск развития аденомиоза 4. Риск развития осложнений после ЛГ	1. Демографические и социологические факторы 2. Клинический анамнез 3. Акушерский анамнез 4. Показатели УЗИ	Раннее выявление и своевременное лечение заболеваний репродуктивной системы, снижение послеоперационных осложнений	Снижение частоты развития тяжелых форм болезней репродуктивной системы
Этап ВРТ	Прогноза риска отрицательного исхода ЭКО	5. Биохимические показатели крови 6. Гормональные показатели крови	Развившаяся беременность	Повышение рождаемости
Этап беременности и родов	1. Риск развития ВУИ при нормальном течении беременности 2. Риск развития ВУИ при ПРПО 3. Риск развития ВУИ <sup>1</sup> при нормальном течении беременности у женщин с хламидиозом	7. Иммунологические показатели крови и других сред	Рождение здорового ребёнка	Снижение перинатальной смертности и инвалидизации

Проблема репродуктивного потенциала включает в себя и infertility женщины. В некоторых случаях приходится прибегать к экстракорпоральному оплодотворению. Для улучшения результативности процедуры ЭКО была разработана *модель прогноза риска отрицательного исхода ЭКО*. В качестве метода моделирования была выбрана логистическая регрессия с регуляризацией (метод LASSO). Точность построенной модели составила 87% на тестовой выборке. В качестве управляющего воздействия в случае высокого рассчитанного риска неудачи ЭКО рекомендуется отсроченный эмбриотрансфер в условиях более благоприятного иммунологического фона.

Заключительный этап (беременность и роды) характеризуется очень высокой степенью неопределенности, связанной с невозможностью проведения лечебно-диагностических мероприятий непосредственно на ребенке, только опосредовано, через мать. Существуют высокоинвазивные методы, но они сопряжены с существенным риском для жизни и здоровья ребенка и применяются только в крайнем случае. Наиболее остро это проблема стоит при подозрении на внутриутробное инфицирование ребенка (ВУИ). ВУИ являются одной из ведущих причин репродуктивных потерь и заболеваемости новорожденных, от инфекций в мире умирают до 40% из всех умерших новорожденных. Были разработаны 3 модели, позволяющие спрогнозировать риск развития ВУИ ещё на этапе беременности матери: *при нормальном течении беременности, при преждевременном*

*разрыве плодных оболочек и при нормальном течении беременности у женщин с хламидийной инфекцией.* Для построения моделей применялись деревья решений (беременность при хламидийной инфекции, качество прогноза 85% при острой форме хламидиоза и 92% при носительстве), логистическая регрессия (при нормальном течении беременности, качество прогноза 93%) и нейронные сети (при преждевременном разрыве плодных оболочек, качество прогноза 95%). В соответствии с разработанным алгоритмом, выбор тактики ведения беременности и родов зависит от срока беременности и рассчитанного риска ВУИ, в качестве управленческих решений предлагается экстренное родоразрешение с подготовкой места в отделении реанимации и интенсивной терапии (либо вызов выездной неонатальной бригады), маршрутизация в роддом 1-2 уровня и антибиотикотерапия.

Для применения на практике для большинства моделей были разработаны скрининговые шкалы и номограммы, в которых для каждого фактора риска был рассчитан определенный балл, уровень риска для конкретной пациентки зависел от суммы баллов. Помимо скрининговых шкал были разработаны программные модули (применялся JavaScript, Python), позволяющие в автоматическом режиме рассчитывать риск наступления того или иного исхода [4].

В настоящий момент разработанная система охраны репродуктивного здоровья женщины внедрена в ряд медицинских учреждений города Новокузнецка и применяется на практике в перспективе предполагаются исследования, направленные на разработку новых моделей для каждого этапа охраны репродуктивного здоровья.

**Выводы:** была разработана система охраны репродуктивного здоровья, включающая в себя алгоритмы принятия решений, прогнозные математические модели, скрининговые шкалы и номограммы, а также программный интерфейс. Разработанная система позволяет осуществлять раннюю диагностику и профилактику заболеваний репродуктивной системы и послеоперационных осложнений, увеличить частоту положительных результатов ЭКО, снизить перинатальную смертность и инвалидность.

#### **Библиографический список**

1. Kurasa M. B., Rudnicki W. R. Feature selection with the Boruta package //Journal of statistical software. – 2010. – Т. 36. – С. 1-13.
2. Simankov Vladimir Sergeevich, Khalaphyan Aleksan Albertovich Системный подход к разработке медицинских систем поддержки принятия решений // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2010. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistemnyy-podhod-k-razrabotke-meditsinskih-sistem-podderzhki-prinyatiya-resheniy> (дата обращения: 26.10.2022).
3. Патент № 2775664 С1 Российская Федерация, МПК А61В 5/00, G01N 33/52. Способ прогнозирования осложнений после лапароскопической гистерэктомии : № 2022100857 : заявл. 13.01.2022 : опубл. 06.07.2022 / С. В. Шрамко, О. А. Волков, А. Е. Власенко, П. Е. Салтыкова ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение дополнительного профессионального образования «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Министерства здравоохранения Российской Федерации.
4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020663049 Российская Федерация. Расчет риска развития и степени тяжести внутриутробной инфекции новорожденного при преждевременном разрыве плодных оболочек в 24-33 недели гестации : № 2020662451 : заявл. 20.10.2020 : опубл. 22.10.2020 / А. Е. Власенко, Е. Ю. Григорьева, Л. В. Ренге.
5. Чеченин, Г.И. Системный подход и системный анализ в здравоохранении и медицине : монография / Г.И. Чеченин. – Новокузнецк : МАОУ ДПО ИПК, 2011. – 347 с. – ISBN 978-5-7291-0502-1

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА ПАРКА И ТИПА МАШИН С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

**Баркалов С.А., Бекирова О.Н., Вторникова Я.А.**

*Воронежский государственный технический университет*

*г. Воронеж, Россия, barkalov@vgasu.vrn.ru; bekirova@vgasu.vrn.ru; yana-elfimova@mail.ru*

**Аннотация.** В работе представлена экономико-математическая модель, с помощью которой можно рассчитать время движения транспортного потока, обеспечивающее минимум совокупных логистических затрат и его интенсивность (пропускную способность) в зависимости от состава парка и типа используемых машин.

**Ключевые слова:** транспортный поток, интенсивность, логистические затраты, управление запасами, оптимизация.

**Abstract.** The paper presents an economic and mathematical model, with the help of which it is possible to calculate the time of traffic flow, providing a minimum of total logistics costs and its intensity (throughput), depending on the composition of the fleet and the type of vehicles used.

**Keywords:** traffic flow, intensity, logistics costs, inventory management, optimization.

Транспортный поток можно охарактеризовать следующими параметрами:

– интенсивность – число ТС, поступающих или покидающих поток в единицу времени;

– плотность – число ТС, находящихся в потоке, на единицу длины потока;

– скорость – пройденный путь ТС в единицу времени.

Аналитические формулы параметров описаны в формулах (1-3):

$$I \text{ (интенсивность)} = N/T, \quad (1)$$

где  $N$  – количество транспортных средств, поступающих или покидающих поток;  
 $T$  – время прохождения потока.

$$v \text{ (скорость)} = L/T, \quad (2)$$

где  $L$  – длину пути, пройденного транспортным средством;  
 $T$  – время, за которое пройден путь.

$$P \text{ (плотность)} = N/L, \quad (3)$$

где  $N$  – количество транспортных средств, находящихся в потоке;  
 $L$  – длина потока.

Параметры тесно связаны друг с другом (формула 4).

$$\begin{cases} T = L/v \\ N = P * L \end{cases} \Rightarrow I = \frac{(P*L)}{\frac{L}{v}} = P * v \quad (4)$$

Зависимости параметров представлены на диаграмме (рисунок 1), которая является основной диаграммой транспортного потока. Из диаграммы следует, что значение интенсивности достигает максимума при плотности, равной половине от максимальной. В зависимости от увеличения интенсивности и плотности транспортный поток проходит три фазы – свободное движение, частично связанное движение и, достигая максимально возможной интенсивности, образование затора. В процессе происходящих изменений, ско-

рость потока падает - с увеличением числа транспортных средств потока скорость их движения снижается до 0 при максимальном значении плотности.

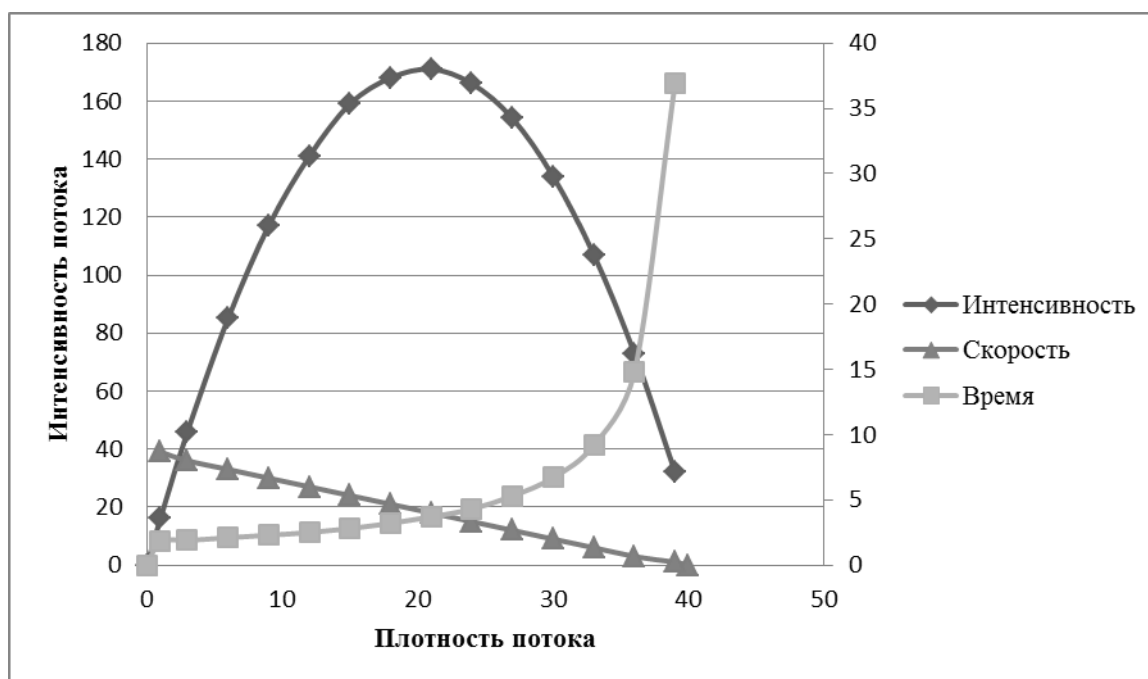


Рисунок 1 – Зависимость времени, скорости и интенсивности потока от плотности потока

Интенсивность потока также предполагает учет критерия времени движения потока в системе. На графике зависимости можно наблюдать, что время движения потока вначале возрастает линейно и незначительно при значительном темпе увеличения плотности потока, а затем растет экспоненциально даже при незначительных изменениях плотности [6].

Интенсивность потока несет в себе физический смысл. Рассмотрим экономико-математическую модель, описывающую интенсивность с экономической точки зрения.

Минимум затрат – это тот экономический эффект, к которому стремится каждая организация. Обслуживание материального потока связано с двумя видами издержек – затраты на доставку и затраты на хранение. Основными проблемами в системе МТО, которые влекут за собой увеличение издержек, являются [4, 8]:

1. создание излишних запасов, что приводит к перерасходу средств на содержание хранилищ, складов;
2. несвоевременность пополнения запаса влечет за собой простои в строительстве, увеличение продолжительности сроков строительства и количества затрат;
3. нерационально составленные расписания и карты маршрутов, приводят к повышению стоимости транспортных работ.

Предлагаемая модель дополняет классическое понятие интенсивности, выраженное исключительно через физический смысл, с учетом времени между поставками, определять которое следует через оптимальный размер поставки, по формуле Харриса-Уилсона, что обеспечивает минимум суммарных потерь[5].

Модель Харриса-Уилсона используется для определения оптимального размера заказа (в нашем случае поставки) на основе общих суммарных затрат  $C_{общ}$  (формула 5), включающих затраты на хранение  $C_x$  и затраты на выполнение поставки  $C_z$  в течение определенного периода времени. При формировании модели за критерий оптимальности принимается минимум общих затрат.

$$C_{общ} = C_x + C_z \rightarrow \min. \quad (5)$$

Затраты на хранение описываются как:

$$C_x = \frac{h*Q}{2}, \quad (6)$$

где  $h$  – затраты на хранение 1 единицы;  
 $Q$  – оптимальный размер партии для пополнения запаса.  
 Затраты на обслуживание заказа:

$$C_з = \frac{d*P}{Q}, \quad (7)$$

где  $d$  – затраты на выполнение поставки 1 т продукции;  
 $P$  – потребность в продукте в течение рассматриваемого периода ( $T$ ).  
 Таким образом, общие суммарные затраты  $C_{общ}$  находятся по формуле 8:

$$C_{общ} = \frac{h*Q}{2} + \frac{d*P}{Q} \quad (8)$$

Для выражения  $Q$  из данной формулы, возьмем первую производную и приравняем ее к нулю:

$$C'_{общ} = \frac{h}{2} - \frac{dP}{Q^2} = 0 \quad (9)$$

Отсюда  $Q_{opt}$  – оптимальный размер партии, так называемая формула Харриса-Уилсона, равен:

$$Q_{opt} = \sqrt{\frac{2Pd}{h}} \quad (10)$$

Тогда минимальные общие затраты:

$$C_{общ} = \sqrt{\frac{2h^2Pd}{4h}} + \sqrt{\frac{d^2*P^2*h}{2Pd}} = \sqrt{\frac{hPd}{2}} + \sqrt{\frac{d*P*h}{2}} = \sqrt{2 * d * P * h}. \quad (11)$$

Модель Харрисона-Уилсона включает в себя еще несколько показателей:

1. Оптимальное количество поставок:

$$N = \frac{P}{Q_{opt}} = \sqrt{\frac{P^2*h}{2*P*d}} = \sqrt{\frac{P*h}{2*d}} \quad (12)$$

2. Продолжительность одной поставки (время между поставками):

$$t = \frac{T}{N} = T \sqrt{\frac{2d}{Ph}}, \quad (13)$$

где  $T$  – рассматриваемый период.

Интенсивность потока ТС, обеспечивающая минимум общих логистических затрат, определяется по формуле:

$$I = \frac{N}{t} = \frac{N}{T} \sqrt{\frac{Ph}{2d}} \quad (14)$$

Предлагаемая модель может рассматриваться как модель оптимизации состава парков специализированных машин, позволяющих оптимизировать их количество, обосновывать пропускную способность элементов парка за счет нахождения времени между поставками, обеспечивающее минимум логистических затрат, через оптимальный размер поставки.

### Библиографический список

1. Бродецкий Г. Л., Геррами В.Д., Колик А.В., Шидловский И.Г. Управление запасами: многофакторная оптимизация процесса поставок : учебник для среднего профессионального образования – Москва : Издательство Юрайт, 2022. – 322 с.
2. Власов А.А. Теория транспортных потоков: моногр. / А.А. Власов. – Пенза: ПГУАС, 2019. – 124 с.
3. Дмитриев А.В. Развитие мультимодальных транспортно-логистических систем // Логистика и управление цепями поставок: Сб. науч. Трудов. Выпуск 5 (18) / А.В. Дмитриев, В.А. Нос, под ред. В.В. Щербакова, Е.А. Смирновой. – СПб.: Изд-во СПбГЭУ, 2021. – С. 56-62.
4. Елфимова Я.А. Исследование транспортно-технологического процесса в структуре материально-технического обеспечения строительства: сборник статей XVI Международной научно-практической конференции АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ в 2 ч. Пенза, 2022. С. 94-98.
5. Порядина В.Л., Косой Н.С. «Моделирование логистической деятельности предприятия на примере ООО КНАУФ» (Печатный) // Научный журнал: «Управление строительством» Выпуск №1 (14),2019,ФГБОУ ВО 2019 г. (500 экземпляров) С. 146-154.

УДК 681.518.3

## РАЗРАБОТКА СЕРВИСА «МЕНТОР ФЕДЕРАЛЬНОЙ НАЛОГОВОЙ СЛУЖБЫ РОССИИ»

Крестелев Д.А., Панкова И.И., Койнов Р.С., Исаев В.В.

*Акционерное общество «Главный научный инновационный внедренческий центр»  
(АО «ГНИВЦ»)  
г. Москва, Россия*

**Аннотация.** В статье представлен опыт разработки интегрированного сервиса для кадрового наставничества работников (на примере Федеральной налоговой службы России). Описаны цели разработки, задачи сервиса, этапы его создания, особенности реализации с учетом наличия существенных ограничений со стороны информационной безопасности корпоративных систем, сетей.

**Ключевые слова:** менторство, наставничество, менти, информационные системы, учетные системы, рейтинг менторов.

**Abstract.** The article presents the experience of developing an integrated support service for personnel mentoring of employees (on the example of the Federal Tax Service of Russia). The goals and objectives of the service, the stages of its creation, implementation features are described, taking into account the presence of significant restrictions on the part of the information security of corporate systems and networks.

**Keywords:** mentoring, mentor, mentee, information systems, accounting systems, rating of mentors.

### Введение

Практически каждая профессиональная сфера деятельности человека требует обучения (как минимум, первоначального при приёме на работу). В абсолютном большинстве случаев не бывает так, что человек после принятия на работу сразу начинает плодотворно решать производственные / должностные задачи. Работнику необходимо пройти адаптацию, первоначальное обучение, «влиться» в коллектив, иметь возможность дальнейшего обучения для профессионального роста. Большую часть этих потребностей мо-

жет решить институт менторства (наставничества). Работнику на новой должности или новом для него направлении деятельности нужен человек, который может скорректировать его, подсказать решение или по какому пути лучше пойти, уберечь от очевидных, с высоты своего опыта, ошибок [1].

Слово ментор (mentor), как и название процесса наставничества – менторство (mentoring или mentorship), пришло к нам из английского языка. Подопечного называют менти.

Ментор или наставник – профессионал, который получил уже достаточно опыта, чтоб иметь возможность обучать. Он вдохновляет, дает важный толчок, помогает развиваться в той сфере, в которой является компетентным.

Ментор имеет возможность смотреть на ситуацию «с высоты своего опыта», мотивирует подопечного двигаться вперед личным примером. Он не должен решать проблемы вместо своего ученика, давать точные указания, наставник создает такие условия, в которых подопечный непременно добьется своих целей [2, 3].

Важно учитывать, что менторство достигнет своего пункта назначения, только если обе стороны активно вовлечены в работу. Ментор должен создавать такую безопасную атмосферу и такие доверительные отношения, в которых ученик не стеснялся бы задавать даже самые заурядные, по его мнению, вопросы.

### **Регламентирующие документы на создание сервиса**

Разработка сервиса «Ментор ФНС России» проводилась с учетом интеграции ее в программный комплекс «Автоматизированная система тестирования кадров и образовательный портал ФНС России» на основании следующих нормативно-справочных документов и приказов:

– Федеральный закон от 27.07.2004 № 79-ФЗ «О государственной гражданской службе Российской Федерации»;

– Федеральный закон от 29.12.2012 № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации»;

– Указ Президента российской Федерации от 28.12.2006 № 1474 «О дополнительном профессиональном образовании государственных гражданских служащих Российской Федерации» (в редакции от 08.03.2015);

– Постановление Правительства Российской Федерации от 06.05.2008 № 362 «Об утверждении государственных требований к профессиональной переподготовке, повышению квалификации и стажировке государственных гражданских служащих Российской Федерации»;

– Приказ ФНС России от 11.07.2011 № ММВ-7-4/436@ «Об утверждении Концепции кадровой политики Федеральной налоговой службы»;

– Приказ ФНС России от 07.10.2011 № ММВ-7-4/633@ «О порядке утверждения индивидуальных планов профессионального развития федеральных государственных гражданских служащих Федеральной налоговой службы»;

– Приказ ФНС России от 14.03.2016 № ММВ-7-6/135@ «Об утверждении Положения об организации выполнения работ по развитию (модернизации) и оказания услуг по сопровождению автоматизированной информационной системы Федеральной налоговой службы (АИС «Налог-3»);

– Приказ ФНС России от 29.03.2018 № ММВ-7-12/181@ «Об утверждении Регламента взаимодействия участников технологических процессов управления требованиями к программному обеспечению АИС ФНС России»;

– Приказ ФНС России от 15.01.2015 № ММВ-7-12/6@ «Об утверждении Перечня технологических процессов ФНС России и их владельцев, а также порядка ведения Перечня технологических процессов ФНС России и Регламента разработки паспортов функций и ведения реестра паспортов функций» (в редакции приказа ФНС России от 27.07.2016 № ММВ-7-12/422@).

### Общая постановка целей и задач сервиса

Целями разработки сервиса «Ментор ФНС России» являются: создание единой платформы по взаимодействию менторов и менти, стимулирование развития института менторства (наставничества) в корпоративной культуре ФНС России.

Задачами, решаемыми сервисом, являются: создание единого хранилища сведений о менторах и менти, учет сведений о достигнутых результатах по результатам сотрудничества, обеспечение различных вариантов взаимодействия менти и менторов, расчет рейтинга менторов по результатам сотрудничества.

Особенностями реализации сервиса являлись: необходимость учитывать серьёзные требования (ограничения) к информационной безопасности в корпоративной среде ФНС, наличие нескольких контуров сетевой защиты, требования к платформам разработки.

### Взаимосвязь компонентов сервиса с другими сервисами и системами

Поскольку сеть ФНС – это изолированное от внешней сети Интернет пространство, а по техническому заданию требовалось обеспечить доступ к сервису для внешних менторов (из сети Интернет), то для решения поставленной задачи сервис был разделен на две части: внутренний и внешний порталы (рисунок 1). Внутренний портал обеспечивает доступ к сервису для менти (подопечным) из сети ФНС, а также с помощью утилит осуществляет обмен данными о работниках с подсистемой управления кадрами ФНС и внутренним образовательным порталом в части общих справочников и сведений о работниках (менти может стать только действующий работник ФНС, прошедший успешную авторизацию в системе). Внешний портал обеспечивает доступ для менторов (их регистрацию, управление заявками менти, обмен сообщениями и т.д.). Синхронизация данных между внутренним и внешним порталами осуществляется посредством специально разработанного для этих целей ПО, размещенного на пограничном (между двумя сетями) сервере.

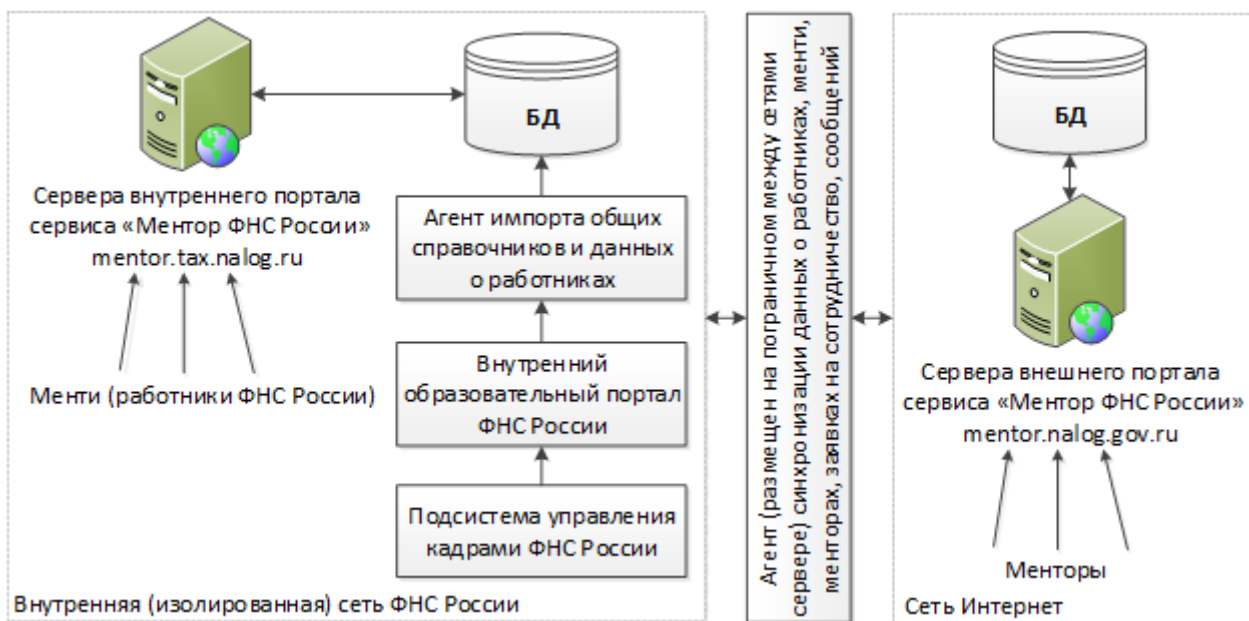


Рисунок 1 – Схема взаимодействия компонентов сервиса «Ментор ФНС России» между собой и со смежными системами

### Реализованный функционал сервиса

Разработанный сервис «Ментор ФНС России» реализует нижеуказанный функционал.



*На внутреннем портале (mentor.tax.nalog.ru) (рисунок 2):*

1. реализация ролевой модели аутентификации работников ФНС (менти, модератор, администратор). Для каждой роли создан свой личный кабинет;
2. рассмотрение анкет менторов модераторами на предмет включения модератора в реестр менторов. Анкеты поступают с внешнего портала после первичной регистрации;
3. исключение ментора из реестра (как по инициативе ментора, так и по решению модератора);
4. регистрация менти на внутреннем портале (доступна для работников ФНС). Заполнение анкеты менти (личный кабинет);
5. подача заявок менти на сотрудничество с менторами (рисунок 3);
6. оценивание менти ментора по результатам сотрудничества;
7. расчёт рейтинга менторов на основе оценок пяти показателей (доброжелательность, внимательность, конструктивность, ответственность, польза), выставленных ментору менти;
8. редактор контента новостей;
9. рассылка системных сообщений/уведомлений;
10. ведение реестра менти и менторов;
11. согласования увеличения количества доступных менти для ментора (по умолчанию, три). Увеличение может быть произведено как по заявке ментора, так и по решению модератора;
12. формирование отчетов согласно утвержденного состава данных, его выгрузка в форматы офисного приложения (xlsx, pdf, docx).

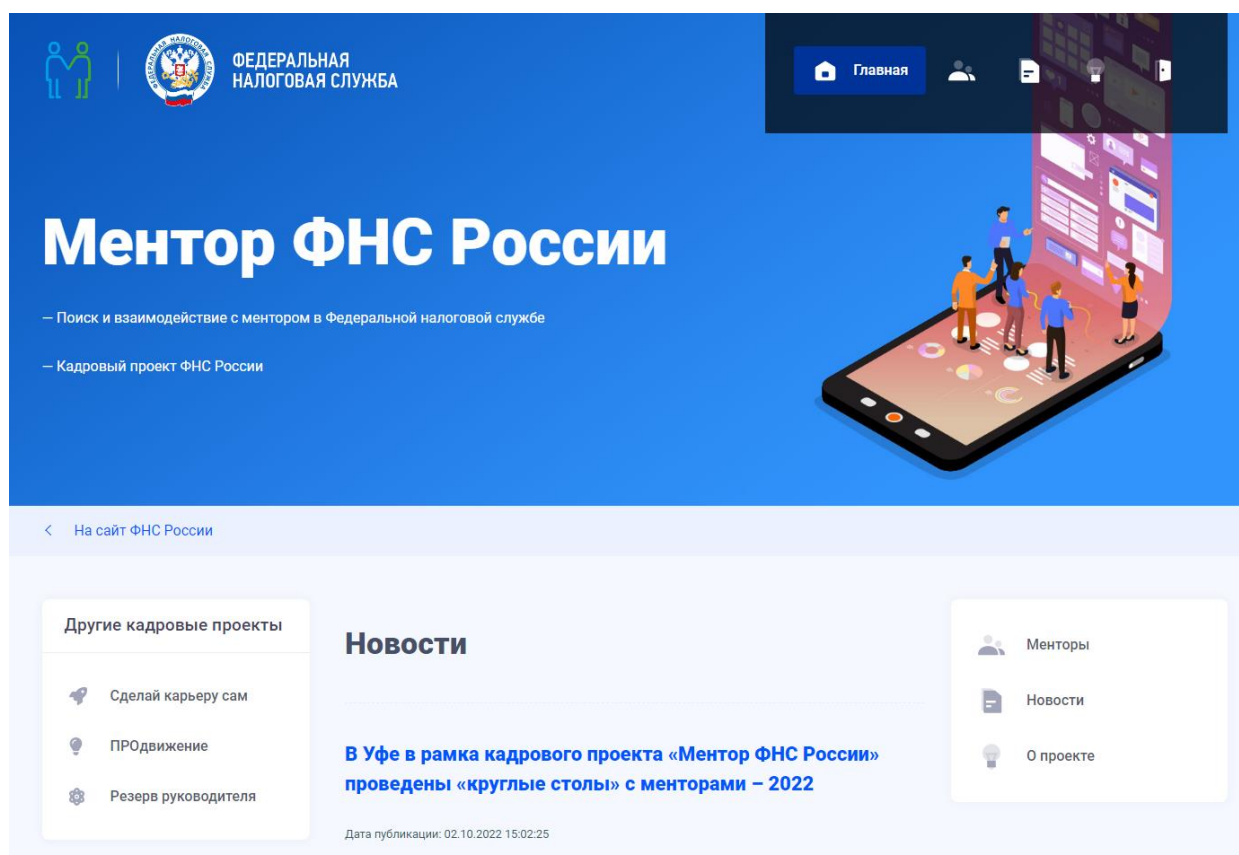


Рисунок 2 – Главная страница внутреннего портала сервиса «Ментор ФНС России»

Поиск...

Направление деятельности: Ничего не выбрано | Регион/местонахождение: Ничего не выбрано

Форма сотрудничества: Ничего не выбрано | Рейтинг: Ничего не выбрано

Обновить | Экспортировать данные | Печать

			ФИО	Рейтинг	Количество менти	Регион/местонахождение	Направления деятельности	Формы сотрудничества
<a href="#">Заявка на сотрудничество</a>	<a href="#">Информация</a>		Федяев Дмитрий Александрович	2.2	0 / 4	г.Москва	Информационные технологии	Дистанционная
<a href="#">Заявка на сотрудничество</a>	<a href="#">Информация</a>		Иванов Сергей Петрович	0	0 / 9	г.Москва	Безопасность; Выездные проверки; Гражданская служба; Камеральные проверки	-

Рисунок 3 – Страница внутреннего портала сервиса «Ментор ФНС России» для поиска ментора по критериям и подачи заявок на сотрудничество

**Внешний портал (*mentor.nalog.gov.ru*):**

1. регистрация ментора. Подача заявки на участие в программе «Ментор ФНС России» (2 формы – заявка и анкета ментора);
2. создание личного кабинета ментора после внесения ментора в реестр (по результатам рассмотрения заявки модератором) с автоматическим размещением в нем личных данных ментора, включая фото, изменение личных данных (при необходимости), смена пароля;
3. рассылка сообщений на электронную почту;
4. ведения реестра менти и менторов с актуализацией личных сведений, данных о загруженности менторов, текущем статусе менторов и их рейтинге в системе (балльная оценка, комментарии по итогам сотрудничества), перерасчёт рейтинга (по мере исключения участника-ментора из программы);
5. получения и рассмотрения ментором заявок на сотрудничество от менти;
6. системные сообщения/уведомления;
7. обработки принимаемой и передаваемой информации с внутреннего портала;
8. запроса увеличения количества доступных менти для ментора;
9. контроль существования электронного ящика при регистрации ментора;
10. блокировка личного кабинета ментора в одностороннем порядке по решению модератора;
11. разблокировка личного кабинета ментора посредством информационного взаимодействия с модератором ФНС через форму восстановления пароля/разблокировки;
12. выход пользователя из состава участников программы «Ментор ФНС России» с использованием личного кабинета ментора.

**Стек технологий, применявшийся при разработке сервиса**

При реализации компонентов данного сервиса применялись следующие технологии:

- для внутреннего портала: ASP.NET C# Core, jquery, bootstrap, ajax, MVC.
  - для внешнего портала: Java, jquery, bootstrap, ajax.
  - для агентов обмена данными: C# (консольные приложения и службы).
- Сервис использует СУБД MS SQL Server 2012, 2016.

### **Заключение**

Внедрение сервиса «Ментор ФНС России» в промышленную эксплуатацию позволило значительно «оживить» профессиональные связи внутри большого коллектива ФНС, сделать профессиональную адаптацию и наставничество более доступными, упорядоченными, а процесс наставничества контролируемым. Несомненно, сервис в дальнейшем будет модернизироваться, подстраиваться под новые условия и возникающие задачи, но первые шаги самые трудные (ведь надо преодолеть «инертность» мышления людей), и эти шаги уже делаются.

### **Библиографический список**

1. Зубова Л. А. Наставничество, фасилитация, менторство, коучинг. Особенности и различия / Л. А. Зубова. – Текст : непосредственный // Молодой ученый. – 2021. – № 46 (388). – С. 74-76. – URL: <https://moluch.ru/archive/388/85286/> (дата обращения: 04.11.2022).
2. Ментор: кто это, зачем нужен наставник и как его найти / Электронный ресурс. – URL: <https://trends.rbc.ru/trends/education/5ea9e4609a794773d0814bc4> (дата обращения: 04.11.2022).
3. Поляков Н.Ф. Менторство – новый инструмент в сфере профессионального развития государственных гражданских служащих Российской Федерации / Н.Ф. Поляков // Материалы научно-практической конференции «Актуальные вопросы налогового администрирования в контексте современных тенденций профессионального развития государственных гражданских служащих». – Нижний Новгород. – 26 мая 2021 года. – С 200-205.

УДК 519.876.2

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ВНЕДРЕНИЯ ИННОВАЦИЙ НА ПРЕДПРИЯТИИ**

**Нинидзе Д.Л., Усов А.Б.**

*Южный Федеральный Университет*

*г. Ростов-на-Дону, Россия, davidnin@mail.ru; tol151968@yandex.ru*

**Аннотация.** *Исследуется двухуровневая модель управления внедрением инноваций в организациях. Имеется один субъект управления верхнего уровня (супервайзер) и несколько субъектов нижнего уровня (агенты). За процесс внедрения инноваций отвечает супервайзер, внедрением занимаются агенты. Проведено аналитическое исследование системы в случае игры Гермейера Г1 при побуждении, реализованы численные эксперименты, дан анализ полученных результатов. Предложенная модель легла в основу системы поддержки принятия решений по автоматизации внедрения инноваций.*

**Ключевые слова:** *алгоритм Штакельберга, игра Гермейера Г1, побуждение, внедрение инноваций, супервайзер, агенты.*

**Abstract.** *A two-level model of innovation implementation management in organizations is investigated. There is one top-level management entity (supervisor) and several lower-level entities (agents). The supervisor is responsible for the innovation implementation process, the agents are engaged in the implementation. The analytical study of the system was carried out in the motivation case of the Hermeyer G1 game, numerical experiments were implemented, and the obtained results were analyzed. The proposed model was formed the basis of a decision support system for automating the of innovation implementation.*

**Keywords:** *stackelberg algorithm, Hermeyer G1 game, motivation, innovation implementation, supervisor, agents.*

## Введение

Инновации – это использование новых технологий, видов продукции и услуг, приносящее в будущем дополнительный доход. Внедрение инноваций требует перестройки сложившегося производства и переподготовки работников. Единой эффективной стратегии поведения субъектов по успешному внедрению инноваций до сих пор нет.

Среди имеющихся работ, посвящённых внедрению инноваций, выделим [1-5]. В [1] рассмотрены способы определения источников финансирования внедрения инноваций, выбора модели финансирования. В [2] исследуются несколько основных моделей финансирования при внедрении инновационных технологий. В [3] рассмотрена комплексная системно-динамическая модель интеграции инновационного продукта. В [4] рассматривается задача моделирования сбалансированной системы показателей (ССП) предприятия, которая определяет стратегию деятельности IT-компании. В [5] изучаются факторы, влияющие на процесс внедрения инноваций, и его результаты для всех типов инноваций.

В настоящей работе задача моделирования процесса внедрения инноваций исследуется на основе цикла статей [6-9]. В этих работах рассмотрен подход к исследованию сложных организационных систем.

Основная идея данной статьи состоит в исследовании иерархического теоретико-игрового подхода при моделировании процесса внедрения инноваций, что является основой для их продвижения в информационно-аналитической системе.

Оставшаяся часть статьи организована следующим образом. В разделе 1 приводится постановка стационарной задачи иерархического управления процессом внедрения инноваций. В разделе 2 проводится аналитическое исследование алгоритма Штакельберга. Раздел 3 посвящён численным экспериментам задачи. В заключении проводится анализ полученных результатов.

### 1. Математическая модель

Предлагаемая в настоящей работе модель использует результаты [7], в которой предложена универсальная модель развития организационных систем при внедрении инноваций.

Агенты стремятся только к максимизации своего выигрыша. Это выражается в их целевых функциях. Агенты занимаются продвижением инноваций, за что при побуждении получают вознаграждение от супервайзера. При этом каждый агент несёт некоторые расходы. Кроме того, агенты имеют частный интерес, не связанный с внедрением инноваций, который также приносит им доход.

Целевые функции супервайзера и  $n$  агентов отражают их доходы и имеют следующий вид:

– при побуждении для супервайзера

$$J_0(v, u) = x(k(S_v, S_u)) - S_u \rightarrow \max_u; \quad (1)$$

– для  $i$ -го агента,  $i=1, 2, \dots, n$

$$J_i(v, u) = g_i(v_i) + y(k(S_v, S_u)) - h(v_i) \rightarrow \max_{v_i}. \quad (2)$$

Здесь  $u_i$  – количество ресурсов супервайзера, которые он тратит на мотивацию внедрения инноваций  $i$ -м агентом;  $v_i$  – время, которое затрачивает  $i$ -й агент на внедрение инноваций (управление  $i$ -го агента);  $n$  – количество агентов;  $v = (v_1, \dots, v_n)$ ;  $u = (u_1, \dots, u_n)$ ,  $S_v = \sum_{i=1}^n v_i$ ,  $S_u = \sum_{i=1}^n u_i$ ;  $k(S_v, S_u)$  – качество процесса внедрения инноваций, которое зависит от управлений агентов и супервайзера;  $x(k(S_v, S_u))$  – выгоды для супервайзера от процесса внедрения инноваций;  $g_i(v_i)$  – доход агента от частной деятельности (обратно пропорционален  $v_i$ );  $y(k(S_v, S_u))$  – выгоды для агентов от процесса внедрения инноваций;  $h(v_i)$  – личные расходы агента во время внедрения инноваций.

Ограничения на управления агентов и супервайзера при побуждении соответственно имеют вид ( $i=1,2,\dots,n$ )

$$v_{\min} \leq v_i \leq v_{\max}, \quad (3)$$

$$u_{\min} \leq u_i \leq u_{\max}/ \quad (4)$$

Здесь  $v_{\min}, v_{\max}, u_{\min}, u_{\max}$  – известные постоянные.

Условие устойчивости системы в данном случае состоит в достижении определённого уровня внедрения инноваций и имеет вид

$$k_{\min} \leq k(S_v, S_u) \leq k_{\max}; k_{\min}, k_{\max} = const. \quad (5)$$

Проводится определение функций, входящих в (1)-(5), на основе [7, 9]. В результате входные функции модели взяты в виде:

$$\begin{aligned} k(S_v, S_u) &= C_1 S_v^\alpha \cdot S_u^\beta; 0 < \alpha, \beta < 1, \\ x(z) &= (1 - p_1) r C_1^\gamma S_v^{\alpha\gamma} \cdot S_u^{\beta\gamma}, y(z) = \frac{p_1}{n} r C_1^\gamma S_v^{\alpha\gamma} \cdot S_u^{\beta\gamma}, \\ g_i(v_i) &= d_i \cdot (T_{\max} - v_i); h(v_i) = l \cdot v_i^\lambda. \end{aligned}$$

Здесь  $\alpha \cdot \gamma + \beta \cdot \gamma < 1$ , но  $\alpha \cdot \gamma + \beta \cdot \gamma$  близко к единице, что характеризует постоянную отдачу в зависимости от масштаба производства,  $p_1 \in [0,1]$  – часть дохода, которую получают агенты от производства в результате процесса внедрения инноваций,  $r, \gamma$  – константы;  $T_{\max}$  – максимальное время, которое агент тратит в день на трудовую деятельность,  $d_i$  – доход  $i$ -го агента от частной деятельности,  $i$  – номер агента;  $l, \lambda$  – константы,  $l$  показывает величину личных вложений агентов во внедрение инноваций,  $0 < \lambda < 1$ .

Обозначим

$$a_1 = (1 - p_1) r C_1^\gamma, \delta = \alpha\gamma, \omega = \beta\gamma, a_2 = \frac{p_1}{N} r C_1^\gamma S_q^\vartheta,$$

где  $a_1, a_2$  – технологические коэффициенты,

$\delta$  – коэффициент эластичности по труду,

$\omega$  – коэффициент эластичности по капиталу.

Целевые функции субъектов управления в результате примут вид:

– супервайзера

$$J_0 = a_1 S_v^\delta S_u^\omega - S_u \rightarrow \max_u \quad (6)$$

–  $i$ -го агента,  $i=1,2,\dots,n$

$$J_i = d_i \cdot (T_{\max} - v_i) + a_2 \cdot S_v^\delta \cdot S_u^\omega - l \cdot v_i^\lambda \rightarrow \max_{v_i} \quad (7)$$

Итак, далее исследуется модель (3)-(7), в которой используется информационный регламент игры Гермейера Г1.

## 2. Аналитическое исследование модели

Супервайзер обеспечивает необходимый уровень внедрения инноваций, используя информационный регламент игры Гермейера Г1.

Алгоритм построения решения игры Г1 при побуждении состоит в следующем:

1. решается задача агентов (6), (3) при побуждении. Строятся равновесия Нэша  $v_{NE}$  при фиксированном управлении супервайзера. Если равновесий Нэша при фиксированном управлении супервайзера найдено несколько, то из них выбирается то, которое доставляет (6) меньшее значение. Обозначим его через  $v(u)_{NE}$  (при побуждении);
2. найденные на первом шаге функции  $v(u)_{NE}$  или  $v(q)_{NE}$  подставляются в (6), (7), (5);
3. решается задача (6), (7), (5) с ограничениями на управления (4). Находятся оптимальные значения  $u^*$  (при побуждении);
4. решение игры Г1 имеет вид  $(v^*(u^*), u^*)$  (при побуждении).

Для частного вида входных функций модели в случае однородных агентов ( $v_1 = v_2 = \dots = v_n = v, u_1 = u_2 = \dots = u_n = u$ ) решение находится аналитически.

Пусть  $\delta, \omega, \lambda = \frac{1}{2}$ . Тогда целевые функции субъектов принимают вид:

– супервайзера

$$J_0 = a_1 \cdot (\sqrt{n \cdot v} \cdot \sqrt{n \cdot u}) - n \cdot u \rightarrow \max_u; \quad (8)$$

–  $i$ -го агента  $i=1,2,\dots,n$

$$J_i = d \cdot (T_{\max} - v) + a_2 \cdot (\sqrt{n \cdot v} \cdot \sqrt{n \cdot u}) - l \cdot \sqrt{v} \rightarrow \max_v \quad (9)$$

Определим оптимальные стратегии агентов при заданном управлении супервайзера. Для этого вычислим первую производную функции  $J_i$  по управлению и приравняем ее к нулю.

$$\frac{\partial J_i}{\partial v} = -d + a_2 \cdot \left( \frac{n\sqrt{u}}{2\sqrt{v}} \right) - \frac{l}{2\sqrt{v}} = 0. \quad (10)$$

Отсюда

$$v^0 = \frac{(a_2^2 \cdot n^2 \cdot u - 2 \cdot a_2 \cdot l \cdot n\sqrt{u} + l^2)}{4d^2}. \quad (11)$$

Следовательно, если

$$\frac{\partial^2 J_i}{\partial v^2} = -a_2 \cdot \left( \frac{n\sqrt{u}}{4\sqrt{v^3}} \right) + \frac{l}{4\sqrt{v^3}} < 0$$

и выполнены условия (3), (4), то (11) является точкой максимума целевой функции  $i$ -го агента. Тогда с учётом (11) получим

$$v^* = \begin{cases} v_{\min} & \text{если } \frac{l^2}{a_2^2 \cdot n^2} < u < \left( \frac{l+2 \cdot d \cdot \sqrt{v_{\min}}}{a_2 \cdot n} \right)^2 \\ v^0 & \text{если } \left( \frac{l+2 \cdot d \cdot \sqrt{v_{\min}}}{a_2 \cdot n} \right)^2 \leq u \leq \left( \frac{l+2 \cdot d \cdot \sqrt{v_{\max}}}{a_2 \cdot n} \right)^2 \\ v_{\max} & \text{если } \left( \frac{l+2 \cdot d \cdot \sqrt{v_{\max}}}{a_2 \cdot n} \right)^2 < u \end{cases}$$

Пусть:

1. если  $u_{\min} \leq u < \widetilde{u}_1$ , то  $v^* = v_{\min}$ ;
2. если  $\widetilde{u}_1 \leq u < \widetilde{u}_2$ , то  $v^* = v_{\min}$ ;
3. если  $\widetilde{u}_2 \leq u \leq \widetilde{u}_3$ , то  $v^* = v^0$ ;
4. если  $\widetilde{u}_3 < u \leq u_{\max}$ , то  $v^* = v_{\max}$ .

Находится точка максимума  $u^*$  на четырех промежутках, рассмотренных выше. Для этого производится подстановка точки агента  $v^*$  в функцию  $J_0$ , а затем находится  $u^*$ .

1. Рассматривается промежуток  $u_{min} \leq u < \widetilde{u}_1$ , где  $\widetilde{u}_1 = \frac{l^2}{a_2^2 \cdot n^2}$ .

$$J_0 = a_1 \cdot n \cdot (\sqrt{v_{min} \cdot u}) - n \cdot u,$$

$$\frac{\partial J_0}{\partial u} = \frac{a_1 \cdot n \cdot \sqrt{v_{min}}}{2\sqrt{u}} - n = 0,$$

$$u^* = \frac{a_1^2 \cdot v_{min}}{4}$$

Так как  $\frac{\partial J_0}{\partial u^2} = -\frac{2 \cdot n}{a_1^2 \cdot v_{min}} < 0$ , то найденная точка  $u^*$  – это точка максимума на промежутке  $u_{min} \leq u < \widetilde{u}_1$  при условии, что

$$\frac{4 \cdot u_{min}}{a_1^2} \leq v_{min} < \frac{4 \cdot l^2}{a_1^2 \cdot a_2^2 \cdot n^2}.$$

2. Рассматривается промежуток  $\widetilde{u}_1 \leq u < \widetilde{u}_2$ , где  $\widetilde{u}_1 = \frac{l^2}{a_2^2 \cdot n^2}$ ,  $\widetilde{u}_2 = \left(\frac{l+2 \cdot d \cdot \sqrt{v_{min}}}{a_2 \cdot n}\right)^2$ .

$$J_0 = a_1 \cdot n \cdot (\sqrt{v_{min} \cdot u}) - n \cdot u,$$

$$\frac{\partial J_0}{\partial u} = \frac{a_1 \cdot n \cdot \sqrt{v_{min}}}{2\sqrt{u}} - n = 0,$$

$$u^* = \frac{a_1^2 \cdot v_{min}}{4}.$$

Так как  $\frac{\partial J_0}{\partial u^2} = -\frac{2 \cdot n}{a_1^2 \cdot v_{min}} < 0$ , то найденная точка  $u^*$  – это точка максимума на промежутке  $\widetilde{u}_1 \leq u < \widetilde{u}_2$  при условии, что

$$\frac{4 \cdot l^2}{a_1^2 \cdot a_2^2 \cdot n^2} \leq v_{min} < \frac{4 \cdot l^2}{(a_1 \cdot a_2 \cdot n - 4 \cdot d)^2}.$$

Выводы 1, 2 можно объединить, так как на обоих промежутках  $v^* = v_{min}$ . Тогда, если  $u_{min} \leq u < \widetilde{u}_2$ , то  $v^* = v_{min}$  при условии, что

$$\frac{4 \cdot u_{min}}{a_1^2} \leq v_{min} < \frac{4 \cdot l^2}{(a_1 \cdot a_2 \cdot n - 4 \cdot d)^2}.$$

3. Рассматривается промежуток  $\widetilde{u}_2 \leq u \leq \widetilde{u}_3$ , где  $\widetilde{u}_2 = \left(\frac{l+2 \cdot d \cdot \sqrt{v_{min}}}{a_2 \cdot n}\right)^2$ ,  $\widetilde{u}_3 = \left(\frac{l+2 \cdot d \cdot \sqrt{v_{max}}}{a_2 \cdot n}\right)^2$ .

$$J_0 = a_1 \cdot \left(\frac{a_2 \cdot n \sqrt{u} - l}{2d} \cdot n \cdot \sqrt{u}\right) - n \cdot u = a_1 \cdot n \cdot \left(\frac{a_2 \cdot n \cdot u - l \cdot \sqrt{u}}{2d}\right) - n \cdot u,$$

$$\frac{\partial J_0}{\partial u} = a_1 \cdot n \cdot \left(\frac{a_2 \cdot n}{2d} - \frac{l}{4d \cdot \sqrt{u}}\right) - n = 0.$$

Следовательно,  $\left(\frac{a_1 \cdot l}{2 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot n - 4 \cdot d}\right)^2 = u = u^*$ , где  $l > 0, a_1 > 0, a_2 > 0, n > 0, d > 0$ .

Заметим, что

$$\frac{\partial^2 J_0}{\partial u^2} = a_1 \cdot n \cdot \frac{l}{8 \cdot d \cdot \sqrt{u^3}} > 0, \text{ где } l > 0, a_1 > 0, n > 0, d > 0.$$

Следовательно, найденная точка  $u^*$  есть точка минимума.

4. Рассматривается  $\widetilde{u}_3 < u \leq u_{max}$ , где  $\widetilde{u}_3 = \left( \frac{l+2 \cdot d \cdot \sqrt{v_{max}}}{a_2 \cdot n} \right)^2$ .

$$J_0 = a_1 \cdot n \cdot (\sqrt{v_{max} \cdot u}) - n \cdot u,$$

$$\frac{\partial J_0}{\partial u} = \frac{a_1 \cdot n \cdot \sqrt{v_{max}}}{2\sqrt{u}} - n = 0,$$

$$u^* = \frac{a_1^2 \cdot v_{max}}{4}.$$

Так как

$$\frac{\partial^2 J_0}{\partial u^2} = -\frac{2 \cdot n}{a_1^2 \cdot v_{max}} < 0$$

то  $u^*$  – точка максимума на промежутке  $\widetilde{u}_3 < u \leq u_{max}$  при условии, что

$$\frac{4 \cdot l^2}{(a_1 \cdot a_2 \cdot n - 4 \cdot d)^2} < v_{max}.$$

В итоге получается

$$u^* = \begin{cases} u^0 \text{ если } \frac{4 \cdot u_{min}}{a_1^2} \leq v_{min} < \frac{4 \cdot l^2}{(a_1 \cdot a_2 \cdot n - 4 \cdot d)^2} \\ u^0 \text{ если } \frac{4 \cdot l^2}{(a_1 \cdot a_2 \cdot n - 4 \cdot d)^2} < v_{max} \end{cases}.$$

Результатом проведённых исследований являются точки:  $(v_{min}; u_{min})$ ,  $(v_{min}; u^0)$ ,  $(v_{min}; \widetilde{u}_2)$ ,  $(v^0; \widetilde{u}_2)$ ,  $(v^0; \widetilde{u}_3)$ ,  $(v_{max}; \widetilde{u}_3)$ ,  $(v_{max}; u^0)$ ,  $(v_{max}; u_{max})$ .

$$\begin{aligned} & (v_{min}; u_{min}); \left( v_{min}; \frac{a_1^2 \cdot v_{min}}{4} \right); \left( v_{min}; \left( \frac{l+2 \cdot d \cdot \sqrt{v_{min}}}{a_2 \cdot n} \right)^2 \right); \left( \left( \frac{a_2 \cdot n \sqrt{u} - l}{2d} \right)^2; \left( \frac{l+2 \cdot d \cdot \sqrt{v_{min}}}{a_2 \cdot n} \right)^2 \right); \\ & \left( \left( \frac{a_2 \cdot n \sqrt{u} - l}{2d} \right)^2; \left( \frac{l+2 \cdot d \cdot \sqrt{v_{max}}}{a_2 \cdot n} \right)^2 \right); \left( v_{max}; \left( \frac{l+2 \cdot d \cdot \sqrt{v_{max}}}{a_2 \cdot n} \right)^2 \right); \left( v_{max}; \frac{a_1^2 \cdot v_{max}}{4} \right); (v_{max}; u_{max}). \end{aligned}$$

В зависимости от входных параметров модели решением будет одна из этих 8 точек.

### 3. Результаты имитационных экспериментов

Были проведены имитационные эксперименты. Входные данные были получены на основе данных [10].

Численные эксперименты проводились в случае входных данных из табл. 1 и  $n=3$ ,  $T_{max}=16$  часов,  $v_{min}=0$  часов,  $v_{max}=16$  часов,  $k_{min}=0.1$ ,  $k_{max}=0.6$ ,  $u_{min}=1000$  руб.,  $u_{max}=5000$  руб.



Таблица 1 – Входные параметры численных экспериментов

№	$C_1$	$r$	$d_i$ руб./ч ас	$l$	$p_1$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
1	1	55	245	50	1/2	0.6	0.6	0.99
2	10	20	200	3	1/3	0.4	0.6	0.99
3	0.4	4	93	47	7/13	0.8	0.8	0.92
4	2.4	8	203	77	3/10	0.69	0.68	0.94

Результаты экспериментов для входных данных из таблицы 1 приведены в табл. 2. Здесь номер примера (первый столбец) соответствует номеру примера из табл. 1.

Таблица 2 – Результаты численных экспериментов

№	$(v^*, u^*)$	$J_i$ (руб)	$J_0$ (руб)	$K$
1	(16;5000)	27375.9	67906	1
2	(0;1000)	13630.7	67226	0.97
3	(8;3000)	1781.9	-1773	-0.86
4	(0;2000)	4169.5	7895	0.47

### Заключение

Цель данной работы – это создание аналитического блока для поддержки принятия решений по автоматизации внедрения инноваций в информационной системе.

Было проведено аналитическое исследование стратегии продвижения инноваций. В качестве методов иерархического управления в модели использовалось побуждение. В результате этого исследования были получены оптимальные управления субъектов, при которых они получают максимальный доход от внедрения инноваций и обеспечивается необходимый уровень инновационного развития предприятия.

### Библиографический список

1. Макаров А.С., Сазанова Д.А. Источники и модели финансирования инновационной деятельности организации – Москва: Финансовая аналитика: проблемы и решения, издательство: ООО «Издательский дом Финансы и Кредит», ISSN: 2073-4484, eISSN: 2311-8768, 2011, № 18 – с. 42-46.
2. Куликов И.Н. Модели финансирования инновационных технологий// Управление экономическими системами: электронный научный журнал, 8/2015. URL:uecs.ru/innovacii-investicii/item/3679-2015-08-28-07-07-34.
3. Шишаев М.Г. Комплексная системно-динамическая модель рыночной диффузии инновационного продукта. – Москва: Труды института системного анализа Российской Академии наук, 2009 – с. 223-244.
4. Мунтянова А.А. Моделирование инновационной составляющей сбалансированной системы показателей ИТ-компании // Инженерный вестник Дона, 2017, №2. URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4217.

5. Jungsu Kim, Goo Hyeok Chung. Implementing innovations within organizations: a systematic review and research agenda // *Innovation: Organization & Management*, Volume 19, 2017 – Issue 3 – P. 372-399.
6. Новиков Д.А., Иващенко А.А. Модели и методы организационного управления инновационным развитием фирмы. - М.: ЛЕНАНД, 2006. - 336 с.
7. Угольницкий Г.А., Усов А.Б. Равновесия в моделях иерархически организованных динамических систем с учётом требований устойчивого развития // *АиТ*. 2014. №6. С.86-102.
8. Угольницкий Г.А., Усов А.Б. Теоретико-игровая модель согласования интересов при инновационном развитии корпорации // *Компьютерные исследования и моделирование*, 2016, 8(4), с. 673-684.
9. Угольницкий Г.А., Усов А.Б. Алгоритмы решения дифференциальных моделей иерархических систем управления // *АиТ*. 2016. №5. С. 148-158.
10. Henry Edison, Nauman bin Ali, Richard Torkar. Towards innovation measurement in the software industry // *J. of Systems and Software – Netherlands: Elsevier*, 2013.

## АНАЛИТИЧЕСКИЙ БЛОК АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ РЕШЕНИЙ УПРАВЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ КОМПАНИЕЙ

**Поповян Н.О., Усов А.Б.**

*Южный федеральный университет  
г. Ростов-на-Дону, Россия, popovian2011@mail.ru; usov@sfedu.ru*

***Аннотация.** Успешность развития промышленного предприятия зависит от множества решений, оценить эффективность которых могут системы поддержки принятия решений. В статье реализован аналитический блок СППР, который предназначен для решения задач интеллектуальной обработки данных и включает в себя прогнозирующую, оптимизирующую и экспертную подсистемы. Предложена иерархическая двухуровневая модель, предсказывающая влияние различных входных данных на процесс на основе метода сценариев, и методов их исследования.*

***Ключевые слова:** оптимизация, система поддержки принятия решений, управление, моделирование, иерархические системы, равновесие Штакельберга.*

***Abstract.** The success of an industrial enterprise development depends on a variety of decisions. Their effectiveness can be evaluated by decision support systems. The article implements the analytical block of the DSS designed to solve the problems of intelligent data processing and includes predictive, optimizing and expert subsystems. A hierarchical two-level model predicting the influence of various input data on the process is proposed. Solution is based on the scenario's method and technics of their research.*

***Keywords:** optimization, decision support system, management, modeling, hierarchical systems, Stackelberg equilibrium.*

### **Введение**

Развитие промышленного предприятия зависит от множества управленческих решений, влияющих на эффективность его деятельности и объемы прибыли. Информационные технологии позволяют оптимизировать планирование, поставки, управление кадрами и множество других процессов. Для исключения ошибки и получения вспомогательных обоснований при принятии решений, лицам, руководящим предприятиями, необходимы системы поддержки принятия решений (СППР)[1]. Основанные на методах математического моделирования и теории управления, СППР являются эффективным средством максимизации прибыли и оптимизации производственных процессов.

Отношения промышленного предприятия и клиентов, можно представить как иерархическую систему. В пособиях [2-3] приведены основные сведения из теории игр, необходимые для построения и анализа математических моделей управления организационными системами, и рассмотрены базовые модели иерархических игр.

В данной статье в качестве промышленного предприятия предлагается организация, осуществляющая производство асфальта и асфальтобетонной смеси. Взаимодействие двух субъектов (Центра и Агента) представлено как двухуровневая иерархическая система. Для выбора оптимального поведения субъектов реализуется алгоритм построения равновесий Штакельберга.

#### Математическое описание модели

Агентом является любое лицо или субъект, которому необходимо выполнить определенную работу по асфальтированию участка земли или дороги. Примерами агентов являются:

- строительная компания, которая планирует асфальтное покрытие некой территории;
- частное лицо, желающее покрыть асфальтом часть собственного участка;
- органы местного управления, обязанные поддерживать качество дорожного покрытия населенного пункта.

Для реализации планов Агенту необходимо приобрести асфальтобетонную смесь на асфальтовом заводе (Центр) в объеме  $V$ , который рассчитывается Агентом заранее исходя из толщины покрытия, расхода смеси на  $1 \text{ м}^2$  и площади территории. В действительности для Агентов может оказаться необходим разный тип, состав и толщина покрытия [4]. Для упрощения модели разобьем агентов на группы с одинаковым типом смеси (мелкозернистый, песчаный, крупнозернистый и пр.) и рассмотрим задачу в пределах одной группы. Данное допущение оправдано тем, что для каждой группы стоимость и технология производства смеси и работы по покрытию отличается, что приводит к разным значениям входных параметров для каждого типа, и соответственно стратегии Центра и Агентов для каждой группы будут отличаться. Решение задачи, учитывающей всех агентов одновременно, сводится к решению набора задач для каждой группы.

Покрытие территории можно осуществить как самостоятельно (т. е. приобретая только готовую смесь, а работу выполнить силами найденной самостоятельно бригады рабочих), так и обратившись за услугой к самому заводу, осуществляющему продажу асфальтобетонной смеси. Агент решает, какую часть работы по покрытию от общего объема  $V$  выполнит завод. Площадь выполняемых Центром работ составит  $v \cdot V \text{ м}^3$ , где  $v$  – часть работы, выполняемой бригадой завода,  $0 \leq v \leq 1$ .

При самостоятельном строительстве Расходы агента составляют:

$$(1 - v) \cdot V \cdot (c_s + f + p_1 \cdot s_{p-t} + \delta),$$

- где  $c_s$  – цена единицы готовой асфальтобетонной смеси;  
 $p_1$  – заработная плата дорожных работников;  
 $f_1$  – сопутствующие расходы на укладку  $1 \text{ м}^3$ ;  
 $s_{p-t}$  – количество наемных дорожных рабочих;  
 $\delta$  – расходы на поиск организацию строительства, поиск рабочих, аренду техники, контроль работы

При использовании услуг завода, затраты агента равны:

$$v \cdot V \cdot \alpha \cdot c_s,$$

где  $\alpha > 1$  – наценка на стоимость единицы смеси при укладке бригадой завода.

Агент стремится к минимизации своих расходов:

$$Y1 = v \cdot V \cdot \alpha \cdot c_s + (1 - v) \cdot V \cdot (c_s + f_1 + p_1 \cdot s_{p-t} + \delta) \rightarrow \min. \quad (1)$$

Центром является асфальтобетонный завод, занимающийся производством асфальтобетонной смеси, а также строительством, ремонтом или восстановлением асфальт-

ных покрытий. Управлением Центра является стоимость единицы асфальтобетонной смеси  $c_s$ . Предприятие стремится к максимизации своей прибыли, соответствующей значению его целевой функции.

Расходы на производство смеси [5] из сырья объемом  $r$  выражаются как:

$$\left( (D + c_r + F) \cdot r + R + (P_{norm} + P_{extra}) \cdot s_{f-t} \right),$$

- где  $D$  – затраты на транспортировку единицы сырья на предприятие;  
 $F$  – затраты на изготовление смеси;  
 $c_r$  – цена единицы сырья;  
 $r$  – объем сырья;  
 $R$  – средние затраты на проведение ремонтных работ оборудования;  
 $P_{norm}$  – нормативная ставка заработной платы штатных сотрудников;  
 $P_{extra}$  – дополнительные выплаты при превышении объемов работы нормативов  $V_{norm}$ , при этом  $P_{extra} = \begin{cases} 0, & \text{при } r \leq V_{norm} \\ \frac{r - V_{norm}}{V_{norm}} \cdot P_{norm}, & \text{при } r > V_{norm} \end{cases}$ ;  
 $s$  – количество сотрудников, выполняющих изготовление смеси.

Помимо штата сотрудников ответственных за производство, на предприятии имеется бригада дорожных рабочих в количестве  $s_b$ , минимальная оплата труда которых производится вне зависимости от наличия заказов в размере  $P_b$ . При выполнении работы по укладке единицы смеси рабочий получает надбавку в размере  $p_b$ .

Доходы складываются из продажи асфальтобетонной смеси  $(1 - v) \cdot V \cdot c_s$  и строительства асфальтового покрытия  $v \cdot V \cdot (\alpha \cdot c_s - f - p_b \cdot s_b)$ ,

$$Y_0 = - \left( (D + c_r + F) \cdot r + R + (P_{norm} + P_{extra}) \cdot s_{f-t} \right) - P_b \cdot s_b + (1 - v) \cdot V \cdot c_s + v \cdot V \cdot (\alpha \cdot c_s - f - p_b \cdot s_b) \rightarrow \max \quad (2)$$

### Аналитическое решение

Будем считать, что предприятие достаточно осведомлено о ситуации на рынке, что позволяет считать целевую функцию Агента известной Центру. Это дает Центру право первого хода и выбора наиболее выгодной для него стратегии, на основе оценки входных данных. Что позволяет найти решение системы (1)-(2) как равновесие Штакельберга.

В данном случае, основываясь на линейности функции Агента относительно переменной  $v$ , можно сделать предположение о нескольких возможных ситуациях:

1. Центр назначает такую наценку, что Агент полностью выполняет работу по укладке самостоятельно;
2. Центр назначает наценку, при которой Агенту выгоднее поручить выполнение работы Центру;
3. стоимость услуг такова, что Агент предпочтет приобретение необходимой смеси у третьих лиц.

Рассмотрим целевую функцию Агента

$$Y_1 = v \cdot V \cdot \alpha \cdot c_s + (1 - v) \cdot V \cdot (c_s + f_1 + p_1 \cdot s_{p-t} + \delta) \rightarrow \min,$$

$$\frac{\partial Y_1}{\partial v} = V \cdot \alpha \cdot c_s - V \cdot (c_s + f_1 + p_1 \cdot s_{p-t} + \delta)$$

Так как функция линейна, при положительной производной точка минимума находится на левом конце отрезка  $[0; 1]$ , соответственно  $v^0 = 0$ .

При отрицательной производной точка минимума функции Агента находится на правом конце отрезка  $[0; 1]$ . При равенстве производной нулю с экономической точки зрения Агенту все равно какой процент работы доверить Центру, а какой выполнить самостоятельно. В таком случае рациональный Агент для экономии времени на организацию работы, также предпочтет выбрать  $v^0 = 1$

$$V \cdot \alpha \cdot c_s - V \cdot (c_s + f_1 + p_1 \cdot s_{p-t} + \delta) \leq 0,$$

$$\alpha \cdot c_s = c_s + f_1 + p_1 \cdot s_{p-t} + \delta \leq 0,$$

$$\alpha \leq 1 + \frac{f_1 + p_1 \cdot s_{p-t} + \delta}{c_s}$$

Таким образом оптимальный ответ Агента на любую стратегию Центра принимает вид:

$$v^* = \begin{cases} 0, & \text{при } \alpha > 1 + \frac{f_1 + p_1 \cdot s_{p-t} + \delta}{c_s} \\ 1, & \text{при } \alpha \leq 1 + \frac{f_1 + p_1 \cdot s_{p-t} + \delta}{c_s} \end{cases} \quad (3)$$

При этом сделка с Центром состоится только, если затраты Агента при приобретении смеси на другом предприятии по средней рыночной стоимости  $c_m$  суммарно с затратами на его транспортировку  $d$  превышают значение функции в точке  $v^*$ .

Рассмотрим первый случай при  $v^* = 0$ .

В этом случае в функции Агента будет присутствовать только слагаемое, определяющее затраты на приобретение и проведение покрытия самостоятельно:

$$V \cdot (c_s + f_1 + p_1 \cdot s_{p-t} + \delta) \leq V \cdot (c_m + d + f_1 + p_1 \cdot s_{p-t} + \delta),$$

$$c_s + f_1 + p_1 \cdot s_{p-t} + \delta \leq c_m + d + f_1 + p_1 \cdot s_{p-t} + \delta,$$

$$c_s \leq c_m + d. \quad (4)$$

Условие (4) определяет порог стоимости, при которой Агент приобретает смесь у Центра.

При  $v^* = 1$  необходимо выполнение неравенства:

$$V \cdot \alpha \cdot c_s \leq V \cdot (c_m + d + f_1 + p_1 \cdot s_{p-t} + \delta),$$

$$\alpha \cdot c_s \leq c_m + d + f_1 + p_1 \cdot s_{p-t} + \delta,$$

$$\alpha \leq \frac{c_m + d + f_1 + p_1 \cdot s_{p-t} + \delta}{c_s} \quad (5)$$

Условие (5) дополнительно ограничивает управление Центра помимо условия наложенного в (3).

Функцию центра рассмотрим на двух промежутках при  $1 < \alpha \leq 1 + \frac{f_1 + p_1 \cdot s_{p-t} + \delta}{c_s}$  и  $\alpha > 1 + \frac{f_1 + p_1 \cdot s_{p-t} + \delta}{c_s}$ . В первом случае целевая функция примет вид:

$$Y_0 = - \left( (D + c_r + F) \cdot r + R + (P_{norm} + P_{extra}) \cdot s_{f-t} \right) - P_b \cdot s_b +$$

$$+V \cdot (\alpha \cdot c_s - f - p_b \cdot s_b) \rightarrow \max.$$

Функция линейна относительно переменной  $\alpha$ . Производная функции всегда положительна:  $\frac{\partial Y_0}{\partial \alpha} = V \cdot c_s > 0$ . Следовательно, точка максимума функции на правом конце отрезка  $(1; \alpha^0]$ . В зависимости от входных параметров при  $1 < \alpha \leq 1 + \frac{f_1 + p_1 \cdot s_{p-t} + \delta}{c_s}$  условие (5) может быть соблюдено или нарушено. Что приводит к двум возможным областям допустимых значений управления Центра, соответственно и двум возможным оптимальным стратегиям.

$$\alpha^0 = \begin{cases} 1 + \frac{f_1 + p_1 \cdot s_{p-t} + \delta}{c_s}, & \text{при } 1 + \frac{f_1 + p_1 \cdot s_{p-t} + \delta}{c_s} \leq \frac{c_m + d + f_1 + p_1 \cdot s_{p-t} + \delta}{c_s} \\ \frac{c_m + d + f_1 + p_1 \cdot s_{p-t} + \delta}{c_s}, & \text{при } 1 + \frac{f_1 + p_1 \cdot s_{p-t} + \delta}{c_s} > \frac{c_m + d + f_1 + p_1 \cdot s_{p-t} + \delta}{c_s} \end{cases}$$

Что может быть также записано как

$$\alpha^0 = \begin{cases} 1 + \frac{f_1 + p_1 \cdot s_{p-t} + \delta}{c_s}, & \text{при } c_s \leq c_m + d \\ \frac{c_m + d + f_1 + p_1 \cdot s_{p-t} + \delta}{c_s}, & \text{при } c_s > c_m + d \end{cases}$$

Случай, при котором  $\alpha > 1 + \frac{f_1 + p_1 \cdot s_{p-t} + \delta}{c_s}$  и сделка состоялась, возможен только, когда входные параметры удовлетворяют условию (4). Целевая функция Центра принимает вид:

$$Y_0 = - \left( (D + c_r + F) \cdot r + R + (P_{norm} + P_{extra}) \cdot s_{f-t} \right) - P_b \cdot s_b + V \cdot c_s.$$

Как можно заметить, в связи с отсутствием зависимости функции от переменной управления Центра, переменная  $\alpha$  принимает значение  $1 + \frac{f_1 + p_1 \cdot s_{p-t} + \delta}{c_s} + \varepsilon$ , где  $\varepsilon > 0$ . То есть Центру выгоднее назначить такую стоимость услуг, чтобы Агент ограничился только приобретением смеси. Данная ситуация возможна, когда входные параметры таковы, что наценка, удовлетворяющая Агента, не устраивает Центр. В таком случае должно выполняться неравенство:

$$c_s > \alpha \cdot c_s - f - p_b \cdot s_b.$$

При условии (4) Агента удовлетворяет наценка равная  $1 + \frac{f_1 + p_1 \cdot s_{p-t} + \delta}{c_s}$ . При данном значении переменной  $\alpha$  неравенство принимает вид:

$$\begin{aligned} c_s > c_s + f_1 + p_1 \cdot s_{p-t} + \delta - f - p_b \cdot s_b, \\ f \mp p_b \cdot s_b > f_1 + p_1 \cdot s_{p-t} + \delta. \end{aligned} \quad (6)$$

Условие (6) означает, что расходы Центра на укладку  $1 \text{ м}^3$  смеси превышают соответствующие расходы Агента.

Таким образом, для данной модели получены 3 равновесия Штакельберга. Выбор оптимального зависит от значений входных параметров.

1. При  $c_s \leq c_m + d$  равновесие принимает вид:

$$(\alpha^*, v^*) = \begin{cases} \left(1 + \frac{f_1 + p_1 \cdot s_{p-t} + \delta}{c_s}, 1\right), & \text{при } f + p_b \cdot s_b \leq f_1 + p_1 \cdot s_{p-t} + \delta \\ \left(1 + \frac{f_1 + p_1 \cdot s_{p-t} + \delta}{c_s} + \varepsilon, 0\right), & \text{при } f + p_b \cdot s_b > f_1 + p_1 \cdot s_{p-t} + \delta \end{cases}$$

2. При  $c_s > c_m + d$  равновесие принимает вид

$$(\alpha^*, v^*) = \left(\frac{c_m + d + f_1 + p_1 \cdot s_{p-t} + \delta}{c_s}, 1\right).$$

### Сравнение результатов аналитического и имитационного решения

Для проверки полученных результатов сравним равновесия, полученные при использовании аналитического и имитационного подходов. При этом расходы предприятия будем рассчитывать только на изготовление смеси, необходимого Агнету, объема. Зафиксируем входные параметры, полученные на основе анализа рыночной стоимости услуг, сырья, и сопутствующих расходов:

$$V = r = 25 \text{ т}, p_1 = 600 \text{ р}, f_1 = 80 \text{ р}, f = 50 \text{ р}, s_{p-t} = s_{f-t} = s_b = 4, \delta = 200 \text{ р},$$

$$D = 100 \text{ р}, F = 100 \text{ р}, c_r = 1800 \text{ р}, R = 20 \text{ р}, P_{norm} = 200 \text{ р}, P_{extra} = 0 \text{ р},$$

$$p_b = 300 \text{ р}, P_b = 14000 \text{ р}, c_m = 4500 \text{ р}, d = 200 \text{ р}.$$

Так как на равновесие в большей степени влияет соотношение стоимости смеси на заводе и рыночной стоимости, интерес представляет зависимости значений целевых функций от изменения цены смеси. Данная зависимость отображена на рисунках 1 и 2, где сплошной линией отображены значения, полученные при аналитическом решении, а пунктирной – при имитации.

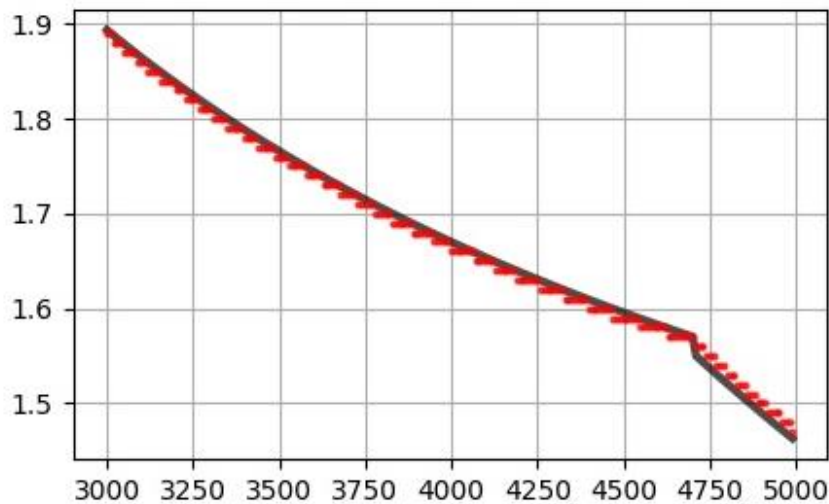


Рисунок 1 – Зависимость стратегии Центра от стоимости смеси

Результаты, полученные разными способами, совпали и показывают, что при  $c_s \geq c_m + d$  целевая функция Центра принимает постоянное значение, а значение стратегии Центра резко снижается. Функция Агента принимает вид, аналогичный рисунку 2.

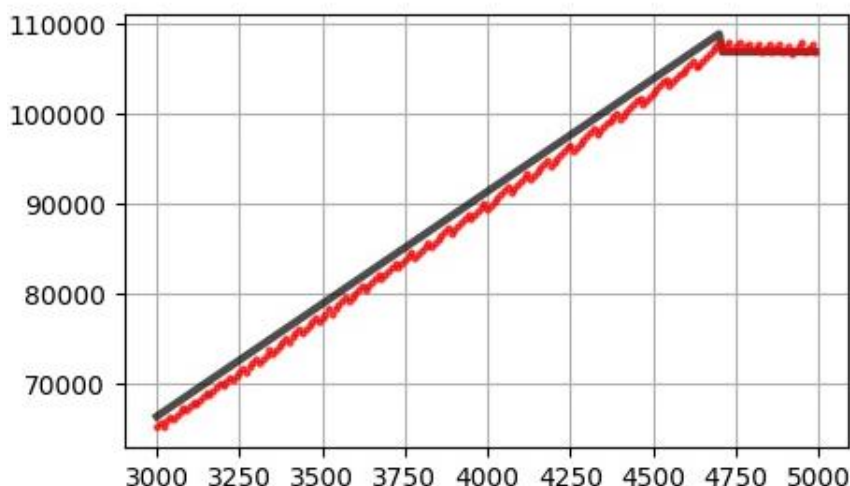


Рисунок 2 – Зависимость функции Центра от стоимости смеси

Данные графики демонстрируют возможности увеличения стоимости смеси, однако при переходе порогового значения, снижается целесообразности оказывания услуг по строительству дорог и содержания собственной бригады рабочих. СППР, предлагающая подобные расчеты, может стать основой для принятия решения о перечне и стоимости предлагаемых услуг руководством производства.

#### **Заключение**

В статье реализован аналитический блок СППР, направленный на оптимизацию управления иерархической двухуровневой модели, основанной на взаимодействии промышленного предприятия с клиентами. Прогноз влияния входных параметров игры на оптимальные стратегии, выигрыши и состояние системы основывается на решении, найденном аналитическим и имитационным методами.

#### **Библиографический список**

1. Моделирование и принятие решений в организационно-технических системах: учебное пособие. В 2 ч. Ч. 1 / К. А. Аксенов, Н. В. Гончарова. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2015. – 104 с.
2. Губко М.В., Новиков Д.А. Теория игр в управлении организационными системами. Издание 2, М.: 2005, С. 117-135.
3. А. А. Воронин, М. В. Губко, С. П. Мишин, Д. А. Новиков Математические модели организаций: Учебное пособие. – М.: ЛЕНАНД, 2008, С. 90-118, 218-250.
4. ТР 103-07. Технические рекомендации по устройству дорожных конструкций с применением асфальтобетона. М.: ГУП НИИМосстрой . 2007
5. Калькулирование себестоимости продукции производственных предприятий дорожной отрасли: учеб.-метод. пособие для курсового и дипломного проектирования / ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. Гомель : БелГУТ, 2010. – 51с.



# СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ УСТРОЙСТВ КОНТРОЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

Рыбка А.Д., Пестунов А.И., Белов В.М.

Новосибирский государственный технический университет  
г. Новосибирск, Россия, ra97@mail.ru

**Аннотация.** В работе рассмотрены устройства и технологии, используемые для контроля перемещений внутри помещений. Произведен сравнительный анализ существующих устройств и технологий. Выбраны наилучшие из них по ряду характеристик. Проведены испытания устройств с целью определения соответствия заявленным характеристикам в условиях производственных помещений.

**Ключевые слова:** определение местоположения, навигация внутри помещений, радиометка, считывающие устройство, RFID, Wi-Fi, Bluetooth.

**Abstract.** The paper considers the devices and technologies used to control indoor movements. A comparative analysis of existing devices and technologies has been made. The best of them have been selected for a number of characteristics. The devices were tested in order to determine compliance with the declared characteristics in the conditions of industrial premises.

**Keywords:** location identification, indoor navigation, radio tag, radio reader, RFID, Wi-Fi, Bluetooth.

## Введение

Определение местоположения объектов внутри помещений является на сегодняшний день актуальной задачей, так как позволяет осуществлять контроль над любыми объектами в ходе реализации производственных циклов предприятий, тем самым повышая эффективность и безопасность производства. Локальное позиционирование, или навигация производственных объектов внутри помещений, востребовано во многих отраслях народного хозяйства.

В нашей работе сделана попытка проведения сравнительного анализа существующих автоматических устройств контроля перемещений в производственных помещениях (АУКППП) различного типа. Это полезно для решения задач оптимизации бизнес-процессов предприятий, контроля качества производимой продукции. Потребность в таких системах в настоящее время неуклонно растет, так как системы мониторинга и анализа перемещений помогают в выработке алгоритмов управления персоналом и производством с точки зрения повышения эффективности работы организаций и предприятий.

## Анализ автоматических платформ контроля перемещений объектов

АУКППП представляет собой устройство, состоящее из двух элементов: метки и считывателя. Ниже приведем структурную схему АУКППП, на которой показаны эти два элемента (рисунок 1).

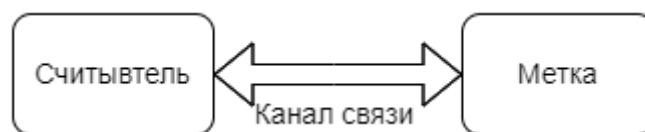


Рисунок 1 – Структурная схема АУКППП

Под меткой будем понимать средство маркировки отслеживаемых объектов.

Считыватель есть устройство, которое распознает, записывает, считывает или передает сведения, записанные на радиометке.

Для проведения сравнительного анализа АУКППП нам необходимо назначить критерии, по которым будет проведено сравнение. Среди критериев сравнительного анализа экспертным путем были выбраны следующие основные характеристики АУКППП:

- точность позиционирования;
- периодичность опроса объекта;
- радиус действия;

- рабочий диапазон частот;
- габариты меток (размер, вес);
- вид энергопотребления;
- срок службы;
- стоимость метки/считывателя.

Под точностью позиционирования будем понимать точность определения координат контролируемого объекта.

Периодичность опроса объекта представляет собой промежуток времени между замерами для обеспечения позиционирования в режиме реального времени.

Радиус действия есть допустимое расстояние между меткой и считывающим устройством.

Далее приведем таблицу сравнения выбранных критериев для АУКППП (таблица 1).

Таблица 1 – Сравнимые характеристики АУКППП

Характеристика/Устройство	Точность позиционирования, м	Периодичность опроса, с	Радиус действия, м	Рабочий диапазон частот	Габариты меток		Вид энергопотребления	Срок службы, лет	Стоимость	
					Размер, ДхШххВ*, мм	Вес, г			метка	считыватель
RFID LF	0.1	0.5	0.8	125-134 КГц	10x10x1	10	Пассивное	До 10	Низкая	Высокая
RFID HF	0.1	0.5	0.1-1	13.56 МГц	От 21x11x1	10	Пассивное	До 10	Низкая	Высокая
RFID UHF	1	0.1	До 15	860-890 МГц	97x27x1	10	Пассивное	До 10	Низкая	Высокая
RFID UHF RTLS	1-3	0.1	До 100	2.4 ГГц	180x25x1	10	Пассивное	До 10	Высокая	Высокая
NF UHF	0.1	0.1	0.3	900 МГц	50x50x1	10	Пассивное	До 10	Средняя	Высокая
Wi-Fi	1 – 5	1	100 – 200	2.4 ГГц	От 24x24x13,8	12	От батарей CR2450	До 3	Средняя	Средняя
Bluetooth LE	1	1	1-100	2.4 ГГц	От 40x29x15	25	От батарей CR2450	До 5	Средняя	Средняя
ZigBee	1-3	10	80 – 1000	868 МГц, 915 МГц, 2.4 ГГц	От 30x22x15	20	От батарей CR2450	До 2	Средняя	Средняя
UWB	0.2	2	30	3.1-10.6 ГГц	82x46x7	30	От батарей CR3x2	До 2	Высокая	Высокая

\* ДхШхВ – Длина, Ширина, Высота, соответственно

Высокочастотная метка (RFID HF - Radio Frequency Identification - high frequency) работает на частоте 13.5 МГц. Антенна HF метки представляет из себя электромагнитную катушку в несколько витков, подключенную к чипу. Зачастую количество витков не превышает 10-ти, поэтому катушка выполняется методом печати, такое решение удешевляет метку и позволяет производить их в больших количествах. Сейчас метки могут производить в виде брелков, тонких карточек, наклеек.

RFID LF - метки диапазона 125–134 кГц получили наибольшее распространение в системах управления доступом. LF-метки не поддерживают механизмы антиколлизии,

это означает, что в зоне считывания одновременно должна находиться только одна метка. В системах контроля управления доступом считывание меток происходит на расстоянии нескольких сантиметров. Также существуют LF-считыватели, предназначенные для работы на больших, для этого типа меток, расстояниях - до 1 м [3].

NF-UHF (англ. UHF Near-Field) или метки ближнего поля для передачи данных используют электромагнитное поле антенны, поэтому в отличие от других RFID меток могут быть считаны в условиях высокой влажности, вблизи металлических поверхностей и под водой [4].

За счет высокой частоты радиоволн (англ. Ultra High Frequency), обмен данными между меткой и считывателем может происходить на расстояниях: для пассивных меток - десятка метров, а у активных меток - до 150 м.

Дальность связи средствами Wi-Fi сильно зависит от условий распространения электромагнитных волн, типа антенны и мощности передатчика. Как правило, дальность уверенного приема составляют 100-200 м в помещениях, при использовании внешней направленной антенны и мощного передатчика на открытой местности - нескольких километров.

На сегодняшний день отслеживание местоположения внутри помещений с помощью Wi-Fi используется во многих сферах – от транспорта и логистики до применения в промышленности, офисах, выставках и музеях. Основным минусом такой технологии отслеживания местоположения метки является необходимость постоянного соединения между точкой доступа и клиентами, что в свою очередь, негативно сказывается на энергопотреблении носимых устройств [5, 2].

Bluetooth-маяки (iBeacon) – класс автономных устройств, использующих технологию передачи Bluetooth Low Energy. Дальность передачи у таких меток может достигать 50 м. Выход на связь устройство осуществляет в определенные интервалы времени [6].

Отличительной особенностью маяков является низкое энергопотребление, которое в несколько раз меньше, чем у Wi-Fi, что позволяет делать метки с батарейным питанием небольшого размера и достаточным сроком службы, который зависит от режима вещания и может достигать до пяти лет. Точность определения местоположения с помощью этой технологии достигает 1-го метра.

ZigBee стандарт позволяет выбирать алгоритм маршрутизации данных. В сети с древовидной топологией может использоваться маячковая или иерархическая маршрутизация.

В безмаячковой сети ZigBee маршрутизаторы организуют каналы между устройствами для передачи данных. Такой вариант является наиболее энергозатратным. В маячковой сети ZigBee осуществляется периодическая отправка специальных широковещательных сообщений - маячков для связи с соседними устройствами, а также для подтверждения работоспособности и присутствия устройства в сети. Узлы в таких сетях являются активными только в момент передачи специального сообщения [1].

Энергоэффективность является ключевой проблемой технологии ZigBee. Улучшение энергоэффективности достигается за счет уменьшения количества узлов, участвующих в маршрутизации или использования схемы пробуждения по расписанию.

Устройства с технологией UWB (Ultra Wideband) используют сверхширокополосные радиосигналы для передачи высокочастотных импульсов на малые расстояния. Основным плюсом использования является высокая точность позиционирования, которая может достигать 10 см. В сравнении с Wi-Fi устройствами, UWB устройства обладают большей помехозащищенностью и меньшим энергопотреблением. Существенным минусом данных устройств является высокая стоимость и значительные расходы на создание необходимой инфраструктуры.

UWB метки, как и Bluetooth-маяки имеют низкое энергопотребление, высокую точность определения местоположения, надежность в отслеживании объектов. UWB поз-

воляет более точно определить местоположение объекта и применяется в системах отслеживания реального времени.

В рассматриваемых устройствах, использующих активную технологию передачи данных, наиболее часто для определения расстояния до метки применяются два метода: ToF и RSSI.

Метод ToF (Time of Flight) основан на измерении времени прохождения сигнала между считывателем и меткой, фиксации задержек формирования и обработки сигналов. В реальности данный метод эффективен на расстояниях более 100 метров. Для повышения точности используют многократные измерения.

Оценивание расстояния до узла по уровню принятого сигнала RSSI (Received Strength Signal Indication) является наиболее простым в реализации. В данном методе происходит определение мощности принятого сигнала. Измеренное значение мощности сравнивается с заранее откалиброванным значением уровня сигнала на заданном расстоянии, что позволяет оценить дальность до источника.

Из предложенных устройств были выбраны по одному устройству для пассивной технологии считывания и устройств с батарейным питанием. Из устройств с пассивным энергопотреблением RFID UHF показывает наилучшее сочетание характеристик: радиус обнаружения и точность обнаружения. Для устройств с батарейным питанием наилучшие характеристики показывает технология Bluetooth LE. Устройства на базе Wi-Fi и ZigBee имеют недостаточно большой срок службы и меньшую точность позиционирования в сравнении с Bluetooth LE. UWB имеет слишком большую стоимость системы, хоть и показывает точность лучше устройств отслеживания на технологии Bluetooth LE.

Тестирование проводилось в два этапа: в лабораторных условиях, для оценки максимальной дальности и точности работы выбранного устройства, и условиях производственного помещения с наличием передающих устройств и без обязательного нахождения меток в прямой видимости.

В качестве АУКППП с технологией Bluetooth LE, был выбран радиомодуль HM-10 на базе чипа CC2540 и переносная радиометка с батарейным питанием CR2450.

Для пассивной метки использовался считыватель RFID UHF с выносной направленной антенной и пассивная метка в виде бейджа с размером антенны 97x27x1 см.

В результате тестирования считывателей RFID дальнего радиуса действия, было установлено, что пассивные метки при нахождении на расстоянии 2-х сантиметров от тела человека, даже при прямой видимости считывающей антенны, перестают стабильно работать уже на расстоянии 2-х метров от считывателя, в некоторых случаях экранирование происходит на расстоянии около одного метра. Технология Bluetooth LE маячков была лишена таких недостатков и показала стабильное считывание меток на расстоянии до 40 м в прямой видимости, а также в условиях производственных помещений.

### **Заключение**

В рамках данной работы был проведен обзор и сравнительный анализ имеющихся АУКППП. Осуществлено оценивание и выбор двух технологий по сочетанию исследуемых характеристик. Показана применимость ряда устройств в условиях производственного помещения.

### **Библиографический список**

1. ZigBee specification. Document 053474r13. - ZigBee Standards Organization, Dec. 1, 2006. [Электронный ресурс] / [olmicrowaves.com](http://www.olmicrowaves.com). – Режим доступа: [http://www.olmicrowaves.com/menucontents/designsupport/zigbee/1171625602\\_ZigBeeSpecification-2006-r13.pdf](http://www.olmicrowaves.com/menucontents/designsupport/zigbee/1171625602_ZigBeeSpecification-2006-r13.pdf) (дата обращения 10.05.2022)
2. IEEE Standards Association [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://standards.ieee.org> (дата обращения 1.05.2022).
3. NFC чипы [Электронный ресурс] / База знаний NFCpoint. – Режим доступа: [http://nfcpoint.ru/wiki/doku.php?id=nfc\\_chip\\_types](http://nfcpoint.ru/wiki/doku.php?id=nfc_chip_types) (дата обращения 20.10.2022).

4. Near Field Communication [Электронный ресурс] / Википедия. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Near\\_Field\\_Communication](https://ru.wikipedia.org/wiki/Near_Field_Communication) (дата обращения 15.10.2022).
5. Технологии позиционирования в реальном времени [Электронный ресурс] / rtlsnet.ru. – Режим доступа: <http://www.rtlsnet.ru/technology/view/4> (дата обращения 23.10.2022).
6. Bluetooth [Электронный ресурс] / Википедия. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Bluetooth> (дата обращения 25.10.2022).

УДК 004.056.53

## РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ К ИНФОРМАЦИОННЫМ РЕСУРСАМ ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ

Рыленков Д.А.<sup>1</sup>, Калашников С.Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Московский финансово-юридический университет*  
г. Москва, Россия, [davyd.rylenkov@yandex.ru](mailto:davyd.rylenkov@yandex.ru)

<sup>2</sup> *ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»*  
г. Новокузнецк, Россия, [s.n.kalashnikov@yandex.ru](mailto:s.n.kalashnikov@yandex.ru)

***Аннотация.** Проблемы защиты информации и управления информационной безопасностью на сегодняшний день являются актуальными, так как любая компания владеет рядом информационных активов, которые могут подвергаться угрозам различного типа. В данной статье рассматривается применение методологии моделирования бизнес-процессов IDEF0 при разработке политики управления доступом к информационным ресурсам предприятия.*

***Ключевые слова:** информационная безопасность, управление доступом, защита информации, информационные системы, бизнес-процесс.*

***Abstract.** The problems of information protection and information security management are relevant today, since any company owns a number of information assets that can be exposed to various types of threats. This article discusses the application of IDEF0 business process modeling methodology in the development of an access control policy to enterprise information resources.*

***Keywords:** information security, access control, information protection, information systems, business process.*

Одним из наиболее известных способов функционального моделирования является методология IDEF0 (англ. function modeling), являющаяся графической нотацией, предназначенной для формализации и описания бизнес-процессов. Методология получила свою популярность и широкое применение благодаря простому графическому исполнению и доступному восприятию [1]. В IDEF0 рассматриваются логические отношения между работами, а не их временная последовательность (поток работ) [2, 3]. Выполнено описание существующих бизнес и информационных процессов исследуемой компании (с использованием структурно-функциональной модели в нотации IDEF0 с использованием программного средства Ramus Educational). В работе на примере рассматривается предприятие строительной отрасли. На рисунке 1 показана обобщенная модель бизнес-процессов компании.

Далее на рисунке 2 показана декомпозиция блока «Деятельность строительной компании».

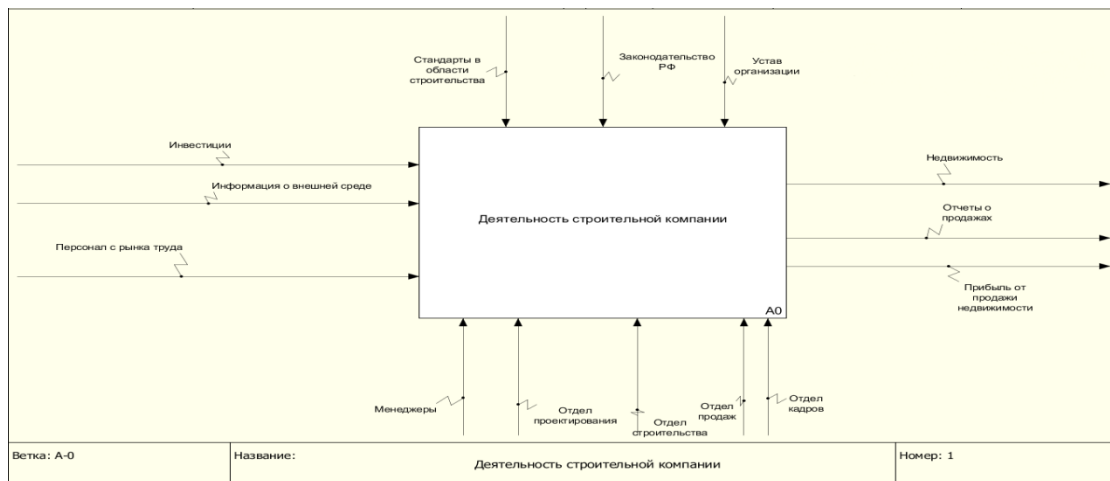


Рисунок 1 – Модель основных бизнес-процессов компании

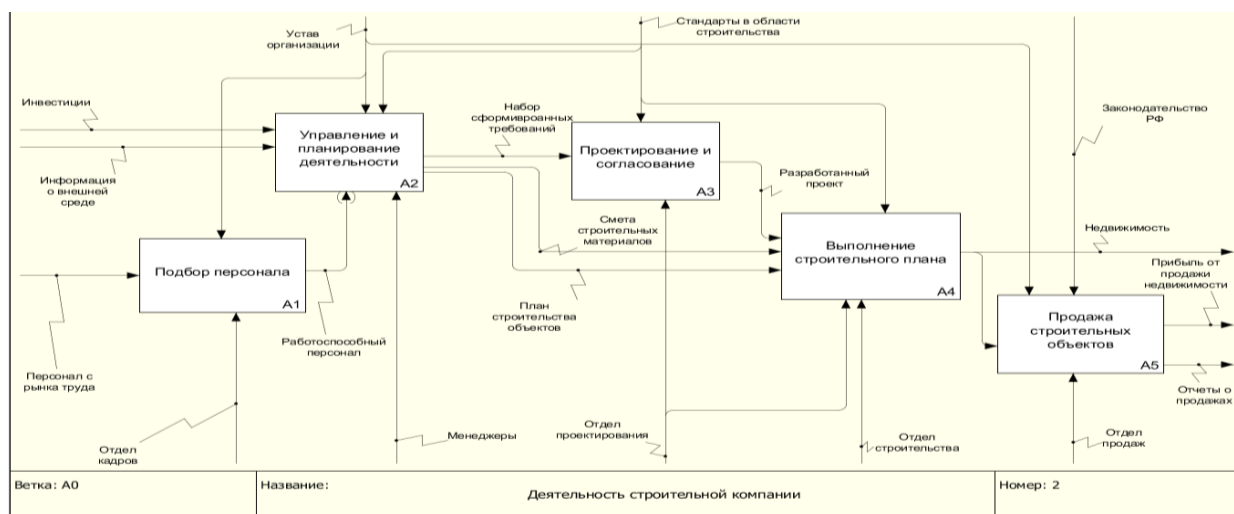


Рисунок 2 – Диаграмма бизнес-процессов строительной компании

В результате выполненной декомпозиции были выделены следующие ключевые блоки:

1. Подбор персонала;
2. Управление и планирование деятельности;
3. Проектирование и согласование;
4. Выполнение строительного плана;
5. Продажа строительных объектов.

Декомпозиция процесса управления и планирования деятельности показана на рисунке 3.

Декомпозиция процесса выполнения строительного плана показана на рисунке 4.

Далее для проектирования политики управления доступом необходимо идентифицировать владельцев информационных активов на основе построенных диаграмм.

Существует три основных модели управления доступом:

- дискреционная (DAC);
- мандатная (MAC);
- ролевая (RBAC) [4, 5].

На примере будет рассмотрена дискреционная модель управления доступом как наиболее распространенная при проектировании информационных систем.

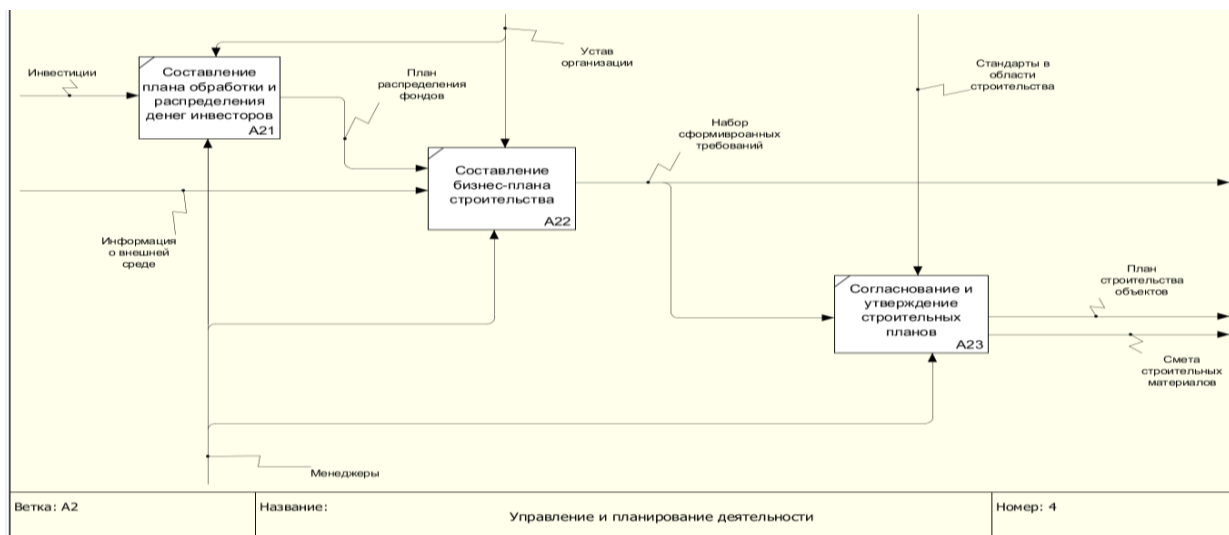


Рисунок 3 – Декомпозиция процесса «Управление и планирование деятельности»

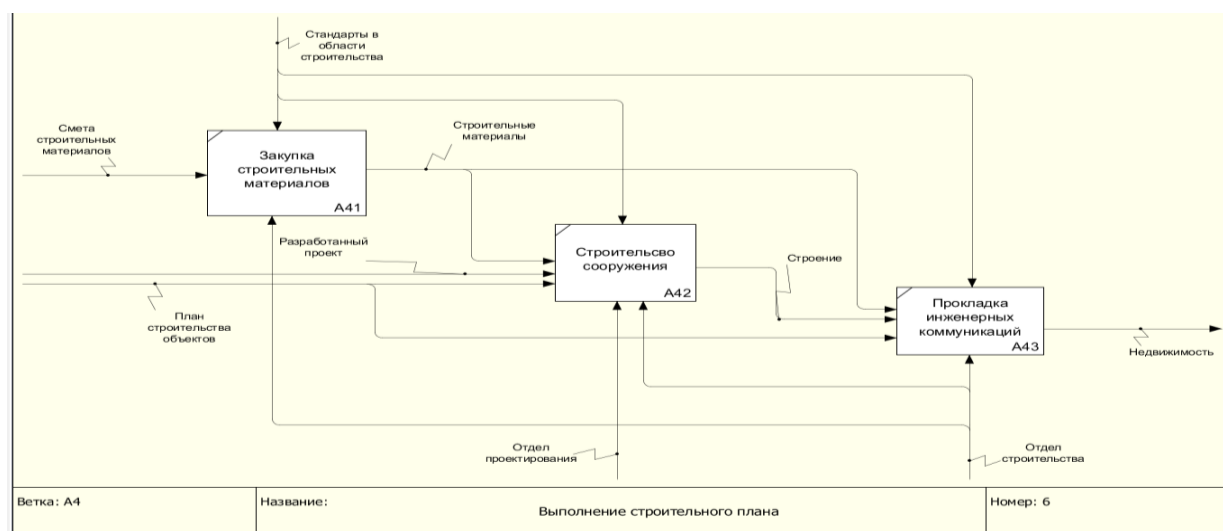


Рисунок 4 – Декомпозиция процесса «Выполнение строительного плана».

После построения структуры связи бизнес-процессов, выделен следующий набор информационных активов и их владельцев (таблица 1).

Таблица 1 – Сопоставление информационных активов и их владельцев

№	Информационный актив	Владелец
1	Смета строительных материалов	Менеджеры
2	План строительства объектов	Менеджеры
3	Разработанный проект	Отдел проектирования
4	Набор сформированных требований	Менеджеры
5	Отчет о продажах	Отдел продаж
6	Модели строений	Отдел проектирования

Дискреционная модель в работе представлена в следующем виде: в столбцах таблицы представлены субъекты доступа, в строках – информационные ресурсы. В ячейках на пересечении строк и столбцов указываются атрибуты доступа к информационным ресурсам: r-чтение, w-запись. Отсутствие значений определяет полный запрет доступа. На

основе полученных данных выполнено построение матрицы доступа к информационным ресурсам предприятия. Пример матрицы показан в таблице 2.

Таблица 2 – Матрица доступа в информационной системе предприятия

	O1	O2	O3	O4
S1	-	-	-	-
S2	-	rw	-	-
S3	-	-	r	w
S4	-	w	-	-
S5	-	-	rw	-
S6	-	-	-	r

Отображение изменений в структуре бизнес-процессов предприятия позволяет прямо корректировать политику доступа. Аналогично, рассматриваемый подход в разработке политики управления доступом к информационным ресурсам предприятия возможно использовать при применении мандатной и ролевой моделей.

### Библиографический список

1. Шаньгин, В.Ф. Информационная безопасность компьютерных систем и сетей: Учебное пособие / В.Ф. Шаньгин. - М.: Форум, 2018. - 256 с.
2. Левина, В. И. Информационная безопасность и угрозы информационной безопасности в коммерческих организациях / В. И. Левина // Вопросы образования и науки : сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции, Тамбов, 30 ноября 2017 года. – Тамбов: ООО «Консалтинговая компания Юком», 2017. – С. 53-54.
3. Магомедрасулов, К. О. Проблемы информационной безопасности: алгоритм построения системы информационной безопасности предприятия / К. О. Магомедрасулов, М. Р. Алискеров // Математическое и компьютерное моделирование : Сборник материалов IX Международной научной конференции, посвященной 85-летию профессора В.И. Потапова, Омск, 19 ноября 2021 года. – Омск: Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского, 2021. – С. 263-265.
4. Милославская, Н. Г. Технические, организационные и кадровые аспекты управления информационной безопасностью / Н. Г. Милославская, М. Ю. Сенаторов, А. И. Толстой. – 2-е издание, исправленное. – Москва : Научно-техническое издательство «Горячая линия-Телеком», 2017. – 214 с. – (Вопросы управления информационной безопасностью). – ISBN 978-5-9912-0364-7.
5. Рыленков, Д. А. Применение технологии VLAN для повышения уровня защищённости корпоративных сетей / Д. А. Рыленков // XXXIV Международные Плехановские чтения : Сборник статей студентов В четырех томах, Москва, 29–31 марта 2021 года. – Москва: Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, 2021. – С. 129-132.



## ПОДХОДЫ К УПРАВЛЕНИЮ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ОПЕРАТОРСКИХ КОМПАНИЙ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Васянин А.К., Калашников С.Н.

*ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»*

*г. Новокузнецк, Россия, ktiflex829@gmail.com*

**Аннотация.** В статье рассмотрена проблема снижения эффективности существующей системы управления распределением подвижного состава операторских компаний и предложен модернизированный механизм, основанный на применении единой информационной системы.

**Ключевые слова:** механизм управления, железнодорожный транспорт, операторские компании, единая информационная система.

**Abstract.** The article considers the problem of reducing the efficiency of the existing control system for the distribution of wagons of operator companies and proposes a modernized mechanism based on the use of a unified information system.

**Keywords:** management mechanism, railway transport, operator companies, unified information system.

Значение железнодорожных путей необщего пользования определяется большим объемом грузовой работы, общей протяженностью, сопоставимой с эксплуатационной длиной магистрального железнодорожного транспорта, наличием складской инфраструктуры, погрузочно-разгрузочной техники, маневровых и других средств, необходимых для организации начально-конечных операций.

Известно, что на путях необщего пользования (ПНП) зарождается и погашается свыше 80 % грузопотока, перевозимого магистральным транспортом. Однако существующая система управления эксплуатационной работой многих ПНП и их взаимодействия с ОАО «РЖД» и операторскими компаниями показывает свою неэффективность. В последнее время существенным образом увеличилось время нахождения вагонов на ПНП, участились случаи простоя поездов на подходах к предприятиям из-за невозможности их приема на пути необщего пользования, не исключаются случаи повреждения вагонов при выполнении грузовых операций [1].

В среднем каждые сутки в России на путях необщего пользования простаивают около 30-35 поездов в ожидании грузовых операций, на это влияют такие факторы, как:

- неравномерность прибытия и отправления поездов на грузовых станциях;
- путевое развитие станций, не соответствующее современным объемам перевозок;
- недостаточная оперативность поставок подвижного состава операторских компаний;
- затяжной технологический процесс переработки вагонопотоков на путях необщего пользования.

Совокупность вышеперечисленных факторов непосредственно сказывается на эффективности управления перевозочным процессом.

В современных условиях возрастающей конкуренции со стороны других видов транспорта одной из главных задач, стоящих перед транспортно-технологическими системами железных дорог, является обеспечение высокой экономической эффективности на всех этапах перевозочного процесса [2].

Эффективность перевозочного процесса может быть достигнута путем разработки и внедрения новых методов и механизмов управления, основанных на применении информационных технологий и алгоритмов интеллектуальной поддержки принятия решений.

В данной статье рассмотрена проблема управления поставками подвижного состава операторских компаний в условиях обслуживания путей необщего пользования. Опе-

ративность поставок подвижного состава под нужды грузовладельцев и промышленных предприятий напрямую зависит от времени подхода порожнего вагонопотока. Чтобы избежать дефицита вагонов собственники подвижного состава (ПС) вынуждены дополнительно накапливать свои вагоны на путях погрузки, что в свою очередь сокращает время эффективного использования ПС и приводит к потере прибыли операторскими компаниями.

Такая ситуация вынуждает собственников ПС наращивать вагонный парк, чтобы своевременно обеспечивать заказчиков ПС в необходимом объеме, в итоге дополнительные расходы операторских компаний негативно сказываются на стоимости перевозки для грузовладельцев и промышленных предприятий. В тех случаях, когда объем перевозок оказывается меньше запланированного или же резервный парк вагонов на путях погрузки не используется полностью, собственники ПС стремятся направить свободные вагоны на другие направления, тем самым увеличивая порожний пробег вагонов, снижая эффективность их использования и загружая общую сеть железных дорог.

Статистические данные ОАО РЖД за 2020 г., представленные на рисунке 1, также подтверждают необходимость совершенствования существующей системы управления оборотом грузовых вагонов [3].



Рисунок 1 – Внешние факторы, влияющие на оборот грузового вагона

На основе представленных данных можно сделать вывод, что основными проблемами, приводящими к снижению вагонооборота, являются непроизводительный простой порожних вагонов на путях необщего пользования по причинам, зависящим от операторов или грузовладельцев (23,4%), и встречное перемещение однотипного порожнего подвижного состава (10,1%), вследствие данных проблем время оборота одного грузового вагона составляет 17,29 суток.

В работе для решения проблемы ускорения оборота вагонов в рамках теоретических подходов к управлению организационными системами [4] предлагается разработка

механизма управления транспортно-логистическим процессом на основе использования единой информационной системы, способной обеспечить всех участников перевозочного процесса оперативными данными о состоянии транспортной сети (рисунок 2).

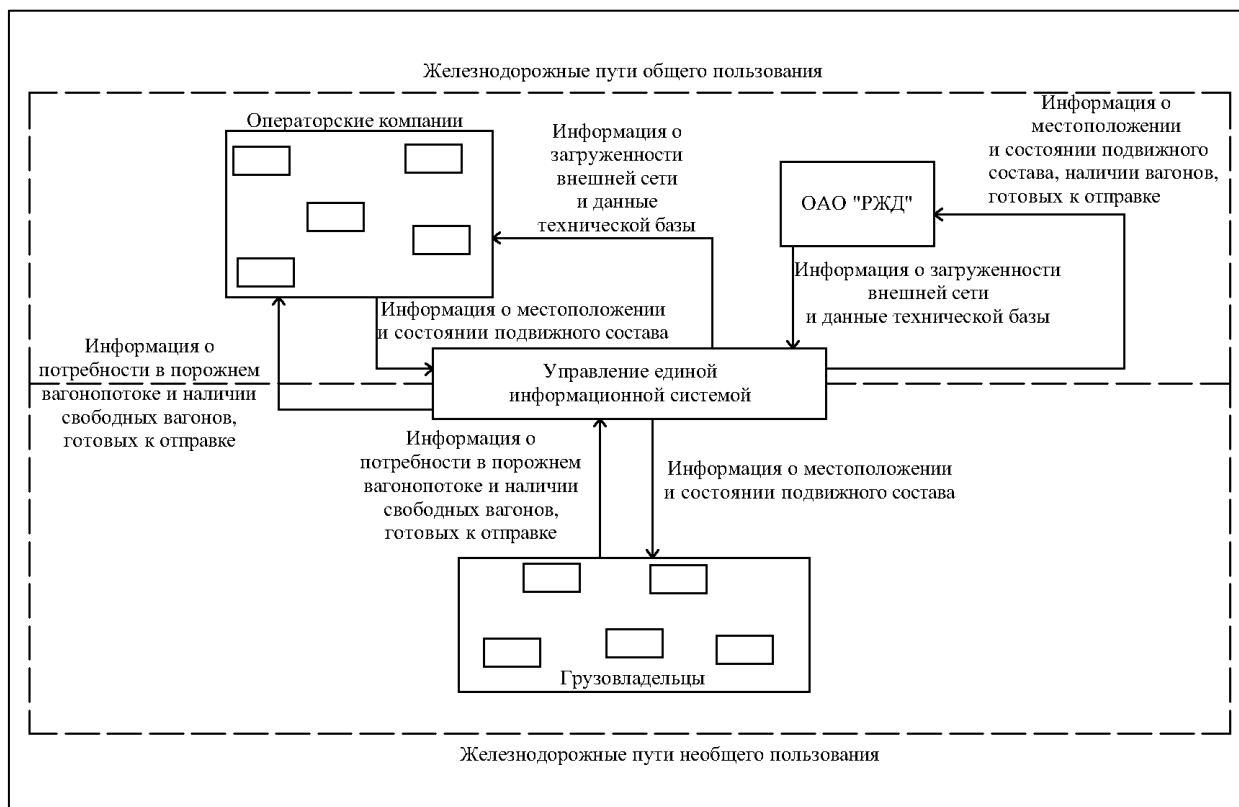


Рисунок 2 – Взаимодействие участников транспортного процесса на основе управления единой информационной системы

Разработка такого механизма управления грузовым железнодорожным транспортом подразумевает соблюдение интересов, как грузовладельцев, так и операторских компаний. Основной целью создания такой системы является оптимизация организационной структуры промышленного железнодорожного транспорта, посредством рационального распределения порожних вагонов по потребителям [5].

Предлагаемый механизм управления основан на минимизации порожнего пробега подвижного состава операторских компаний методом автоматического распределения порожних вагонов по потребителям на основе информации об их местонахождении.

Для обеспечения эффективного управления транспортным процессом предлагается разработка методов оперативного получения актуальных данных от всех его участников. Собственники подвижного состава должны предоставлять информацию о своем подвижном составе, количестве порожних вагонов каждого типа и их фактическом местоположении в конкретный период времени.

Грузовладельцы и промышленные предприятия должны своевременно предоставлять заявки на грузоперевозки с точным указанием объемов, а, в случае осуществления разгрузки, так же сообщать о порожних вагонах на путях необщего пользования, готовых к отправке на внешнюю сеть.

От ОАО «РЖД» потребуется предоставление собственной инфраструктуры для обслуживания и ремонта ПС операторских компаний по месту их нахождения, без необходимости доставки таких вагонов к ремонтным предприятиям собственников ПС. А так же информационно-вычислительная база, где будет происходить непосредственная работа системы управления.

Основной сложностью в создании системы управления подобного рода является отсутствие эффективных методов оперативного получения информации о подвижном составе операторских компаний. В настоящее время наиболее эффективным методом учета вагонов является номерной метод, однако он не позволяет достичь требуемой оперативности по сбору и передаче информации, и как следствие исключает возможность автоматизации существующей системы управления ПС.

В заключение необходимо отметить, что создание подобного рода автоматизированной системы управления требует высокой степени автоматизации и технической оснащенности железнодорожной сети, что может вызвать снижение экономической эффективности железнодорожных перевозок на первом этапе реализации. Однако предложенный механизм управления также способен существенно повысить качество работы грузового железнодорожного транспорта, сократить степень влияния человеческого фактора в процессе управления, разгрузить логистическую сеть и сократить нежелательный порожний пробег подвижного состава операторских компаний.

### Библиографический список

1. Васянин А. К. Повышение эффективности эксплуатации путей необщего пользования // сборник статей V Международной научно-практической конференции. 2021. С. 57-60.
2. Басыров И. М. Организация производства транспортной компании в условиях применения дифференцированных длин поездов: дисс....канд. техн. наук: 05.22.01. – Российский университет транспорта, Москва, 2019 – 202 с.
3. РЖД в цифрах [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://company.rzd.ru/ru/9377> (дата обращения: 15.09.2022).
4. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами [Текст] / Москва: Физматлит, 2007. – 584 с.
5. Жаркова А. А. Организация взаимодействия операторских компаний, ОАО РЖД и промышленных предприятий // Инфраструктурные отрасли экономики: проблемы и перспективы развития. 2019.

УДК 519.8

## ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЕМ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ В РЕГИОНАХ

Решитько М.А.

*Южный федеральный университет  
г. Ростов-на-Дону, Россия, reshitko@sfedu.ru*

**Аннотация.** В работе описывается информационно-аналитическая система, позволяющая контролировать потребление воды в регионе. Это особенно актуально для регионов России с низким показателем водообеспеченности. В основе системы лежит двухуровневая динамическая модель и алгоритм ее исследования. Система позволяет оценить экономические последствия мер по уменьшения потребления воды в выбранном регионе.

**Ключевые слова:** оптимальное управление, имитационное моделирование, распределение водных ресурсов.

**Abstract.** The paper describes an information and analytical system that allows one to control water consumption in the region. This is especially useful for Russian regions with low water availability. The system is based on a two-level dynamic model and algorithms for its study. The system allows evaluating the economic consequences of reducing water consumption in the selected region.

**Keywords:** optimal control, simulation modeling, water resource allocation.

Проблема нехватки чистой воды становится все более актуальной во всем мире [1;2]. Если говорить о России, то объем водных ресурсов в регионах оценивается по

удельной водообеспеченности [3]. Данный показатель оценивает количество доступной воды на человека в год. Для более чем десяти регионов России данный показатель оценивается как низкий и очень низкий. В основном это регионы южной и юго-западной части России. В этих регионах, из-за климатических условий воды испаряется больше, чем выпадает осадков, что приводит к зависимости региона от приходящей извне воды. Это приводит к зависимости водных ресурсов региона от соседних регионов и даже стран (поскольку основным источником воды в этом случае служат крупные реки), а также к затратам на водную инфраструктуру (водохранилища, каналы для переброски воды, водоочистные сооружения и т.д.). С учетом общемировой тенденции к уменьшению количества и ухудшению качества водных ресурсов, эколого-экономические показатели регионов с малой водообеспеченностью пострадают в первую очередь. В качестве меры по противодействию этому можно выделить сокращение потребления водных ресурсов в регионе. Это повысит автономность региона, улучшит экологическую обстановку, а также позволит сократить расходы на водную инфраструктуру.

Очевидно, что в условиях рыночной экономики сокращение потребления водных ресурсов основными потребителями (это, как правило, промышленность и сельское хозяйство) влечет за собой убытки для конкретного предприятия. Это связано с тем, что оптимизация потребления воды требует совершенствования, модернизации производственного процесса. Поэтому политика сокращения потребления водных ресурсов должна проводиться государством в лице администрации региона. Для этого администрация может принимать экономические, либо административные меры [4]. Последние предполагают введение жестких ограничений на деятельность предприятий (в данном случае - лимиты на использование воды). Первые же предполагают стимулирование предприятия к определенному поведению (например, к сокращению потребления воды через введение платы за единицу потребленной воды). Преимуществом административных мер является относительная простота их реализации, однако требуется контроль над исполнением введенных ограничений. В случае экономических мер требуется более точное моделирование ситуации, однако не требуется контроль предприятий, так как предприятия ставятся в положение, при котором выгодно следовать предложенной политике.

В работе предлагается система, позволяющая администрации региона (Центр) оценивать влияние экономических мер по регулированию потребления водных ресурсов на эколого-экономическую ситуацию в выбранном регионе. С помощью данной системы Центр может выработать стратегию влияния на предприятие (Агентов) таким образом, что будет достигнут баланс между экономическими и экологическими показателями.

#### **Описание системы**

Концептуально система состоит из трех основных частей - пользовательского интерфейса, комплекса моделей и хранилища данных. Пользовательский интерфейс дает возможность лицу, принимающему решение выбрать регион и доступные для него данные, выбрать модель и провести ее идентификацию, а затем провести необходимые расчеты. Комплекс моделей состоит из математических моделей, описывающих взаимодействие Центра и агентов, а также из методов их исследования. Хранилище данных аккумулирует в себе данные, необходимые для идентификации моделей.

Рассмотрим последние две части подробнее. Модели, содержащиеся в комплексе моделей, являются, как правило, обобщенными, то есть содержат свободные коэффициенты, описывающие конкретный регион. Чтобы модель отражала конкретный регион, интересующий исследователя, необходимо получить значения свободных коэффициентов путем идентификации модели. Для этого используются данные, собранные в хранилище данных. Недостатком обобщенных моделей является необходимость наличия таких данных в достаточном объеме. Это накладывает определенные ограничения, как на точность расчетов, так и на сложность применяемой модели. Поэтому целесообразно включать в комплекс моделей как модели, требующие большого объема данных, так и более простые, но применимые для большего числа регионов.

Примером может служить [5], где проблема управления потреблением воды в регионе рассматривается на примере Ростовской области. В [5] модель Центр-Агенты строилась исходя из доступных для региона данных. В данном случае брались данные Росстата [6] и данные из экологических публикаций региона [7]. При этом в качестве агентов рассматривались группы предприятий по видам экономической деятельности. Это связано с тем, что предприятий-потребителей воды в Ростовской области более 500 и их отдельное моделирование не представляется возможным, хотя бы из-за отсутствия данных по всем предприятиям. Данные же по видам экономической деятельности представлены в [6;7]. Это данные о ежегодном потреблении воды, об оценке производственных фондов предприятий и о валовом региональном продукте, производимом группой предприятий. Для большинства регионов подобные данные предоставляются Росстатом только для предприятий региона в целом, поэтому в случае этих регионов модель ограничивается одним агентом.

Таким образом, в зависимости от доступных для конкретного региона данных меняется число агентов, и с ростом их числа растет точность модели, но также растет и вычислительная сложность. Модель, представленная в [5] может служить первичной моделью для комплекса моделей, поскольку для ее идентификации используются данные из открытых источников [6;7], а саму модель можно адаптировать к доступным данным для конкретного региона.

$$Q_i^t = A_i(K_i^t)^{a_i}(W_i^t)^{b_i}. \quad (1)$$

А динамика системы имеет вид:

$$K_i^{t+1} = c_i K_i^t + d_i Q_i^t - h_i (W_i^t)^2 - F_i^t(W). \quad (2)$$

Агенты стремятся к максимизации своего производства:

$$\max_{W_i^t} (K_i^{t_1} + \sum_{t=t_0}^{t_1-1} Q_i^t). \quad (3)$$

А центр стремится как к увеличению производства, так и к сокращению потребления воды. Поскольку это частично противоположные цели, предпочтения центра задаются коэффициентом  $p$ ,  $0 \leq p \leq 1$ . Целевая функция центра выглядит следующим образом:

$$\max_{F^t(W)} (\sum_{i=0}^N \sum_{t=t_0}^{t_1-1} p Q_i^t - W_i^t + p W_i^t). \quad (4)$$

В данной модели  $A_i, a_i, b_i, c_i, d_i, h_i$  - являются положительными свободными коэффициентами, характеризующими агента, они определяются при идентификации модели. Задача агента (1–3) решается аналитически для фиксированного управления центра с помощью принципа максимума Понтрягина. Задача (4) решается методом качественно-репрезентативных сценариев [10] с учетом найденных ранее управлений агентов.

Задачей хранилища данных является аккумулирование в себе необходимой информации для работы с моделями. Она включает в себя исторические данные из различных источников, позволяющие проводить идентификацию модели. Также сохраняются результаты идентификации моделей, состоящие из значений свободных коэффициентов, а также результаты валидации идентифицированной модели. Под валидацией понимается тестирование предсказательной способности модели на части доступных данных, которая не использовалась при идентификации. Получаемая в этом случае информация помогает исследователю выбрать наиболее точную модель для данного набора данных.

Важной частью хранилища данных являются загрузки данных, задачей которых является автоматический сбор данных для хранилища из различных источников, включая Росстат, электронные и оцифрованные печатные издания. Следует отметить, что практи-

ческая реализация загрузчиков представляет известную сложность, ввиду различающихся форматов данных и методов их обработки. Однако своевременное и автоматизированное добавление новых данных положительно сказывается на качестве моделей и расчетов.

### **Заключение**

Предложенная информационно-аналитическая система позволяет учесть как экологические, так и экономические факторы при планировании развития региона. Встроенные в систему математические модели позволяют оценить экономические последствия сокращения потребления воды как из-за мер, вводимых администрацией региона в целях улучшения экологической ситуации, так и из-за удорожания водных ресурсов вследствие их дефицита. Сама система способствует развитию информатизации и автоматизации процесса управления регионами. Также следует отметить необходимость сбора всевозможных экологических и экономических показателей регионов и их публикации в открытом доступе, что позволит использовать более сложные и эффективные модели в системе.

### **Библиографический список**

1. Qinggai Wang, Shibe Li, Peng Jia, Changjun Qi, Feng Ding A Review of Surface Water Quality Models // *The Scientific World Journal*. 2013. Vol. 2013. 7 p.
2. Emmanuelle Augeraud-Véron, Raouf Boucekine, Vladimir M. Veliov Distributed optimal control models in environmental economics: a review // *Math. Model. Nat. Phenom.* 2019. Vol. 14. 14 p.
3. Измайлова А.В. Удельная водообеспеченность и озерный фонд регионов водного дефицита // *Водное хозяйство России*. No5. 2019.
4. Helmer, Richard, Hespanhol, Ivanildo World Health Organization Water pollution control: a guide to the use of water quality management principles. E FN Spon, 1997. 510 p.
5. Решитько М.А., Усов А.Б. Управление потреблением воды предприятиями ростовской области // *Экология. Экономика. Информатика*. Серия: системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. 2021. Vol. 1, No. 6. P. 57-62.
6. Регионы России. Социально-экономические показатели. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204> (дата обращения: 28.10.2022).
7. Экологический вестник Дона. URL: <https://минприродыро.рф/projects/19/> (дата обращения: 28.10.2022).
8. Kunyu Niu, Zhongshan Tian, Jie Xue Pollutant emission reduction effect through effluent tax, concentration-based effluent standard, or both // *Chinese Journal of Population Resources and Environment*. 2016.
9. Howitt R., Kristin B. W., Siwa M. Statewide water and agricultural production model, 2001. URL: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.184.3027&rep=rep1&type=pdf> (дата обр. 28.10.2022).
10. Ougolnitsky G.A., Usov A.B. Computer Simulations as a Solution Method for Differential Games. *Computer Simulations: Advances in Research and Applications*. Eds. M.D. Pfeffer and E. Bachmaier. N.Y.: Nova Science Publishers, 2018. P. 63-106.

## О ПРОБЛЕМАХ, ФАКТОРАХ УСПЕХА И РИСКАХ УПРАВЛЕНИЯ ПРОГРАММАМИ РАЗВИТИЯ

Каиркенов Х.К., Зимин А.В.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»

г. Новокузнецк, Россия, k.kairkenov@mail.ru

**Аннотация.** Сложившиеся внешние условия и текущее положение дел в РФ требуют повышенного внимания к формированию и реализации программ развития для многих сфер деятельности и, практически, для всех уровней управления. В рамках статьи описаны некоторые проблемы и риски, связанные с программами развития муниципальных служб, институтов образования, промышленных предприятий. Также затронуты вопросы и особенности реализации стратегий пространственного и социально-экономического развития Российской Федерации.

**Ключевые слова:** программа развития, целевая программа, муниципальная служба, развитие образования, стратегии развития.

**Abstract.** The situation with strategic planning at the federal level in Russia is rather uncertain. Within the framework of this work, the topics of municipal service development programs, education development, enterprise development strategies and plans for the implementation of the spatial development strategy of the Russian Federation, as well as state programs of socio-economic development of the Russian Federation will be touched upon.

**Keywords:** development programs, targeted programs, municipal services, education development, development strategies.

**Введение.** Ситуация со стратегическим планированием на федеральном уровне в России довольно неопределённая. Долгосрочная программа развития России (до 2010г.) была разработана Центром стратегических разработок ещё в 2000-м году, однако её так и не утвердили. Документ был одобрен правительством, что означает на чиновничьем языке не совсем обязательное руководство к действию. В настоящее время об этой программе практически не упоминают.

Тем более что с момента её обнародования успели появиться и новые стратегические задачи (удвоение ВВП, к примеру), о которых сегодня чиновники также уже предпочитают лишний раз не говорить ввиду их очевидной невыполнимости.

Что касается среднесрочного горизонта планирования, то здесь столь же вольно, как и с долгосрочной программой, обойтись нельзя. Есть Федеральный закон № 115-ФЗ от 20 июля 1995 г. «О государственном прогнозировании и программах социально-экономического развития Российской Федерации», который конституирует программу социально-экономического развития Российской Федерации на среднесрочную перспективу [1]. Именно такую программу Правительство РФ не могло утвердить в течение всего 2005 г. В результате Программа социально-экономического развития Российской Федерации на среднесрочную перспективу (2006-2008 гг.) появилась только в начале 2006 г.

Это то, что есть на федеральном уровне. Не менее важной является соответствующая региональная практика.

Так же в рамках данной работы будут затронуты темы о программах развития муниципальной службы, развитие образования, стратегии развития предприятий и планы реализации стратегии пространственного развития Российской Федерации.

**Целевые программы как средство реализации политики государства.** Программа представляет собой адресный документ, содержащий систему мероприятий (социально-экономических, производственных, финансовых, научно-исследовательских, организационно-хозяйственных и др.) согласованных по срокам, ресурсам и исполнителям. Реализация программы обеспечивает достижение поставленной цели и задач, наиболее эффективными путями и в установленные сроки.



Цель программы направлена на решение назревших определенных проблем путем соответствующего преобразования ресурсов. Комплекс разнообразных мероприятий программы является ее содержанием, и разворачивается по степени решения задач исполнителями и при определенном ресурсном обеспечении. Взаимосвязь задач и мероприятий в программе обусловлена не только единством цели, но и такими важными видами связей, как общность конечной продукции, технологии, сырьевых ресурсов, производственной базы, потребителей, территории, транспорта. Программы рисуют картину будущего состояния экономики и социального развития государства и его субъектов и путей, способов, средств достижения этого состояния.

Целевые программы являются одним из средств реализации политики государства, воздействия на производственные, экономические и социальные процессы в пределах полномочий органов власти федерального, регионального и местного уровней. Целевые программы являются инструментом регулирования и управления стратегией экономического, социального и научно-технического развития, формой хозяйственной деятельности, способом концентрации ресурсов для решения неотложных, первоочередных проблем [4, с. 108].

На основании Постановления Правительства Российской Федерации от 26.06.95 г. № 594 «О порядке разработки и реализации федеральных целевых программ и межгосударственных целевых программ, в осуществлении которых участвует Российская Федерация», под федеральными межгосударственными целевыми программами понимается увязанный по ресурсам, исполнителям и срокам осуществления комплекс научно-исследовательских, опытно-конструкторских, производственных, социально-экономических, организационно-хозяйственных и других мероприятий, обеспечивающих эффективное решение задач в области государственного, экономического, экологического, социального и культурного развития Российской Федерации [2]. Данный нормативно-правовой документ впервые четко обозначил этапы в работе с целевыми программами, порядок их разработки и реализации.

В соответствии с законом Российской Федерации «О государственном прогнозировании и программах социально-экономического развития Российской Федерации» перечень федеральных программ содержит [1]:

- краткую характеристику каждой из принятых к реализации федеральных программ, включая указание целей, основных этапов и сроков выполнения;
- результаты выполнения основных этапов для переходящих федеральных целевых программ;
- требуемые объемы финансирования по годам с указанием источников финансирования;
- объемы финансирования федеральных целевых программ за счет средств федерального бюджета в предстоящем году;
- государственных заказчиков программ.

**Классификация целевых комплексных программ.** Программы очень разнообразны по своему характеру, назначению, объему, времени и другим характеристикам. Исследователи А.Г. Гладышев, В. Иванов, В.И. Патрушев и др. Различают общегосударственные, функциональные, региональные и муниципальные программы [5, с. 74].

Национальные программы – это программы по достижению основных национальных целей, которые часто охватывают все сферы общественной жизни (производственные, непроизводственные, финансовые, налоговые, социальные, духовные, международные).

Функциональные программы – это межотраслевые программы, ориентированные на решение основных задач развития группы отраслей или реализацию общегосударственной задачи усилиями ряда отраслей (развитие, например, топливно-энергетической базы, атомной энергетики), оборонный или строительный комплекс и др.).



Рисунок 1 – Классификация целевых программ

Региональные и муниципальные программы разработаны для преобразования и оживления регионов и муниципалитетов.

По государственному статусу программы подразделяются на федеральные, реализуемые только за счет средств Российской Федерации (ФЦП); межгосударственные, которые реализуются совместно с другими государствами, в том числе странами СНГ.

Программы функциональной ориентации А.И. Жуковский и др. определены как социальные программы, предусматривающие меры социальной поддержки населения; экологическая, направленная на реализацию основных природоохранных мероприятий; инновационный, обеспечивающий внедрение и распространение научно-технических достижений в производство и проведение научно-технической реструктуризации производства; научно-технические, связанные с освоением новых перспективных направлений науки и техники; фундаментальный, направленный на получение фундаментальных основ науки[4].

По своему характеру программы подразделяются на консолидированные, социально-экономические, научно-технические, инновационные, экологические, территориальные, внешнеэкономические и оборонные программы.

По сроку действия различают краткосрочные программы (длительностью до 2 лет); среднесрочный (от 3 до 5 лет); на длительный срок (более 5 лет).

В территориальном масштабе есть муниципальные, региональные, федеральные и международные программы.

Деловые и структурные программы разрабатываются в зависимости от характера целей. Конъюнктурные программы решают текущие проблемы в короткие сроки, продолжительностью до двух лет. А программы структурного характера предполагают решение среднесрочных и долгосрочных проблем, качественные преобразования и глобальные изменения в основных структурах любой отрасли.

Целевая комплексная программа может включать в себя несколько подпрограмм разного типа, направленных на решение конкретных задач внутри программы. Деление целевой программы на подпрограммы основано на масштабе и сложности решаемых задач, а также на необходимости рациональной организации их решения.

**Виды целевых программ.** Программы постепенного отказа от иностранной продукции в России запустили более 7 лет назад. Но весной 2022 года, когда часть зарубежных производителей отказалась поставлять товары на отечественный рынок, власти не только актуализировали планы, но и начали обсуждать различные меры поддержки тех компаний, кто захочет занять освободившиеся ниши. Среди вариантов материальной по-

мощи бизнесу – субсидии на импортозамещение производству, гранты, компенсация расходов, льготные займы.

Понятие импортозамещения включает в себя два аспекта. Первый – замена ввозимой продукции отечественными аналогами. Второй – рост производства российской продукции до объемов, позволяющих экспортировать товары. Из-за ухода иностранных брендов с российского рынка власти сейчас акцентируют внимание на первом аспекте и продумывают, какую оказывать поддержку импортозамещения государству в 2022 году, в каком виде, каким образом, кому. Работа непростая, учитывая, что каждая отрасль нуждается в собственных мерах.

Если говорить конкретно о видах материальной помощи, то предпринимателям, работающим в областях, нуждающихся в импортозамещающих товарах, предлагают (на федеральном уровне):

- гарантии на реализацию инвестпроектов, на обеспечение кредитов и финансирование;
- субсидии на уплату процентов по кредитам, на возмещение части затрат на выпуск и реализацию товаров;
- специальные гранты на производство импортозамещения и реализацию произведенных товаров;
- софинансирование исследований и разработок.

Что касается нефинансовых мер, то тут традиционно консультирование, оказание юридических и бухгалтерских услуг, онлайн-обучение сотрудников и т. п.

**Кто сможет рассчитывать на помощь от государства.** Условия для предпринимателей разные, зависят от программы. Возьмем, к примеру, программу «доращивания» технологических компаний под нужды крупных отечественных корпораций, которую реализует Автономная некоммерческая организация «Центр поддержки инжиниринга и инноваций». Программа предусматривает целевые гранты по импортозамещению в России в 2022 г. в размере от 25 до 250 млн рублей. Заявки принимают до 15 августа. К заявителям предъявляют следующие условия:

- принадлежность к российским компаниям;
- определенная сфера деятельности (соответствие приоритетным технологиям);
- отсутствие задолженностей по обязательным платежам;
- наличие заказчика, заинтересованного в продукте;
- успешный опыт внедрения технологических продуктов;
- годовая выручка – не более 10 000 млн рублей, а за прошлый год – в 4 раза больше запрашиваемой суммы гранта.

Помимо этого, обязательно оценивают возможную выгоду: выручка от реализации новой продукции должна увеличиться не менее чем в 5 раз.

Другой пример – программа от Фонда развития промышленности «Цифровизация промышленности». Фонд предлагает заем в размере от 20 до 500 млн рублей под 1 или 5 процентов, в зависимости от ситуации, на срок до 5 лет. Деньги дают на внедрение цифровых и технологических решений, оптимизирующих производственные процессы на предприятии. Особенных требований к участникам нет, только общие правила – являться российским ИП или юрлицом, не находиться в процессе ликвидации, не иметь иностранных участников. Но чтобы получить льготный заем, надо вложить в проект не менее 20% собственных средств.

Отметим, что в отдельных случаях меры поддержки рассчитаны исключительно на малый и средний бизнес, поэтому при рассмотрении заявок учитывают, соответствует ли заявитель требованиям к субъектам МСП.

**Проблемы, факторы успеха и риски управления программами развития.** Программа развития социально-экономического развития региона играет огромную роль в достижении целей региональной политики. Он способствует укреплению экономических

связей, территориальной целостности и развитию региональных рынков. Институциональная и рыночная инфраструктуры обеспечивают занятость населения, повышают уровень жизни людей.

Но несмотря на все преимущества, более чем 30-летний опыт разработки и реализации региональных программ в России позволяет выявить ряд проблем, снижающих эффективность их использования:

1. разграничение полномочий между разными уровнями власти требует оптимизации, организация эффективного исполнения полномочий не всегда обеспечивается. Процесс осуществляется недостаточно быстро и последовательно; процесс происходит медленно и не всегда последовательно;
2. мало эффективной является координация деятельности территориальных органов федерального правительства, министерств и ведомств субъектов Российской Федерации в рамках комплексного социально-экономического развития регионов. Создание благоприятных инвестиционных условий для региона;
3. неэффективность перераспределительной модели регионального финансирования;
4. как следствие, разрыв в деятельности управления региональным развитием возникает тогда, когда нет канала для передачи стратегических решений федерального уровня конкретным действиям на уровне городов и районов;
5. отсутствие четкой системы разграничения деятельности в рамках внебюджетных фондов;
6. финансовая политика государства, в первую очередь выравнивание уровня бюджетной обеспеченности субъектов Российской Федерации, является неэффективной;
7. нет единой методологической базы для выделения регионов «доноров» и «реципиентов», а также эффективных механизмов увеличения бюджетной обеспеченности;
8. неэффективность долгосрочной стратегии регионального развития;
9. при распределенном принципе построения программы он основывается исключительно на внутренних источниках финансовых ресурсов, неувязка программ развития бюджетообразующих предприятий и их инвестиционных проектов;
10. недостаточный системный подход и адекватная современным требованиям стратегия развития региона;
11. нехватка теоретической и методологической проработки. Наилучший накопленный опыт по разработке и реализации целевых программ в России относится либо к планово-директивной экономике, либо к развитой рыночной экономике зарубежных стран;
12. по мнению экспертов, отсутствие эффективных правовых и финансовых механизмов государственно-частного партнерства (ГЧП) является важной частью успешного выполнения значительной части целевых программ;
13. не учитывается при разработке и реализации программы социального развития процесс глобального роста мировой экономики, необходимость интеграции в нее регионов России;
14. отсутствие четкого механизма контроля за ходом выполнения программы и результатами ее реализации;
15. в рамках программы социально-экономического развития на федеральном, региональном и местном уровнях наблюдается рассогласование;
16. главной проблемой регионов является нехватка квалифицированных работников. Ни один проект стратегического развития не затрагивает данную проблему;
17. а также непрозрачность информационных механизмов реализации и разработки программ.

**Заключение.** При решении этих проблем необходимо комплексно и последовательно модернизировать уже существующую систему управления региональным развитием, вносить корректировки по мере необходимости.

## Библиографический список

1. Федеральный закон от 20.07.1995 № 115-ФЗ «О государственном прогнозировании и программах социально-экономического развития Российской Федерации» // Собрание законодательства РФ. - 24.07.1995. - № 30. - ст. 2871. Официальный интернет-портал правовой информации - <http://pravo.gov.ru/> - 2022. - 22 август.
2. Постановления Правительства Российской Федерации от 26.06.95 г. № 594
3. Указ Президента РФ от 18.08.1994 г. № 1696 «О президентской программе «Дети России» (с изменениями и дополнениями) // Собрание законодательства РФ. - 22.08.1994. - № 17. - ст. 1955. Официальный интернет-портал правовой информации - <http://pravo.gov.ru/> - 2022. - 22 август.
4. Жуковский А.И., Васильев С.В., Штрейс Д.С. Разработка, реализация и оценка региональных целевых программ (на основе Канадского опыта) / Под. ред. С.Ю. Фабричного. - М., 2006. – 175 с.\
5. Основы социального управления: Учебное пособие / А.Г. Гладышев, В.Н. Иванов, В.И. Патрушев и др. Под ред. В.Н. Иванова. – М.: Высшая школа, 2001.– 271 с.
6. Указ Президента Российской Федерации от 13.09.2004 г. № 1168 «О Министерстве регионального развития Российской Федерации» // Собрание законодательства РФ. - 20.09.2004. - № 38. - ст. 3775. Официальный интернет-портал правовой информации - <http://pravo.gov.ru/> - 2022. - 22 август.

УДК 311.13 (075.8)

## АНАЛИЗ НЕДОСТАТКОВ В СУЩЕСТВУЮЩИХ СИСТЕМАХ РЕГУЛИРОВАНИЯ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

Курмаз Д.А., Киселёва Т.В.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»

г. Новокузнецк, Россия, [kurmaz-diman@mail.ru](mailto:kurmaz-diman@mail.ru); [kis@siu.sibsiu.ru](mailto:kis@siu.sibsiu.ru)

***Аннотация.** В докладе выявлены и проанализированы существующие проблемы в действующих системах регулирования дорожного движения; рассмотрены используемые средства и алгоритмы, указаны их достоинства и недостатки. Показано, какие недостатки выявлены, в частности, при управлении движением на перекрестках при наличии трамвайных путей. Это необходимо для совершенствования систем регулирования с целью сокращения пробок на дорогах и ДТП.*

***Ключевые слова:** алгоритм, регулирование дорожного движения, ДТП, светофоры, пробки, перекрестки.*

***Abstract.** the report identified and analyzed the existing problems in the existing traffic control systems; the tools and algorithms used are considered, their advantages and disadvantages are indicated. It is shown what shortcomings were identified, in particular, in the management of traffic at intersections in the presence of tram tracks. This is necessary to improve regulatory systems in order to reduce traffic congestion and accidents.*

***Keywords:** algorithm, traffic regulation, traffic accidents, traffic lights, traffic jams, intersections.*

В современном городе с большой инфраструктурой, большим количеством автомобильного и пассажирского транспорта всё чаще встречается проблема возникновения больших пробок на дорогах. Одной из причин чаще всего является работа регулирующих систем, они настроены нелогично, время проезда сильно ограничено, из-за этого повышается риск возникновения ДТП, так как каждый водитель транспортного средства старается как можно скорее преодолеть перекрёсток. В частности, в городе Новокузнецке на количество ДТП также влияет наличие трамвайного транспорта, который производит посадку и высадку пассажиров порой на проезжей части. Данный факт можно отнести к одной большой проблеме безопасности дорожного движения, которая является многоплановой и чрезвычайно сложной. Многообразие причин и условий совершения ДТП требует разработки и проведения целого комплекса мероприятий по совершенствованию си-

стем управления дорожным движением, улучшению дорожных условий, технического состояния транспортных средств и т.д. Иногда следовало бы скорректировать работу светофоров для более успешной организации движения.

В литературе бытует обоснованное мнение, что неблагоприятное влияние дорожных условий является причиной 70% аварий. В развитых странах в условиях роста численности автопарка в результате эффективных мер по улучшению состояния улично-дорожной сети и организации движения удается минимизировать как относительный показатель аварийности на 100 млн км пробега, так и абсолютное количество ДТП. Таким образом, регулирование дорожного движения становится одним из обязательных компонентов любого дорожного процесса.

Рассмотрим существующие системы и способы регулирования дорожного движения.

Остановимся вначале на автоматизированной системе регулирования движения (система «ГОРОД»). Система «Город» - одна из наиболее часто используемых на практике средств регулирования движения автотранспорта на перекрестке. Регулировка происходит посредством сигналов светофоров, переключающихся при помощи реле и таймера с фиксированной или корректируемой установкой времени переключения сигналов светофора [1].

К достоинствам данной системы регулирования можно отнести наличие светофоров, а также возможность корректировки времени их работы.

Недостатком такого способов является установка фиксированного времени переключения, что не позволяет в динамике (в темпе с обстановкой трафика) отслеживать складывающуюся ситуацию движения и своевременно реагировать на эту ситуацию, используя длительность времени переключения сигналов светофора и ограниченность визуального восприятия сигналов светофора. Это приводит к неоправданным задержкам движения и возникновению пробок на пути движения автотранспорта.

Другая система регулирования дорожного движения (АСКРДД) «ElecTraCop» [2] представляет собой многоуровневую систему регулирования дорожного движения с обратной связью, способную выполнять без непосредственного участия человека в автоматическом режиме основные функции по регулированию дорожного движения, построенную по иерархическому принципу за счет выделения объектов управления типа «ПЕРЕКРЕСТОК», «КВАРТАЛ», «РАЙОН», «ГОРОД», «ОБЛАСТЬ». Такие системы используют более сложный график для регулирования потоков транспорта на перекрестках. В частности, в системе «ElecTraCop» учитывается длина участка дороги, занятой автомобилями перед перекрестком, однако при этом при скоплении машин перед перекрестком не учитывается расстояние между машинами на этом участке, т.е. число машин на данном участке дороги, и тем самым не учитывается время задержки движения на перекрестке последующей машины после начала движения предыдущей, т.е. реальное время чистого (транспортного) запаздывания, что не позволяет точно оценивать требуемое время переключения сигналов светофора и снижает эффективность дорожного регулирования, а также способствует созданию пробок на пути движения автотранспорта.

К достоинству данной системы можно отнести учёт большего числа факторов для регулирования времени работы светофоров. Недостатком такой системы является отсутствие учёта расстояния между машинами на перекрёстке.

Другие рассмотренные системы либо мало чем отличаются от рассмотренных выше, либо информация по ним не имеется в открытых источниках.

Перейдём к рассмотрению тех функций, которые должны быть внедрены в системы регулирования дорожного движения города Новокузнецка для их совершенствования. Такая система должна учитывать:

1. длину участка дороги, занятой автомобилями от ограничивающей линии перекрестка до конечной границы участка дороги, занятой автомобилями на данном участке дороги, причем время переключения сигналов светофора с зеленого света на красный

должно устанавливаться с учетом определения среднего расстояния между машинами перед перекрестком, т.е. числа машин на данном участке дороги, и с учетом времени задержки на перекрестке движения последующей автомашины после начала движения предыдущей машины. При этом время переключения сигналов светофора с зеленого света на красный должно определяться одновременно для встречных полос движения на перекрестке из сложного математического выражения, учитывающего базовое время установки переключения сигналов светофора для обычного режима движения (без скопления автомашин перед светофором);

2. длину участка дороги, занятого автомашинами;
3. среднюю скорость движения машин на перекрестке;
4. число автомашин перед светофором;
5. среднее время задержки начала движения последующей машины после начала движения предыдущей;
6. сравнение времени переключения сигналов светофора для противоположных сторон движения автомашин и установки на светофоре наибольшего из этих сравниваемых значений;
7. наличие или отсутствие трамвая в непосредственной близости перед перекрестком или нахождение его на перекрестке [3].

При этом в случае скопления автомобилей перед перекрестком время переключения должно увеличиваться на реальное время чистого запаздывания.

Необходимо унифицировать и привести в единую структуру все объекты регулирования дорожного движения в городской среде, для этого:

1. дорожные светофоры, установленные на одном светофорном объекте, должны работать согласно утвержденному проекту режиму работы. Светофорный объект, входящий в систему координированного регулирования движения («зеленая волна»), должен иметь возможность работать в индивидуальном автоматическом режиме, независимо от работы других светофорных объектов. Самые загруженные направления в координации движения должны являться приоритетными по сравнению с менее загруженными. Длина светофорного цикла для координации движения должна работать таким образом, чтобы соответственно разместить многие фазы левоповоротного движения и длительность желтого, красного, и время, требуемое для перехода пешеходов;
2. на маршрутах координированного движения должны быть внедрены жесткие суточные программы работы светофорных объектов. Суточные программы рассчитаны с учетом колебаний интенсивности движения автотранспорта на протяжении суток (определены и учтены «пики» и «межпиковые» периоды);
3. в соответствии с интенсивностью движения на различных участках в разное время суток должны вводиться следующие режимы регулирования: жесткое (светофор циклически повторяет постоянно заданное количество времени зеленого сигнала), полугибкое (светофор высвечивает зеленый сигнал пока обнаружено транспортное средство или если пешеход нажал на кнопку, детекторы транспорта установлены не на главной улице) и полностью гибкое регулирование (детекторы транспорта установлены на всех подходах к пересечению);
4. по возможности светофоры должны реагировать на проезд трамвая на перекрестке, для безопасной посадки/высадки пассажиров без риска возникновения ДТП. Для этого возможно возникнет необходимость в пересмотре очередности проезда перекрестка разными потоками транспорта;
5. возможен пересмотр очередности проезда перекрестка, а также смены схемы движения.

Светофоры определяют очередность проезда для различных направлений движения за разные временные интервалы в зависимости от уровней интенсивности движения. Они обеспечивают безопасность пешеходов при переходе через проезжую часть и вне пе-

рекрестков, возле школ, торговых центров, кинотеатров, библиотек и других мест массового посещения [4]. Поэтому очень важно правильно и корректно настроить работу максимального числа светофоров в городе. Считаем, что совершенствование существующей автоматизированной системы управления дорожным движением сделает пробки в городе Новокузнецк редким явлением, а также позволит снизить количество ДТП, а происшествий с участием пешеходов минимизировать до нуля.

### Библиографический список

1. Печерский М.П. Автоматизированные системы управления дорожным движением в городах / М.П. Печерский, Б.Г. Хорович. – М.: Транспорт, 1979.– 176 с.
2. Лукьянов В.В. Руководство по регулированию дорожного движения в городах / В.В. Лукьянов. – Москва, 1974. – 28 с.
3. Кременец Ю.А. Технические средства организации дорожного движения / Ю.А. Кременец. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. – 45 с.
4. Артыков А.П. Автоматизация управления уличным пассажирским транспортом в больших городах за рубежом/ А.П. Артыков. – М.: ГОСИНГИ, 1975. - 39 с.

УДК 519.876.2

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ ПО РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ УЧРЕЖДЕНИЙ

Кравцов М.С., Усов А.Б.

*Южный Федеральный Университет*

*г. Ростов-на-Дону, Россия, kravcov@sfedu.ru; tol151968@yandex.ru*

**Аннотация.** Актуальность исследования обоснована все возрастающим уровнем автоматизации в производстве, что побуждает компании прибегать к имитационному моделированию. В исследовании применена производственная функция Кобба-Дугласа при моделировании деятельности ИТ-предприятия «Электронная медицина», описана двухуровневая иерархическая модель, произведены численные расчеты модели, построено равновесие Штакельберга и сделаны соответствующие выводы и рекомендации.

**Ключевые слова:** имитационное моделирование, равновесие Штакельберга, производственная функция Кобба-Дугласа, иерархическое моделирование.

**Abstract.** The relevance of the study is justified by the ever-increasing level of automation in production, which encourages companies to resort to simulation modeling. In the study, the Cobb-Douglas production function was applied in modeling the activities of the IT enterprise «Electronic Medicine», a two-level hierarchical model was described, numerical calculations of the model were made, the Stackelberg equilibrium was constructed, and appropriate conclusions and recommendations were made.

**Keywords:** simulation modeling, Stackelberg equilibrium, Cobb-Douglas production function, hierarchical modeling.

### Введение

На сегодняшний день сфера информационных технологий является бурно развивающейся. Устойчивое развитие фирмы зависит от правильно составленной бизнес-модели что невозможно без использования систем автоматизации и информатизации деятельности фирмы. Разработка систем автоматизации подразумевает построение и исследование математических моделей систем управления деятельностью фирмы. Основным, с экономической точки зрения, в деятельности любой фирмы является получение прибыли. Важным фактором, влияющим на размер получаемой прибыли является оптимальная организация внутреннего техпроцесса [1], заключающаяся в выстраивании иерархии внутри компании: создании команд, перераспределении задач, вознаграждении команд и сотрудников. При должном подходе в организации техпроцесса можно добиться повышения производительности труда сотрудников, ускорения разработки, а в следствие, улучшения



качества итогового продукта. При этом важным моментом является определение структуры системы управления деятельностью фирмы [2], т.е. совокупности связей между элементами системы, отражающих их взаимодействие. Таким образом, прежде, чем перейти к описанию математической модели предприятия, необходимо выделить основные элементы, между которыми будут построены связи и которые будут спроецированы на математическую модель.

В рамках данной работы рассматривается предприятие «Электронная медицина», занимающееся разработкой программного обеспечения (ПО), предназначенного для медицинских организаций (МО).

### **1. Бизнес-модель предприятия «Электронная медицина»**

Любое предприятие представляет собой иерархически ориентированную структуру с композицией как вертикального, так и горизонтального построения иерархии. Основой и верхним уровнем этой иерархии является его менеджмент. Менеджмент принимает ключевые решения, касающиеся как управления внутри предприятия, так и организации его внешних связей. Под управлением внутри предприятия понимается организация сотрудников предприятия, организация их взаимодействия между собой, распределение обязанностей, выплата им заработной платы и других вознаграждений. Под внешними связями понимается взаимодействие с текущими и потенциальными пользователями продукта.

На предприятии «Электронная медицина» звено менеджмента состоит из его Директора. Основная задача руководящего звена – получить наибольшую прибыль от продажи продукта клиентам. Под клиентами предприятия стоит понимать МО, покупающие ПО и использующие его в процессе своей работы. ПО продается каждому МО\_согласно его предпочтениям, с возможностью изменить функционал под требования каждой конкретной МО. Контракт на поставку и поддержку ПО заключается сроком на один год с возможностью дальнейшей пролонгации. Данная схема выгодна и продавцу, и покупателю в связи с тем, что продавец может скорректировать в дальнейшем цену, в зависимости от своих экономических потребностей и соответствии выставленной им цены рынку, а покупатель в свою очередь имеет возможность отказаться от предоставляемого продукта в пользу другого.

Предприятием разрабатывается два продукта – десктопная версия и веб-версия. Разработка десктоп-версии начата гораздо раньше веба и обусловлена популярностью десктопных приложений на момент разработки и неразвитости веб-приложений. Однако с течением времени и с ростом популярности веб-приложений руководство пришло к выводу о разработке веб-приложения, повторяющего и дополняющего функциональность десктопа. Каждое приложение разделено на модули в соответствии с медицинской специализацией. В качестве примера модуля можно привести модуль «информационная система Лаборатория», устанавливающийся и использующийся в целях сбора, документации, систематизации, доступа к информации о проведенных или предстоящих лабораторных исследованиях в рамках данной МО. Модули можно подключать и отключать, от этого зависит конечная стоимость предоставляемого ПО. Ниже в таблице представлен охват клиентов по России:

Следующим уровнем иерархии системы идут отделы. Каждый отдел состоит из руководителя и сотрудников и выполняет определенный ограниченный набор функций. Все отделы вместе выполняют весь функционал, необходимый для поддержки и устойчивого развития предприятия.

Таблица 1 – Клиенты ООО «Электронная медицина» по состоянию на 2021 год

<i>Регион</i>	Количество
Ростовская обл.	226
Ставропольский край	112
Волгоградская обл.	3
Саратовская обл.	2
Астраханская обл.	1
Байконур	1
Краснодарский край	1
Московская обл.	1
Мурманская обл.	1
Всего	348

### **1.1 Отдел маркетинга**

Продвижением и предложением продукта клиентам занимается отдел маркетинга. Его цель заключается во взаимодействии с потенциальными покупателями и с отделом разработки и сопровождения. В первом случае отделу маркетинга необходимо знать и предлагать продукт с целью его выгодной продажи. Во втором случае взаимодействие обуславливается передачей, выявлении, обновлении и корректировки информации о текущей и будущей функциональности продукта.

### **1.2. Отделы сопровождения**

Отделы сопровождения играют связующую роль между отделом маркетинга и отделами разработки, а также между клиентами и отделами разработки. Вся информация в дальнейшем передается в отделы разработки. В свою очередь отделы разработки, получив и обработав информацию, передают ее обратно в отделы сопровождения для дальнейшего анализа.

Отделы сопровождения сгруппированы по виду ПО(десктоп, веб), модулю (лаборатория, лпу, стационар и т.д.), группе МО. Во главе отдела стоит один наиболее опытный сотрудник, задача которого составлять и распределять задачи между сотрудниками, а также вести контроль за их выполнением. Каждому сотруднику отдела прикрепляется определенная группа МО, а также модули, за которые они несут ответственность. Сотрудникам необходимо поддерживать телефонную связь с каждой из прикрепленных МО, уметь разбираться в базах данных (БД), иметь четкое представление об их работе, в короткие сроки вносить поправки или извлекать из них информацию, устранять критические ошибки инфраструктуры ПО(например, удаленный рестарт завершившегося с ошибкой сервиса), а также поддерживать связь с ответственным отделом разработки.

Основная цель отдела сопровождения состоит в скорейшем выявлении или выполнении возникших задач, а также оптимальном распределении их между отделами разработки.

### **1.3. Отделы разработки**

Наиболее важным для компании является скорость и качество разрабатываемого ПО. В связи с этим необходимо грамотно организовать работу отделов разработки. Глав-

ным принципом является продуманная организация структуры: разбивка на команды, разделение обязанностей команд, взаимодействие команд между собой.

Отдел разработки ответственен за развитие одного из проектов (десктоп или веб) и один модуль. Внутри отдела может существовать несколько команд. Команды разделены строго по разработке одного из сервисов, из которых состоит конкретный модуль. Сервис – это автономная единица, которая отвечает за работу с конкретной информацией. Например, в составе модуля «Лаборатория» имеется сервис рассылки уведомлений о результатах лабораторных исследований. Этот сервис запускается независимо в определенное установленное время, выполняет свою работу и отключается до следующего запуска. Также отдел разработки веб-приложения разделен на команды, ответственные за backend-разработку и frontend-разработку.

Предприятие, помимо заработной платы разработчикам, вкладывает средства в их обучение, в организацию их взаимодействия (сервисы Jira, Gitlab, Slack), что в конечном итоге повышает продуктивность команд.

#### **1.4. Сотрудник**

Отделы представляют собой звенья иерархии, сгруппированные по определенному принципу. Каждое из этих звеньев состоит из сотрудников, которых предприятие нанимает для достижения своих задач.

Каждый сотрудник, работающий на предприятии, ежемесячно получает Заработную Плату (ЗП). Заработная плата состоит из двух частей: основного оклада, прописанного в контракте, и стимулирующих выплат. Объем оклада сотрудника фиксированный и не зависит от выполненной им работы. На практике, у всех сотрудников, независимо от занимаемой должности, одинаковый оклад. Такая мера обусловлена стимуляцией каждого сотрудника к увеличению своей ЗП за счет повышения премиальной части. Премиальная часть вариативна и может изменяться каждый месяц. Ее уровень зависит от объема выполненной работы сотрудником.

Перед каждым сотрудником, за исключением руководящего звена, в начале каждого месяца его непосредственный руководитель обозначает размер премиальной части оклада, описывает объем задач, необходимых к выполнению и оговаривает размер стимулирующих выплат, зависящих от объема выполненной работы. Эффективность такого подхода заключается в том, что сотрудник точно знает, на что он может рассчитывать в конце месяца, и может распланировать свои действия.

Руководители отдела распределяют сотрудникам премиальные части заработной платы в соответствии с денежным объемом, выделенным их отделу советом Директоров на текущий месяц. Совет Директоров равномерно распределяет на 12 месяцев тот объем денежных средств, которые были получены после подписания и пролонгации контрактов со всеми клиентами на текущий год.

Сотрудник в течение месяца получает задачи. Согласно договору продолжительность рабочего дня составляет 8 часов ежедневно, за исключением официальных выходных дней (субботы и воскресенья) и праздничных дней. Согласно данным Государственной думы, в 2020 году сотрудник отработал 1979 часов, что составляет почти 165 часов в месяц. Зная свою эффективность (задача/час), сотрудник может оценить время выполнения задач и распределить свое время на выполнение различных задач, стараясь выполнить максимальный объем. Руководитель отдела договаривается с сотрудником о премиальной части ЗП и об объеме задач на текущий месяц. Система стимулирующих выплат учитывает адекватную соразмерность объема задач, поставленных перед сотрудником.

При подсчете объема задач каждая задача разбивается на мелкие, равные по нагрузке задачи. В таком случае, если сотруднику была дана крупная задача, состоящая из 5 мелких подзадач, то считается, что он должен выполнить 5 задач. При этом одна крупная задача не обязательно назначается одному сотруднику, а может быть распределена между несколькими сотрудниками.

В начале каждого месяца руководитель отдела получает пул задач, составленный из вновь появившихся задач (со стороны Клиентов или из вновь выпущенных Государственных Регламентов), а также не выполненных сотрудниками задач. Руководство предприятия оговаривает с руководителем отдела текущий объем средств, которые могут быть выделены для распределения премий между сотрудниками. Также руководство обозначает объем премии руководителя отдела. Перед руководителем стоит задача выполнения плана на текущий месяц и распределение задач и премий между сотрудниками отдела. Стимулирующие выплаты начальника отдела зависят от выполнения объема плана всего отдела. В конце месяца руководство выплачивает каждому отделу денежную сумму, состоящую из суммарной фиксированной платы каждого сотрудника отдела, включая руководителя отдела, и обещанной суммы стимулирующих выплат всему отделу.

Клиенты оценивают уровень ПО предприятия «Электронная медицина» по частоте выявления в нем ошибок и оперативности их выполнения, а также гибкость в настройке ПО под требования клиента. Таким образом, оценка уровня ПО зависит от объема выполнения задач предприятием. Чем меньше нерешенных задач остается к концу года, тем выше уровень доверия клиента к ПО и тем меньше репутационных потерь несет организация «Электронная Медицина», получая возможность привлекать новых Клиентов и продавать им ПО. Также помимо уже имеющегося ПО, организация "Электронная медицина» может продать клиенту новый модуль, который разработчикам за определенный срок предстоит разработать. Руководству, учитывая все вышеизложенные факторы, стоит оценивать количество сотрудников и объем задач, которые они могут выполнить. В случае предположения, что сотрудники с имеющимся объемом справиться не способны, руководство может выйти на рынок труда и привлечь новых сотрудников в отделы, предварительно произведя уровень оценки и компетентности кандидатов.

## 2. Модель

Руководитель отдела (Супервайзер) осуществляет контроль над распределением имеющихся у фирмы денежных ресурсов  $d$  между затратами на оплату труда сотрудникам  $((1 - \gamma)d)$  и вложением в производственный капитал  $\gamma d$  (модернизация рабочих мест, покупка лицензий на ПО). Отразить объем выручки можно через производственную функцию Кобба-Дугласа ([3]).

Доходы предприятия  $Q$  берутся в виде:

$$Q = A((1 - \gamma)d)^\alpha (\gamma d)^\beta, \quad (1)$$

$$0 \leq \gamma \leq 1, \quad (2)$$

где  $A$  – технологический коэффициент;  
 $\alpha$  и  $\beta$  – коэффициенты эластичности объема производства по затратам труда и капитала ([4]).

Доходы и затраты труда берутся на основе данных, представленных в таблице 2. На основе этих данных находятся коэффициенты  $A, \alpha, \beta$ .

Таблица 2 – Таблица доходов и расходов на оплату труда «Электронной медицины»

Год	Доход	Оплата труда	Вложения в производственный капитал
2018	77003000	29520000	10350000
2019	66872000	31282000	7641000
2020	81481000	43797000	8196000
2021	76269000	44421000	8055000

Общие затраты производства можно выразить в виде суммы:

$$TC = d + TFC, \quad (3)$$

где  $TFC$  – постоянные затраты предприятия.

Руководство предприятия (Принципал) предлагает Супервайзеру шкалу заработной платы  $w$ . Разница между величиной заработка Супервайзера и его издержками выражает уровень полезности руководителя отдела в денежной форме. При этом Принципал предлагает Супервайзеру линейную шкалу стимулирования  $w = r + qQ$ , где  $r$  – фиксированная часть заработка, а  $q$  – доля в прибыли. Тогда целевая функция руководителя отдела выглядит следующим образом и максимизируется по  $\gamma$ .

$$Y_1 = r + qQ - d - TFC \rightarrow \max. \quad (4)$$

Целевая функция Принципала – это его чистая прибыль. Она принимает следующий вид и максимизируется по  $q$ :

$$Y_0 = Q - w = (1 - q)Q - r \rightarrow \max. \quad (5)$$

Таким образом возникает двухуровневая иерархическая игра Штакельберга: Принципал-Супервайзер, описываемая системой соотношений:

$$\begin{aligned} Y_0 &= (1 - q)A((1 - \gamma)d)^\alpha(\gamma d)^\beta - r \rightarrow \max, \\ Y_1 &= r + qA((1 - \gamma)d)^\alpha(\gamma d)^\beta - d - TFC \rightarrow \max, \\ 0 &\leq \gamma \leq 1; 0 \leq q \leq 1. \end{aligned}$$

### 3. Численные расчеты

На основе данных, представленных в таблице 2 были вычислены коэффициенты функции Кобба-Дугласа:

$$A = 2.738, \alpha = 0.382, \beta = 0.547.$$

Можно сделать вывод, что функция Кобба-Дугласа показывает убывающую отдачу при увеличении масштабов производства.

Также были заданы на основе имеющихся данных следующие значения:

$$r = 3042300.08, d = 4074050.0.$$

Было найдено равновесие Штакельберга [5]:  $q = 0.001, \gamma = 0.58$ .

Из найденного равновесия видно, что при отсутствии контроля и ограничений Принципал стремится забирать себе большую часть дохода, почти ничего не оставляя Супервайзеру. Супервайзеру выгоднее вкладывать средства в текущие фонды, что соответствует виду функции Кобба-Дугласа.

#### Заключение

Таким образом, можно сделать выводы, что деятельность Принципала должна быть контролируема и ограничена, как минимум на законодательном уровне. При таком условии распределение дохода будет иметь справедливый и равноценный характер.

В рамках данной работы была описана и промоделирована иерархическая двухуровневая система, задающая связь между руководством и отделом на предприятии «Электронная медицина». Было найдено равновесие Штакельберга и сделаны соответствующие выводы.

## Библиографический список

1. Шаталов А.И. Взаимосвязь бизнес-модели и результатов деятельности фирмы // Вестник СПбГУ Сер 8. 2010. вып 2. С.27
2. Казаков В.Е., Шарстнёв В.Л. Процессная модель коммерческой фирмы // Вестник Витебского государственного университета Вып. 28. 2014
3. Сараев А.Л, Сараев Л.А. Модель оптимизации прибыли предприятия, учитывающая сверхпропорциональные производственные и транзакционные затраты // Вестник Самарского государственного университета. 2013
4. Акерман Е.Н., Михальчук А.А., Спицын В.В., Чистякова Н.О. Оценка имитационного потенциала IT-компаний при помощи производственной функции Кобба-Дугласа // Вестник НГУЭУ. Номер 4. 2019
5. Интрилигатор М. - Математические методы оптимизации и экономическая теория // Прогресс. 1975. С.56-58

УДК 004.424

## СРАВНЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО И ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ В НАУКОЁМКИХ ТЕХНОЛОГИЯХ

Бычков К.В., Кузьмин Д.Е., Блинов Р.В.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»  
г. Новокузнецк, Россия, kirill.bychkov@vk.com

*Аннотация.* В статье сравниваются две парадигмы программирования. Приводятся основные понятия, области применения функционального и объектно-ориентированного программирования в наукоёмких технологиях, их достоинства и недостатки. На основе всего вышесказанного делается заключение.

*Ключевые слова:* функциональное программирование, объектно-ориентированное программирование, наукоёмкие технологии, парадигмы программирования.

*Abstract.* The article compares two programming paradigms. The basic concepts, areas of application of functional and object-oriented programming in knowledge-intensive technologies, their advantages and disadvantages are given. Based on the foregoing, a conclusion is made.

*Keywords:* functional programming, object-oriented programming, knowledge-intensive technologies, programming paradigms.

Современное общество является информационным, в нём всё большее число людей занято получением, переработкой и использованием информации с применением компьютерных технологий. Однако его дальнейшее развитие требует разработки большого количества качественных программных продуктов. В этих условиях весьма актуальным становится овладение современными технологиями программирования [1].

Программирование как наука, искусство и технология исследует и творчески развивает процессы создания и применения программ, определяет средства и методы конструирования программ, разнообразие которых складывается в практике и экспериментах и фиксируется в форме языков программирования (ЯП). Сложности классификации быстро расширяющегося множества ЯП приводят к выделению понятия «парадигмы программирования» [2].

**Функциональное программирование.** Одним из подходов – парадигмы программирования является функциональное программирование, в которой программы создаются путем применения и компоновки функций в их математическом смысле, что позволяет избегать изменяющихся состояний и изменяемых данных. Обычно при этом подразумевается, что функция, определяющая поведение программы, всегда выдает один и тот же результат на одних и тех же входных данных, т.е. это детерминированная функция. В функциональном программировании нет ни процедур, ни циклов, ни даже пере-

менных – почти одни только функции [4]. Функции определяются через другие функции или рекурсивно – через самих себя [6]. Каждая функция зависит от входных данных, которые она получает и не зависит от каких-либо внешних состояний. В процессе выполнения программы функции получают параметры, вычисляют и возвращают результат, в случае необходимости вычисляя значения других функций [6].

Поскольку программы представляют собой уравнения, легко увидеть, как могут быть записаны доказательства правильности: просто выводится следствие из приведенных уравнений. Аналогичным образом программы могут быть преобразованы из неэффективных в более эффективные версии. Из-за этого, функциональные языки, как правило, предоставляют более короткий и читаемый код [5]. Создание легко компонуемых компонентов, делает возможным повторное использование кода. Функциональная программа по умолчанию безопасна с точки зрения конкурентного доступа.

Также парадигма функционального программирования обеспечивает: неизменяемость и иммутабельность типов, функции без побочных эффектов и улучшенную способность типов и функций к композиции.

Программируя на функциональном языке, программист не должен описывать порядок вычислений. Ему необходимо просто описать то, что представляет собой решаемая задача и что нужно сделать для достижения желаемого результата, в виде системы взаимосвязанных функций [6].

Функциональный подход, способствует более высокому уровню абстракции при написании программ, что экономит время, которое в дальнейшем пойдет на разработку и отладку. На традиционных императивных языках – из-за наличия общей памяти – написание распараллеливаемого кода сопряжено со значительными сложностями, и одно из решений кроется именно в переходе к более функциональному стилю программирования с неизменяемыми данными [7].

**Объектно-ориентированное программирование.** Важнейшим шагом на пути к совершенствованию языков программирования стало появление объектно-ориентированного подхода к программированию (ООП) и соответствующего класса языков [8].

При ООП программа представляет собой описание объектов, их свойств (или атрибутов) совокупностей (или классов), отношений между ними, способов их взаимодействия и операций над объектами (или методов). Несомненным преимуществом данного подхода является концептуальная близость к предметной области произвольной структуры и назначения. Механизм наследования атрибутов и методов позволяет строить производные понятия на основе базовых и таким образом создать модель сколь угодно сложной предметной области с заданными свойствами [8].

Ещё одним теоретически интересным и практически важным свойством ООП является поддержка механизма обработки событий, которые изменяют атрибуты объектов и моделирует их взаимодействие в предметной области. Перемещаясь по иерархии классов от общих понятий предметной области к более конкретным (или от более сложных – к более простым) и наоборот, программист получает возможность изменять степень абстрактностей или конкретности взгляда на моделируемый им реальный мир [8].

Сложность адекватной (непротиворечивой и полной) формализации объектной теории поражает трудности тестирования и верификации созданного программного обеспечения. Пожалуй, это обстоятельство является одним из самых существенных недостатков ООП [8].

К числу основополагающих понятий ООП обычно относят абстракцию данных, наследование, инкапсуляцию и полиморфизм.

Рассмотрим более подробно такой фундаментальный принцип ООП, как абстракция. В разделах математики, исследующих моделирование процесса создания программ, под *абстракцией* принято понимать произвольное выражение языка программирования, которое является отличным от идентификатора. В ООП каждый объект представляет со-

бой принципиально динамическую сущность, т.е. изменяется в зависимости от времени. В отношении абстракции как объекта поведение заключается в приложении функции к аргументу [8].

Другой фундаментальной составляющей концепции ООП является интуитивное понятие наследования. В неформальной постановке под *наследованием* понимается свойство того или иного объекта, который является производным от некоего базового объекта, сохранять поведение (а именно, атрибуты и операции над ними), характерное для родительского объекта [8].

Ещё одним фундаментальным компонентом концепции ООП является понятие инкапсуляции. Под *инкапсуляцией* понимается возможность доступа к объекту и манипулирования им исключительно посредством предоставляемых именно этим объектом свойств и методов. Таким образом, свойствами объекта (безразлично, является ли они явно описанными или производными от других объектов) возможно оперировать исключительно посредством методов, которые содержатся в описании данного объекта (или родительских по отношению к нему объектов при условии, что эти методы унаследованы) [8].

Инкапсуляция – весьма важное свойство, поскольку обеспечивает определённую (а точнее, определяемую программистом) степень безопасности данных об объекте. Хотя инкапсуляция как таковая является фундаментальным свойством ООП, степень инкапсуляции при наследовании может варьироваться в зависимости от типа области видимости объекта, который определяется модификатором видимости [8].

Таким образом мы рассмотрели ООП в системе возможных подходов, а также формированием представления об основополагающих принципах объектно-ориентированного подхода.

**Сравнение парадигм.** В основе функционального программирования как декларативного стиля лежит формализованная человеческая логика. Человек описывает решаемую задачу, а поиском решения занимается система программирования.

Функциональное программирование может применяться во множестве областях человеческой деятельности, к которым относятся:

- создание систем искусственного интеллекта;
- автоматическое доказательство теорем;
- разработка экспертных систем и оболочек экспертных систем;
- создание систем поддержки принятия решений;
- разработка систем обработки естественного языка;
- построение планов действий роботов.

Применение такой парадигмы в этих областях позволяет достичь значительно большей скорости разработки приложений, уменьшить размер исходного кода, создать более понятные, по сравнению с императивными языками, программы. Этот подход существенно проще и прозрачнее формализуется математическими средствами, поэтому программы легче тестировать и верифицировать [1].

*Достоинства* функционального программирования:

– **возможность организации автоматического параллельного выполнения.** Параллельное выполнение программ в императивных языках трудно реализовывать, так как ответственность за организацию параллельных вычислений возлагается на программиста;

– **отсутствуют потенциальные ошибки, связанные с переменными и присваиванием им новых значений.** На результат работы функций влияют только входные параметры, что исключает появление ошибок, которые трудно обнаружить;

– **удобство разработки тестов.** На результат работы функций влияют только входные параметры, поэтому для тестирования функций достаточно проверить значения функций при различных входных параметрах.



*Недостатки функционального программирования:*

– **отсутствуют циклы.** При чистом функциональном подходе для организации повторений допустима только рекурсия;

– **требуется сборщик мусора.** Отсутствие присваиваний, приводит к необходимости их замены на создание новых данных, что, в свою очередь, требует наличия функционала автоматического выделения и освобождения памяти, то есть обязательным компонентом становится сборщик мусора [3].

Применение информационных систем в экономике и управлении привело к появлению больших по объёму программ. Область применения программного обеспечения постоянно расширялась, процессы управления, подлежащие автоматизации, усложнялись. Всё вышесказанное привело к появлению объектно-ориентированного подхода к программированию (ООП) [1].

ООП относится к императивной парадигме программирования, в рамках которой программа описывает шаги, которые необходимо выполнить для решения задачи [3].

Основные принципы ООП:

– **инкапсуляция.** Упрощает создание и сопровождение больших программ, так как инкапсулированные в объекте функции обмениваются с программой сравнительно небольшими объёмами данных. В результате замена или модификация данных и методов, инкапсулированных в объект, как правило, не влечёт за собой существенной модификации всей программы в целом;

– **наследование.** Придаёт ООП значительную гибкость. При работе с объектами обычно подбирается объект, наиболее близкий по своим свойствам для решения конкретной задачи, и на его основе создаются потомки, обладающие дополнительными свойствами и методами;

– **полиморфизм.**

Преимущества:

– облегчение программирования сложных систем за счёт возможности называть похожие действия одним именем;

– обеспечение виртуальными функциями чистого полиморфизма, т.е. возможности использовать один и тот же оператор для вызова множества функций. При этом конкретная функция определяется по типу вызываемого объекта;

– механизм виртуальных функций – это возможность написания простых функций общего назначения для иерархии классов;

– обеспечение компактности программ и расширяемости иерархии классов за счёт использования виртуальных функций;

– автоматическая генерация по обобщённому шаблону новых функций или классов для различных типов данных, реализуемая механизмом параметрического полиморфизма.

*Достоинства объектно-ориентированного программирования:*

– возможность адекватного моделирования предметной области и, соответственно, программирования в понятиях, максимально приближённых к предметной области;

– многократное использование написанного кода;

– сокращение времени разработки и отладки программ.

*Недостатки объектно-ориентированного программирования:*

– значительная глубина абстракции может привести к созданию «многослойных» приложений, где выполнение объектом требуемого действия сводится к множеству обращений к объектам более низкого уровня, что сказывается на производительности системы;

– инкапсуляция снижает скорость доступа к данным. Запрет на прямой доступ к полям класса извне приводит к необходимости создания и использования методов доступа, что ведёт к дополнительным расходам;

– код, относящийся к классам-потомкам, может находиться не только в этих классах, но и в их классах-предках. Это приводит к снижению скорости трансляции и выполнения программы;

– обеспечение полиморфизма приводит к необходимости связывать методы, вызываемые программой не на этапе компиляции, а в процессе исполнения программы, на что тратится дополнительное время [1].

**Заключение.** Функциональные языки представляют из себя очень удобный аппарат для научных исследований в области теоретического программирования, а также инструмент быстрого прототипирования систем, связанных с обработкой данных. Можно привести несколько больших и известных программных систем широкого назначения, реализованных на функциональных языках: среди них графические системы компании Autodesk (использующие диалект языка LISP), текстовый редактор GNU emacs и др. Однако подавляющее большинство промышленных программных систем остаются написанными на «классических» императивных языках типа C#, Java или C++ [7]. Тем не менее, большинство современных языков программирования имеет более одной парадигмы программирования, так объектно-ориентированный язык программирования C# совмещает в себе и функциональное программирование, а именно: методы расширения, LINQ-выражения, лямбды в целом, кортежи, деконструкции, async, await, records и т.д.

Наукоемкие информационные технологии – это технологии, имитирующие мышление человека с помощью мощной вычислительной техники. Лидирующим языком программирования для искусственного интеллекта является Python, который также сочетает в себе несколько парадигм программирования, в том числе объектно-ориентированное программирование и функциональное программирование, и не ограничивается только одной парадигмой.

#### Библиографический список

1. Гниденко И. Г. Технологии и методы программирования: учебное пособие для вузов / И. Г. Гниденко, Ф. Ф. Павлов, Д. Ю. Федоров. – Москва.: Издательство Юрайт, 2022. – 235 с. – (Высшее образование).
2. Городня Л. В. Парадигмы программирования: Часть 1: Сравнение парадигм программирования: Препринт 172 / Л. В. Городня. – Новосибирск, 2014. – 115 с.
3. Малов А. В. Концепции современного программирования: учебное пособие для вузов / А. В. Малов, С. В. Родионов. – Москва.: Издательство Юрайт, 2022. – 96 с. – (Высшее образование).
4. Кубенский А. А. Функциональное программирование: учебник и практикум для академического бакалавриата / А. А. Кубенский. - Москва.: Издательство Юрайт, 2019. - 348 с.
5. Reade C. Elements of Functional Programming / Reade C. // Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 1989.
6. Душкин Р. В. Функциональное программирование на языке Haskell / Душкин Р. В. - Москва.: ДМК Пресс, 2006. – 607 с.
7. Сошников Д.В. Программирование на F# / Сошников Д.В. Москва.: ДМК Пресс, 2011. -192 с.
8. Зыков С. В. Программирование. Объектно-ориентированный подход: учебник и практикум для вузов / С. В. Зыков. – Москва: Издательство Юрайт, 2022. – 155 с. – (Высшее образование).

## ПРИМЕНЕНИЕ СТЕММИНГА ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ПОИСКА СРЕДИ МЕДИЦИНСКОГО КЛАСТЕРА ДОКУМЕНТОВ

Тарасенко А.А.

*ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»*

*г. Новокузнецк, Россия, tarasenko.job@yandex.ru*

**Аннотация.** *Стемминг является неотъемлемой частью процесса информационного поиска, для упрощения обработки больших кластеров запросов и документов. Поиск среди медицинских кластеров документов, является «точной» средой. В этой статье приведен пример работы алгоритма портера, также приведен пример обработки медицинских кластеров документов по алгоритму портера, где можно увидеть одинаковые выходные термины, чего нельзя допускать в поиске среди медицинских документов.*

**Ключевые слова:** *информационный поиск, IT, информационные технологии, система поиска.*

**Abstract.** *Stemming is an integral part of the information retrieval process to simplify the processing of large clusters of queries and documents. Searching among medical clusters of documents is an «exact» medium. This article provides an example of the work of the porter algorithm, and an example of processing medical clusters of documents using the porter algorithm, where you can see the same output terms, which should not be allowed in a search among medical documents.*

**Keywords:** *information retrieval, IT, information technologies, search system.*

### **Введение.**

Стемминг - процесс поиска основы слова.

Зачем нужен стемминг? Для приведения текстовых данных запроса, документа, к упорядоченной форме данных. Сделать группировку похожих слов для того, чтобы упростить процесс анализа текстовых данных на следующих этапах работы с ним.

Где используется стемминг? Стемминг используется для упрощения текстовых данных, для дальнейшей его обработки – группировка слов с похожим значением, а это: информационный поиск (поисковые системы), обучение искусственного интеллекта, анализ текстовых данных – выявление смысла, анализ предметной области.

Основные этапы алгоритма обработки текста - приведение его к общему виду: разделение текста на предложения, разделение текста на слова, перевод в нижний регистр, удаление стоп-слов, знаков пунктуации, лемматизация - приведение слова к морфологическому корню слова, **стемминг**.

### **Основная часть.**

Для определения словоформы, будет использоваться алгоритм портера. Это самый популярный алгоритм стемминга.

i-суффиксы (\*) русского языка, как правило, довольно регулярны, с нарушениями склонения, связанными с изменением основы. Поэтому неправильные формы обычно просто генерируют две или более возможных основы. Основы в русском языке могут быть очень короткими, и многие суффиксы также являются частицами слов, которые образуют «естественные стоп-слова», поэтому способ запуска основы - установить минимальную длину основы равной нулю и, таким образом, свести к нулю все слова, которые полностью состоят из частей суффикса [1].

32 буквы русского алфавита выглядят следующим образом, а транслитерированные формы, которые будут использовать здесь, указаны в скобках:

а (**a**) б (**b**) в (**v**) г (**g**) д (**d**) е (**e**) ж (**zh**) з (**z**)  
 и (**i**) й (**i**) к (**k**) л (**l**) м (**m**) н (**n**) о (**o**) п (**p**)  
 р (**r**) с (**s**) т (**t**) у (**u**) ф (**f**) х (**kh**) ц (**ts**) ч (**ch**)  
 ш (**sh**) щ (**shch**) ь (") ы (**y**) ь (') э (**e**) ю (**iu**) я (**ia**)

Рисунок 1 – Пример транслитерации букв русского алфавита

Существует 33-я буква, ё ('), но она редко используется, она отображается в е.

Ниже приведены гласные:

а (a) е (e) и (i) о (o) у (u) ы (y) э (è) ю (iu) я (ia)

Алгоритм портера, это ряд правил, из которых получается основа слова.

В любом слове RV - это область после первой гласной или конец слова, если оно не содержит гласной.

R1 - это область после первой не гласной, следующей за гласной, или конец слова, если такой не гласной нет.

R2 - это область после первой не гласной, следующей за гласной в R 1, или конец слова, если такой не гласной нет [2].

Например:

b e a u t i f u l  
                           |<----->| R1  
 b e a u t i f u l  
                           |<--->| R2

Буква t - первая не гласная после гласной в beautiful, поэтому R 1 - это iful . В iful буква f является первой не гласной после гласной, поэтому R2 - это ul.

b e a u t y  
                   |<->| R1  
                   ->|<- R2

В b e a u t y последняя буква у классифицируется как гласная. Опять же, буква t является первой негласной после гласной, поэтому R1 – это только последняя буква, у. R1 не содержит негласных, поэтому R2 является нулевой областью в конце слова.

b e a u  
           ->|<- R1  
           ->|<- R2

В beau R1 и R2 оба равны нулю.

Другой пример:

a n i m a d v e r s i o n  
           |<----->| R1  
 a n i m a d v e r s i o n  
           |<----->| R2  
 s p r i n k l e d  
           |<----->| R1  
 s p r i n k l e d  
                           ->|<- R2  
 e u c h a r i s t  
           |<----->| R1  
 e u c h a r i s t  
           |<----->| R2

Далее эти окончания определяются на классы. Прилагательное, причастие, глагол, существительное. Вычисляется порядок окончаний, по заранее поставленным правилам.

Например, в бегавшая = бега + вш + ая

(бегавша И.А. = бега + vsh + aia)

По итогу работы алгоритма, получается:

слово	stem	слово	stem
в	в	п	п
вавиловка	вавиловк	па	па
вагнера	вагнер	пава	пав
вагон	вагон	павел	павел
вагона	вагон	павильон	павильон
вагоне	вагон	павильонам	павильон
вагонов	вагон	павла	павл
вагоном	вагон	павлиний	павлин
вагоны	вагон	павлины	павлин
важная	важн	павлиньим	павлин
важнее	важн	павлович	павлович
важнейшие	важн	павловна	павловн
важнейшими	важн	павловне	павловн

Рисунок 2 – Пример работы алгоритма портера

Медицинский кластер документов. В него входят два вектора документов: о препаратах, и болезнях.

Ряд болезней, с одинаковой работой стемминга.

Таблица 1 – Пример работы стемминга названий медицинских болезней

Слово	Стемминг
бронхиола	бронхиол
бронхиолит1	бронхиолит1
бронхиолит2	бронхиолит2
бронхит	бронх
бронхоаденит	бронхоаден
бронхобленоя	бронхоблено
бронхолит	бронхол

Явный пример, последняя строка: «Бронхолит» – «Бронхол». Разный вектор документов, в т.ч связанных с препаратом.

Таблица 2 – Пример работы стемминга названий медицинских препаратов

Слово	Стемминг
максиган	максига
максигра	максигр
максидекс	максидекс
максиколд	максиколд
максилак	максилак
максипим	максип
макситопир	макситопир

Отклонений в этой выборке слов – нет.

Главное отличие информационного поиска, это точность нахождения информации. Использование стемминга, в поиске среди медицинских кластеров документов, даст низкую точность нахождения информации. Вследствие упрощения входных данных при поиске, и при упрощении данных текстовых документов. В поисковой базе будут находиться документы, которые не должны были быть в одинаковом кластере – разные по вектору документы.

#### **Решение.**

Если стоит конкретная задача. Использование стемминга среди медицинского кластера документов, то тогда нужно использовать «ручной», «умный» стемминг.

Для этого надо обработать коллекцию медицинских терминов-слов.

Первый вариант. Использовать только «точное» вхождение слов.

Т.е если вводят в поиск: «Максиган». результатом будет только один файл из выборки.

При этом, когда будет введен: «Максиганы» или «Максигану». Результатом будут 0 документов, с просьбой уточнить поиск.

Второй вариант, взять конкретно данный термин: «Максиган». Сделать анализ соответствий других терминов, есть ли похожие в нашем кластере после использования стемминга – они имеются, соответственно не делать стемминг для данного слова. Таким образом повысится точность поиска, за счет того, что будет использоваться точное вхождение слова.

Соответственно наоборот, если после предварительного стемминга в кластере медицинских препаратов, болезней, не будут найдены совпадения – термин слишком редкий в выборке, то в этом случае мы можем использовать стемминг для экономии ресурсов при дальнейшей отправке похожих запросов в поиск.

Третий вариант. Сделать ручной анализ слов. Например «Максиган» - проверить наличие аналогов в выборке запросов, также провести анализ на возможные словоформы. Отдельно составить список: словообразований, словоформ, склонений, возможных опечаток. Таким образом мы «вникаем» в слово. Приводим данные к общему виду и загружаем их уже в поисковую базу.

Пример: «Максиган», «Максигана», «Максигану», «Максигана», «Максиганом», «Максигане», «Максиганы», «Максиганами».

Также работа с возможными опечатками: «Максигн», «Мксиган», «Максган», «Максиген», «Максигин». Но в этом случае также, нужно проработать каждые из термов, потому что может появиться дубль в нашей коллекции документов, может появиться сходство документов-запросов, также и в первом случае, каждую новую словоформу проверять на наличие возможного совпадения в кластере документов.

При этом надо понимать, что при анализе на точные совпадения при тех же самых словоформах. Например Бронхиолит 1, Бронхиолит 2 – не делать пред-процесс ручного стемминга, т.к выборка слов получится одинаковая в обоих случаях.

#### **Вывод:**

Тематика медицинских документов, является «красной» по важности. Поэтому не-точность данных тут не нужна. Вариантом решения этой проблемы является предварительная проработка каждого термина документов на предварительный стемминг. В идеале сделать эту работу ручной, проверка на возможные совпадения похожих термов-слов в коллекции документов, которые входят в кластер.

### **Библиографический список**

1. The online home of a disparate group of free software programmers and their projects. Russian stemming algorithm [Электронный ресурс]. URL: <http://snowball.tartarus.org/algorithms/russian/stemmer.html>, свободный. – Содерж. текста (дата обращения 02.11.2022).

2. The online home of a disparate group of free software programmers and their projects. Defining R1 and R2 [Электронный ресурс]. URL: <http://snowball.tartarus.org/texts/r1r2.html>, свободный. – Содерж. текста (дата обращения 03.11.2022).

## СЕССИИ В ASP.NET ИЛИ КАК СОЗДАТЬ СОБСТВЕННЫЙ СЕРВИС ДЛЯ РАБОТЫ С НИМИ

Барышникова К.В.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»  
г. Новокузнецк, Россия, [baryshnikova.xenya@ya.ru](mailto:baryshnikova.xenya@ya.ru)

**Аннотация.** В данной статье рассматривается использование сессий в фреймворке ASP.NET CORE, которые позволяют во время сеанса использования сайта до закрытия браузера хранить важные данные на сервере. Также в статье будет рассмотрен пример создания собственного сервиса для работы с сессиями и его совместного использования вместе с механизмом предоставляемом самим фреймворком.

**Ключевые слова:** ASP.NET CORE, сессии, веб-приложение, сервис, протокол.

**Abstract.** This article covers usage of sessions in ASP.NET CORE framework which allow you to store important data on server during session, before closing the browser. It also covers an example of creating your own session handling service and sharing it with the mechanism provided by the framework.

**Keywords:** ASP.NET CORE, sessions, web application, service, protocol.

На сегодняшний день существует 3 типа приложений:

- десктопные;
- мобильные;
- web.

Десктопные приложения требуют установку клиента на рабочей станции пользователя. В зависимости от типа операционной системы, технических средств и других параметров могут потребоваться разные версии программы. Это создает неудобства разработчикам по сопровождению продукта, его отладке и тестированию. Сами пользователи сталкиваются с необходимостью постоянных обновлений самой программы, покупки нового железа с той операционной системой, которую поддерживает приложение.

Мобильные приложения заточены исключительно для смартфонов и планшетов с учетом установленной там системы.

Наиболее динамично на сегодня развиваются веб-приложения, так как они для своей работы требуют только установленный браузер на клиентской стороне.

Они:

1. могут работать как на смартфоне, так и персональном компьютере;
2. практически независимы от железа;
3. по функционалу скоро перестанут уступать десктопным аналогам.

Один из наиболее важных шагов, которые нужно предпринять, когда дело доходит до разработки приложения, – это выбрать правильный стек технологий. Грамотно подобранный стек позволяет получить стабильный, безопасный и удобный в обслуживании продукт.

Одним из наиболее популярных платформ для разработки веб-приложений на сегодняшний день является ASP.NET Core от компании Microsoft, особенно популярностью пользуется ASP.NET Core MVC.

ASP.NET Core MVC – это инфраструктура для разработки веб-приложений производства Microsoft, которая сочетает в себе эффективность и аккуратность архитектуры «модель-представление-контроллер» (model-view-controller – MVC), идеи и приемы гибкой разработки, а также лучшие части платформы .NET [2].

Теперь рассмотрим такую ситуацию. К веб-серверу подключается два разных клиента и совершают различные действия с данными на форме. Как определить какой из двух пользователей внес изменения? Для таких случаев используют сессии.

Сессия – это механизм хранения информации на различных веб-страницах для идентификации пользователей при навигации по сайту или приложению.

Чтобы понять, почему сеансы необходимы, рассмотрим внимательнее, как работает протокол HTTP.

Протокол HTTP – это протокол без статических данных, что означает, что сервер не может запомнить конкретного пользователя при нескольких запросах.

Например, когда вы заходите на веб-страницу, сервер отвечает за предоставление содержимого запрошенной страницы. Поэтому, когда вы обращаетесь к другим страницам на том же веб-сайте, веб-сервер интерпретирует каждый запрос отдельно, как если бы они не были связаны друг с другом. Сервер не знает, что каждый запрос исходит от одного и того же пользователя.

Следующая диаграмма иллюстрирует протокол HTTP.

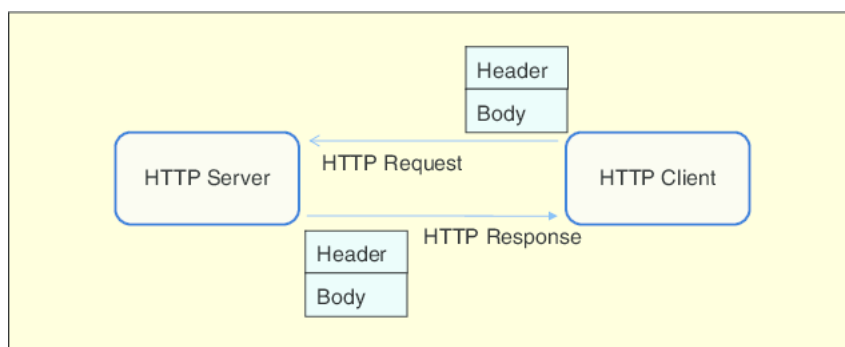


Рисунок 1 – Протокол HTTP

В ASP.NET Core сессия – это серия последовательных запросов, сделанных в одном браузере за определенный период времени. Сессия может использоваться для хранения некоторых временных данных, которые должны быть доступны, пока пользователь работает с приложением, и не требуют постоянного хранения.

Для хранения состояния сессии на сервере создается словарь или хэш-таблица, которая хранится в кэше и существует для всех запросов из одного браузера в течение некоторого времени. Клиент хранит идентификатор сессии в cookies. Этот идентификатор отправляется на сервер с каждым запросом. Сервер использует этот идентификатор для получения нужных данных из сессии [1]. Эти файлы cookie удаляются только по окончании сеанса. Но если сервер получает файлы cookie, которые уже установлены для истекшей сессии, для этих файлов создается новая сессия.

**ASP.NET** предлагает множество вариантов для работы с сессиями из коробки:

- хранение информации о сессиях в памяти сервера, внутри процесса ASP.NET;
- хранение информации о сессиях на сервере состояний;
- хранение информации о сессиях в базе данных SQL Server в заранее определенной схеме.

Но сколько бы ни было вариантов из коробки, они не могут полностью ответить на те задачи, которые встают перед разработчиком. Например, использование нестандартной библиотеки для доступа к базе данных. Далее будет рассмотрено как реализовать работу стандартного сессионного механизма с собственным сервисом для работы с библиотекой. Для решения данной задачи будет использоваться собственный сервис, реализующий работу с библиотекой. В ней уже реализован собственный провайдер по работе с базой данных и создание доступа пользователям по хранящемуся профилю. Называться он будет DataBaseContext.



Принцип работы сводится к следующим действиям. Пользователь авторизуется при помощи стандартных средств, предоставляемых сервером, и в хэш-таблицу записываются данные о новой сессии. После завершения процесса авторизации, происходит запуск ряда сервисов необходимых для работы приложения. В момент попадания в тело сервиса DataBaseContext происходит проверка на наличие аутентификационных куки. Если они существуют, то будет загружен профиль пользователя и создана сессия для работы с контекстом базы данных, если нет, то будет произведено перенаправление пользователя на страницу с ошибкой. После старта работы сервиса продолжится загрузка необходимых ресурсов для работы страницы.



Рисунок 2 – Схема создания сессии

В данном примере используемый механизм создания сессий в ASP.NET Core применяется только для авторизации, другие задачи по разделению пользователей, хранению данных и остального выполняет сторонний сервис. Такой подход позволяет сделать более глубокие механизмы по управлению сессиями, отслеживанию их состояний и добавление определённого удобства в использовании веб-приложения, например, как сохранение активности сессии после перезагрузки страницы.

### Библиографический список

1. Низамутдинов М. Тактика защиты и нападения на web-приложения. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2005 – 432 с.
2. Фримен А. ASP.NET Core MVC 2 с примерами на C# для профессионалов, 7-е изд.: Пер. с англ. – СПб.: ООО «Диалектика», 2019. – 1008 с.
3. Мудранов, А. М. Asp.net MVC. Введение в технологию / А. М. Мудранов, М. Д. Жулин // Студенческая наука для развития информационного общества : Сборник материалов VIII Всероссийской научно-технической конференции, Ставрополь, 22–23 мая 2018 года. – Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2018. – С. 136-140. – EDN XSWLZR.
4. Григорьев, Е. А. Сравнение функциональных возможностей и структуры фреймворков Django и Asp.net MVC, реализующих паттерн программирования MVC / Е. А. Григорьев // Форум молодых ученых. – 2018. – № 6-1(22). – С. 873-885. – EDN YMIKER.

## Секция 4. Современный автоматизированный электропривод и промышленная электроника

УДК 621.311, 621.331

### ПРИЧИНЫ И ВЛИЯНИЕ ИСКАЖЕНИЙ ПИТАЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕНТРАЛИЗАЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Стишенко К.П., Кипервассер М.В.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»  
г. Новокузнецк, Россия, stishenko3332@gmail.com; kipervasser2012@yandex.ru

*Аннотация.* Рассматривается проблема влияния несинусоидальности питающего напряжения устройств электрической централизации железных дорог на надежность ее работы; осуществляется анализ формы кривой и гармонического спектра питающего напряжения, причин появления гармонических искажений и способы борьбы с ними.

*Ключевые слова:* гармонические искажения, электрическая централизация, нетяговые потребители, микропроцессорные элементы, выпрямительный преобразователь, активный фильтр гармоник, коэффициент несинусоидальности.

*Abstract.* The problem of influence of non-sinusoidal supply voltage of railway interlocking devices on reliability of their operation is considered; the form of a curve and a harmonic spectrum of supply voltage, the reasons for the appearance of harmonic distortions and the ways to combat them are analysed.

*Keywords:* harmonic distortion, electrical centralisation, non-traction consumers, microprocessor elements, rectifier converter, active harmonic filter, non-sinusoidal coefficient.

Устройства электрической централизации (ЭЦ) на железнодорожном транспорте обеспечивает дистанционное управление и контроль устройств телемеханики и автоматики с целью обеспечения требований безопасности движения и установленной пропускной способности [1]. На сегодняшний день внедряются технические системы ЭЦ, основанные на использовании микропроцессорных устройств, взамен систем построенных на аналоговых элементах. Данные мероприятия повышают надежность функционирования системы централизации, ее компактность, удобство использования обслуживающим персоналом, но повышают требования к качеству электроснабжения, ввиду высокой чувствительности микропроцессорных элементов к различным перенапряжениям и искажениям в кривой питающего напряжения. Обеспечение надежного электроснабжения устройств ЭЦ, с учетом их важности в процессе безопасного движения поездов, осуществляется в соответствии с требованиями к электроснабжению потребителей электрической энергии первой категории [1-3].

В ходе эксплуатации поста электрической централизации железнодорожной станции «Бардино» возникла проблема ложного срабатывания реле контроля напряжения, срабатывающего в нормальном режиме при нарушении чередования фаз, с последующем отключением устройств микропроцессорной автоматики при переводе питания поста ЭЦ с фидера тяговой подстанции «Ерунаково» на фидер тяговой подстанции «Полосухино» (рисунок 1).

Для выяснения причин некорректной работы было выполнено исследование показателей качества питающего напряжения на соответствие требованиям нормативных документов [4]. Для этого на шинах 0,4 кВ поста ЭЦ был установлен анализатор электрической энергии FLUKE-434.

Фиксация токов и напряжений осуществлялась в два этапа. Первый этап предполагал фиксацию формы кривой питающего напряжения приходящего с фидера Ф1 «Полосухино», при условии отсутствия тяговой нагрузки на 12-ти пульсовом выпрямительном полупроводниковом преобразовательном агрегате подстанции. Результаты приведены на

рисунке 2. На втором этапе фиксация осциллограммы питающего напряжения производилась при наличии тяговой нагрузки на преобразователе подстанции «Полосухино». Результаты приведены на рисунке 3.

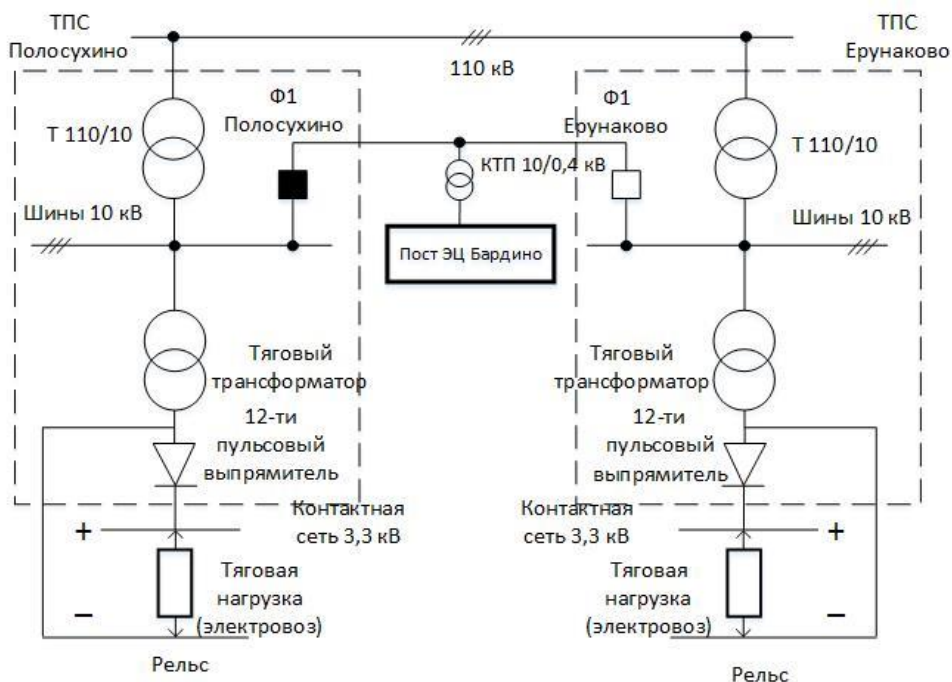


Рисунок 1 – Схема питания поста ЭЦ станции «Бардино»

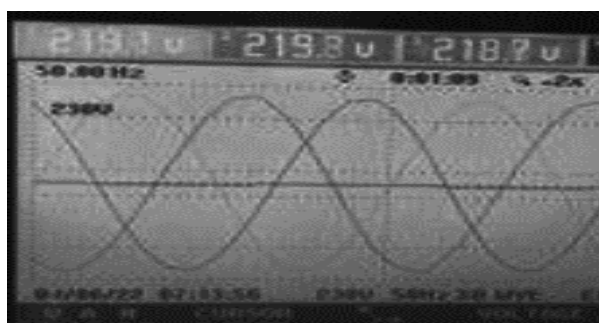


Рисунок 2 – Осциллограмма питающего напряжения при отсутствии тяговой нагрузки

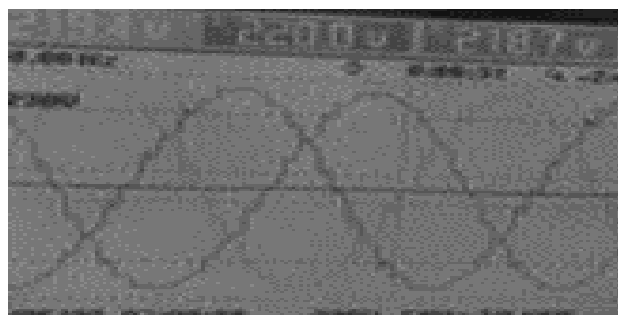


Рисунок 3 – Осциллограмма питающего напряжения при наличии тяговой нагрузки

Также была получена диаграмма спектра гармоник питающего напряжения при наличии тяговой нагрузки, приведенная на рисунке 4.

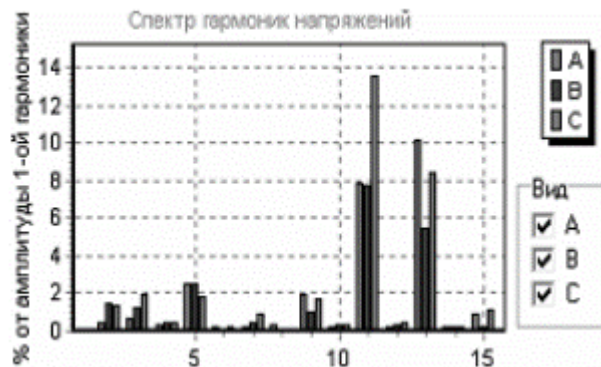


Рисунок 4 – Спектр гармоник питающего напряжения

Результаты измерений показателей качества электрической энергии, позволяют сделать вывод о том, что причиной некорректной работы реле контроля напряжения являются искажения вызванные наличием 11-ой и 13-ой гармоник в кривой питающего напряжения, амплитуды которых превышают допустимые значения.

Таким образом, ставится проблема определения первопричины появления гармонических искажений и поиска борьбы с ними. Получаемое при преобразовании переменного тока выпрямленное напряжение является пульсирующим и содержит, помимо постоянной составляющей, гармоники, имеющие различные частоту и величину. Гармоники в составе выпрямленного напряжения определяют протекание по контактной сети переменных токов различной частоты, создавая в окружающем пространстве переменное магнитное поле, а разность напряжений между контактным проводом и землей (рельсами) - переменное электрическое поле. Таким образом, тяговая сеть постоянного тока является источником электромагнитных полей, оказывающих влияние на смежные устройства (линии связи, автоматики, телемеханики и др.), проходящие вдоль трассы электрической железной дороги [5]. Кроме того, полупроводниковый преобразователь является источником высших гармонических составляющих в питающую сеть переменного тока, что оказывает влияние на качество электрической энергии в сетях общего пользования и линиях электроснабжения нетяговых потребителей железных дорог, к которым относится электрооборудование постов ЭЦ [6].

Качество электрической энергии на стороне питающего выпрямитель переменного напряжения принято характеризовать содержанием высших гармонических составляющих и коэффициентом мощности. Известно, что при разложении кривой первичного тока в ряд Фурье, в ней будут отсутствовать постоянная и косинусная составляющие, а в синусной составляющей имеются только нечетные гармонические составляющие. Учитывая, что в числе потребителей общей сети электроснабжения электрифицированных железных присутствуют полупроводниковые преобразователи тяговых подстанций, имеющие как 6-ти пульсовую, так и 12-ти пульсовую схемы соединения, принимается, что в составе питающего первичного тока будут присутствовать высшие гармоники следующих порядков [7]:

$$n_1 = pm \pm 1, \quad (1)$$

где  $p=1,2,3\dots$  – натуральный ряд целых чисел;

$m$  – число пульсаций выпрямленного напряжения, принимаем  $m=6$ .

Соответственно значения  $n = 5,7,11,13\dots$ , а частоты гармонических составляющих  $f_n = 250, 350, 550, 650$  Гц .....

Доля гармоники от основной определяется ее порядковым номером, то есть

$$\frac{I_{1(n_1)}}{I_{1(1)}} = \frac{1}{n_1}, \quad (2)$$

где  $I_{1(n_1)}$  – действующее значение  $n_1$  гармоники в кривой первичного тока;  
 $I_{1(1)}$  – действующее значение тока первой гармоники (50 Гц).

Характеристику качества формы кривой тока принято давать через коэффициент несинусоидальности (коэффициент искажения тока)

$$\nu = \frac{I_{1(1)}}{I_1}, \quad (3)$$

где  $I_1 = \sqrt{I_{1(1)}^2 + \sum_{n_1 > 2} I_{1(n_1)}^2}$  – действующее значение полного тока

Питающее напряжения в точке присоединения тягового трансформатора имеет искажения обусловленные коммутацией вентилей преобразователя, так как в период времени коммутации происходит междуфазное короткое замыкание, то питающее напряжение преобразователя определяется отношением индуктивностей питающей сети и тягового трансформатора. Таким образом, чем меньше индуктивное сопротивление сети, тем менее выражено искажение кривой питающего напряжения. Спектр гармоник питающего напряжения повторяет спектр гармоник питающего тока. Аналогично происходит расчет коэффициента искажения напряжения [7].

Коэффициент мощности определяется как

$$\chi = \frac{P_1}{S_1}, \quad (4)$$

где  $P_1$  – активная мощность, потребляемая выпрямителем;

$S_1$  – полная мощность, потребляемая выпрямителем.

Тогда

$$\chi = \frac{3U_1 I_{1(1)} \cos \varphi_1}{3U_1 I_1} = \nu \cos \varphi_1, \quad (5)$$

где  $\varphi_1 = \frac{\gamma}{2}$  – угол сдвига первой гармоники тока относительно кривой напряжения;

$\gamma$  – угол коммутации, зависящий от характеристик выбранной схемы выпрямителя.

Таким образом, коэффициент мощности, а следовательно и качественные показатели сетевого напряжения, растут с увеличением числа пульсаций выпрямленного напряжения. В то же время, наличие потребителей выполненных в виде 6-ти пульсовых схем выпрямления в общих сетях электроснабжения ухудшает качественные энергетические показатели смежных 12-ти пульсовых выпрямительных агрегатов и, соответственно, всей системы электроснабжения в целом, в частности качества питающего напряжения нетяговых потребителей получающих электропитание от фидеров тяговой подстанции.

Исходя из рассмотренных экспериментальных данных и теоретических обоснований можно сделать вывод о том, что на качество питающего напряжения электрооборудования поста ЭЦ, оказывают влияние конфигурации используемых схем выпрямления как на питающей тяговой подстанции, так и на соседних подстанциях, питающихся от общей электрической сети. Решением этой проблемы может стать перевод всех тяговых подстанций на 12-ти пульсовые схемы выпрямления, применение устройств параллельной компенсации, фильтрокомпенсирующих устройств искусственной компенсации. Указанные методы сопряжены со значительными капитальными затратами, в связи с чем, в данном рассмотренном случае, предлагается установка активного фильтра гармоник на

шины питающего напряжения 0,4 кВ поста ЭЦ, ввиду относительно низкой стоимости и большого выбора предложений в зависимости от конкретных условий использования.

### Библиографический список

1. Инструкция по техническому обслуживанию и ремонту устройств электроснабжения сигнализации, централизации, блокировки и связи на федеральном железнодорожном транспорте ЦЭ-881 (утв. Министерством путей сообщения РФ 14 марта 2002 г.)
2. ПУЭ. Правила устройства электроустановок. Издание 7. 2003 г.
3. Расчёт параметров схемы замещения трансформаторов с расщеплённой обмоткой с учётом устройства регулирования напряжения под нагрузкой в обмотке высшего напряжения. Герасимук А.В., Семькина И. Ю., Кипервассер М.В. Горное оборудование и электромеханика. 2019. № 2 (142). С. 52-59.
4. ГОСТ 32144–2013. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения/Издание официальное. Москва, 2014
5. Сглаживающие фильтры тяговых подстанций постоянного тока: Учебное пособие/ Т.В. Ковалева, М.Г. Шалимов. Омск: ОмГУПС., 1999г.-52с.
6. Двенадцатипульсовые полупроводниковые выпрямители тяговых подстанций / [Б. С. Барковский, В. П. Маценко, М. Г. Шалимов и др.]; Под ред. М. Г. Шалимова. - М. : Транспорт, 1990. - 126,[1] с. : ил.; 22 см.; ISBN 5-277-00958-2 : 40 к.
7. Бурков А.Т. Электронная техника и преобразователи: Учебник для вузов железнодорожного транспорта – М.:Транспорт, 1999.- 464с.

УДК 004.896

## УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕГУЛЯТОРА НА НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКЕ

Федоров В.В.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»  
г. Новокузнецк, Россия, fedorov.94@yandex.ru

**Аннотация.** В данной статье демонстрируется преимущество применения нечеткого логического регулятора скорости электропривода постоянного тока по сравнению с классическим методом ПИД регулирования. Моделирование нечеткой системы регулирования осуществляется в среде MATLAB. Сравнивается и исследуется производительность разработанного нечеткого регулятора и ПИД регулирования. Результат показывает, что подход с нечеткой логикой имеет минимальные параметры переходного и установившегося режимов, что подтверждает его большую эффективность.

**Ключевые слова:** регулятор нечеткой логики, ПИД-регулятор, Matlab, двигатель постоянного тока, система нечеткого вывода.

**Abstract.** This paper demonstrate the advantages of using a fuzzy logic speed controller of a DC electric drive in comparison with method of PID control. Modeling of a fuzzy control system is performed using MATLAB environment. The performance of the developed fuzzy controller and the classical PID controller is compared and investigated. The result shows that the fuzzy logic approach has minimal parameters of transient and steady-state modes, which confirms its effectiveness.

**Keywords:** fuzzy logic controller, PID controller, Matlab, Simulink, DC motor.

### Введение

Новым витком развития современных систем автоматического управления (САУ) становится использование интеллектуальных систем управления, которые объединяют в себе точность классических методов и гибкость в управлении сложными промышленными объектами. Классические методы управления, такие как ПИД-регуляторы, не дают качественных результатов в переходных процессах при наличии в управляемой системе нелинейностей, внешних возмущений и иных стохастических явлений. В условиях нестационарности, сложности, наличия помех и погрешностей при измерении технологических

переменных промышленных объектов требуется разработка математических моделей и алгоритмов управления, нечувствительных к данным условиям, а также способным гибко и быстро подстраиваться к изменениям входных данных для поддержания требуемой точности и показателей качества регулирования. Свойствами, необходимыми для решения данных задач, обладают нечеткие регуляторы, которые способны адаптироваться к изменяющимся внешним условиям.

Целью данной работы является разработка модели нечеткого регулятора скорости двигателя постоянного тока, а также проведение сравнительного анализа переходных режимов в нечетком и ПИД регуляторах скорости. Нечеткие регуляторы могут рассматриваться как гибкие и понятные математические структуры, описывающие некоторые формальные физические связи в процессе и определяющие числовые значения управляющих переменных [1]. Наиболее часто используемым регулятором скорости электроприводов постоянного тока являются ПИД регуляторы, для которых требуется математическая модель системы. Регуляторы на нечеткой логике является современной альтернативой классическим, поскольку они могут охватывать гораздо более широкий диапазон рабочих условий и могут работать с шумом и помехами различной природы.

### 1. Моделирование ПИД регулятора скорости двигателя постоянного тока независимого возбуждения

Понятие «регулирование скорости» означает преднамеренное изменение скорости, которое осуществляется автоматически с помощью регулятора. Используя уравнения, описывающие машину постоянного тока независимого возбуждения (ДПТ НВ), рассчитаем передаточную функцию двигателя и построим структурную схему управления.

Таблица 1 – Параметры ДПТ НВ

Наименование параметра	Значение параметра
Номинальное напряжение двигателя ( $U_d$ ), В	220
Номинальный ток двигателя ( $I_n$ ), А	111
Сопротивления якоря двигателя ( $R_я$ ), Ом	0,5
Индуктивность якоря двигателя ( $L_я$ ), Гн	0,02
Момент инерции двигателя ( $J$ ), кг•м <sup>2</sup>	0,1
Номинальная скорость вращения ( $n_n$ ), об/мин	2800
Номинальная мощность двигателя ( $P_n$ ), кВт	21

Из уравнения электромеханической характеристики ДПТ НВ ток якоря равен:

$$i_я = (U_я - E) \frac{1/R_я}{(1+T_аp)}, \text{ где } T_а = \frac{L_я}{R_я}. \quad (1)$$

ЭДС двигателя постоянного тока пропорционален скорости  $\omega$ :

$$E = k\Phi\omega, \quad (2)$$

где  $k\Phi$  это произведение конструктивной постоянной на поток. Произведение  $k\Phi$  также можно получить, используя выражения электромеханической постоянной двигателя и уравнения движения одномассовой механической части:

$$T_м = J \frac{R_я}{(k\Phi)^2}, \quad (3)$$

$$k\Phi(i_я - I_c) = J \frac{d\omega}{dt}. \quad (4)$$

Отсюда выразим ЭДС двигателя через ток якоря:



$$E = \frac{R_{я}}{T_{я}p} (i_{я} - I_{с}). \quad (5)$$

Структурная схема полученного ДПТ НВ представлена на рисунке 1:

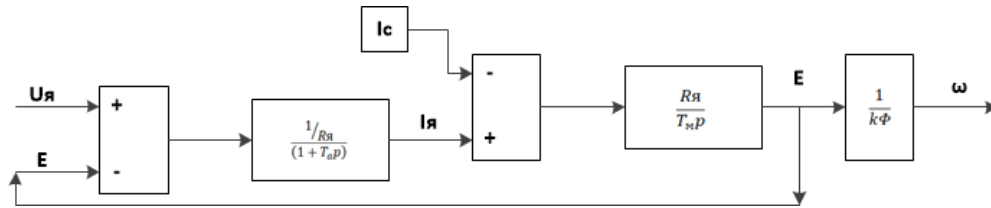


Рисунок 1 – Структурная схема ДПТ НВ

Преобразовав полученную модель к виду передаточной функции ДПТ НВ, используя оператор Лапласа, получим:

$$W_{\text{ДПТ}}(p) = \frac{k\Phi}{JL_{я}p^2 + JR_{я}p + (k\Phi)^2}. \quad (6)$$

Используя данные в таблице 1 характеристики ДПТ и формулу расчета значения произведения конструктивной постоянной на поток:

$$k\Phi = \frac{U_{н} - R_{я}I_{н}}{\frac{2\pi}{60}n_{н}}, \quad (7)$$

получим следующее числовое выражение передаточной функции ДПТ:

$$W_{\text{ДПТ}}(p) = \frac{0,56}{0,002p^2 + 0,05p + 0,314}. \quad (8)$$

Структурная схема полученной модели примет следующий вид:

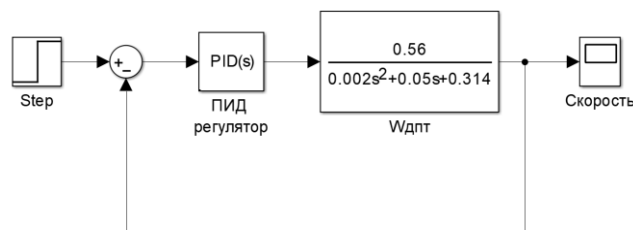


Рисунок 2 – Simulink модель схемы ПИД регулятора скорости ДПТ НВ

## 2. Моделирование нечеткого логического регулятора скорости ДПТ НВ

Для оценки преимуществ и недостатков систем с нечеткими регуляторами простом систему регулирования скорости двигателя постоянного тока независимого возбуждения, для которого выше был рассчитан классический ПИД регулятор.

В основе построения модели на нечеткой логике лежит построение системы правил, которые выражаются лингвистическими командами «Если...то», которые также называются экспертными оценками. Процедура, при которой переменные входных данных преобразуются в данные лингвистические, называется фаззификацией. Таким образом, каждой входной переменной присваивается степень принадлежности заданным нечетким множествам, определенным на диапазоне изменения входных переменных. Для создания нечеткого регулятора ДПТ НВ за входные данные принимаются ошибка по скорости и ускорение, то есть скорость изменения ошибки по скорости. Ошибка по скорости

вычисляется как разность заданной скорости и скорости фактической, а ускорение как производная полученной ошибки по времени.

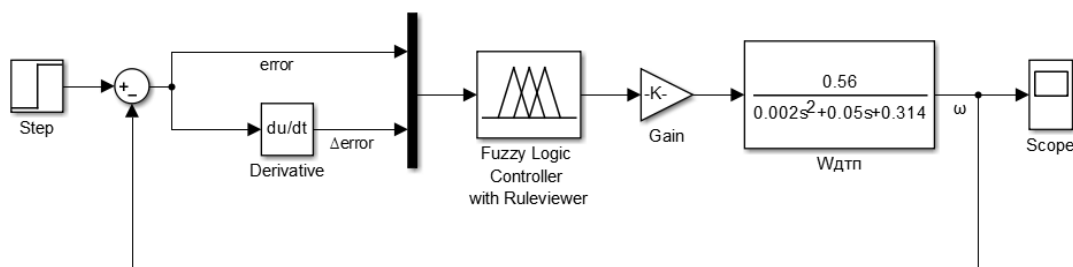


Рисунок 3 – Simulink модель схемы регулятора скорости ДПТ НВ на нечеткой логике

В программном пакете Matlab операция фаззификации производится выбором диапазона изменения входных переменных и задания данному диапазону функции принадлежности, характеризующей входные нечеткие множества. Для этого в Fuzzy logic toolbox происходит выбор и настройка параметров функции принадлежности. В данной работе выбрана треугольная функция принадлежности, характеризующаяся простотой реализации и малым количеством настраиваемых параметров. Диапазоны изменения параметров определяются из допустимых данных: ошибка по скорости определяется исходя из номинальной скорости задания, ускорение исходя из допустимого ускорения, а диапазон изменения выходной координаты, управляющей работой ДПТ из величины максимального напряжения задания.

Следующим этапом в структуре нечеткой модели служит нечеткий вывод, в котором преобразованным в лингвистические данные входным переменным определяется лингвистическое выходное значение по заданным правилам (экспертным оценкам). Данная процедура основывается на композиционном правиле вывода, предложенном Л.Заде в работе [2]. Правила представляются в формате «Если X, тогда Y», то есть существует условие и вывод из него.

Для создания базы правил нечеткого регулятора ДПТ НВ необходимо рассмотреть поведение системы в режиме пуска двигателя [3]. В начальный момент времени ошибка по скорости и ускорению велики, следовательно, необходимо задать большее напряжение на ДПТ. При приближении скорости к заданной, необходимо уменьшить задающее напряжение. Полученные правила показаны в таблице 2:

Таблица 2 – Свод правил нечеткого регулятора ДПТ НВ

error/Δerror	Δerror_low	Δerror_medium	Δerror_high
error_low	ΔU_low	ΔU_medium	ΔU_medium
error_medium	ΔU_low	ΔU_medium	ΔU_high
error_high	ΔU_medium	ΔU_medium	ΔU_high

Для вывода с регулятора управляющего воздействия необходимо провести дефаззификацию полученных нечетких выводов, то есть провести преобразование лингвистического значения выхода в значение действительное. Существует несколько методов дефаззификации для нечеткой модели Мамдани, наиболее точным из которых является метод центра тяжести (центроидный).

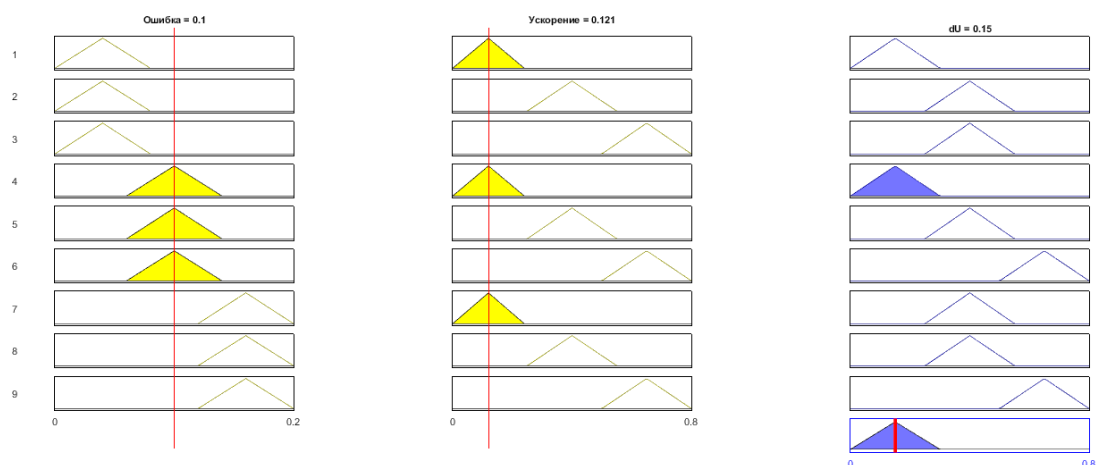


Рисунок 4 – Анализ значений входных и выходных параметров в Matlab

### 3. Моделирование нечеткого и ПИД регуляторов в среде Simulink

В качестве примера работы моделей регуляторов скорости ДПТ НВ исследовались переходные функции полученных регуляторов. Параметры ПИД регулятора настраиваются в Simulink с использованием PID tuner.

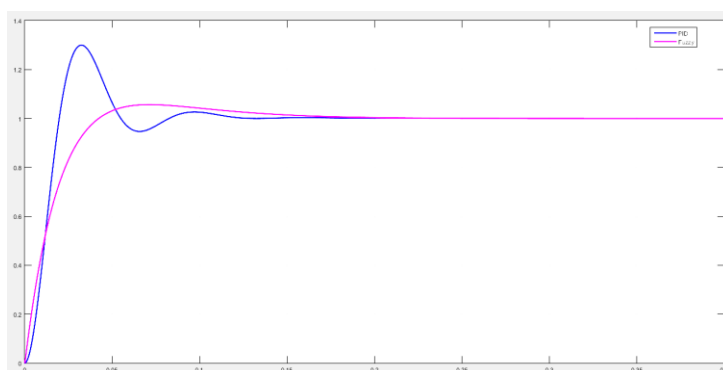


Рисунок 5 – Переходные функции системы на нечетком (розовый) и ПИД (синий) регуляторах

Из полученных переходных функций видно, что перерегулирование на нечетком регуляторе значительно меньше, чем на ПИД-регуляторе. Сравнение значений переходных функций показано в таблице 3:

Таблица 3 – Сравнение параметров переходных функций регуляторов

Параметры переходной функции	ПИД регулятор	Нечеткий регулятор
Пиковое значение, рад/с	1.3	1.06
Время переходного процесса, с	0.121	0.206
Время достижения максимума, с	0.0326	0.065
Перерегулирование, %	30	6

### 4. Заключение

В данной работе приводится сравнение работы моделей нечеткого логического и ПИД регуляторов скорости двигателя постоянного тока независимого возбуждения. Модели построены с помощью программного пакета Matlab/Simulink. Результаты показыва-

ют, что при неизменных параметрах объекта регулирования, система с нечетким логическим регулятором имеет лучшие динамические показатели. Однако интервал времени переходного процесса у системы с нечетким регулятором больше почти в два раза. Вид переходного процесса нечеткого регулятора более предпочтителен, поскольку перерегулирование гораздо меньше, чем у ПИД-регулятора.

### Библиографический список

1. Ю.И.Кудинов, А.Ю.Келина, И.Ю.Кудинов, А.Ф.Пащенко, Ф.Ф.Пащенко, Нечеткие модели и системы управления / Под ред. Ф.Ф.Пащенко, М: ЛЕНАНД, 2017. – 328с.
2. Zadeh L. A., Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes, IEEE Transactions Systems, Man and Cybernetics, SMC-3, 1973, pp. 28-44
3. Ю.М.Фролов. Управление электроприводом с применением нечеткой логики: учебное пособие для вузов / Ю.М.Фролов, Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 108с.

УДК 621.3.078.4

## ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННОГО МНОГОДВИГАТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА КАНТОВАНИЯ УГОЛЬНОГО ВАГОНОПРОКИДЫВАТЕЛЯ «ВРС-93-110М»

Клевцов С.А., Модзелевский Д.Е.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»  
г. Новокузнецк, Россия, klevtsov1999@mail.ru, dima010@mail.ru

**Аннотация.** В статье разработана система векторного управления однодвигательного и многодвигательного электропривода. Выбраны и исследованы пути симметрирования нагрузок многодвигательной системы управления. Произведена оптимизация системы векторного управления для работы электропривода в режиме «Ведущий-ведомый». Построены переходные процессы частоты вращения, токов и электромагнитных моментов. Дана оценка работы системы многодвигательного электропривода при пуске, торможении, выходе в номинальный режим работы.

**Ключевые слова:** угольный вагонопрокидыватель, многодвигательный электропривод, однодвигательный электропривод, электропривод, система векторного управления, модель, переходный процесс.

**Abstract.** The article develops a vector control system for single-motor and multi-motor electric drives. The ways of solving the uneven loads of a multi-motor control system are selected and investigated. The vector control system has been optimized for the operation of the electric drive in the «Master-slave» mode. Transients of rotational speed, currents and electromagnetic moments are constructed. The evaluation of the operation of the multi-motor electric drive system during start-up, braking, and entering the nominal operating mode is given.

**Keywords:** wagon tipper coal, multi-motor electric drive, single-motor electric drive, electric drive, vector control system, model, transition process.

Современным вагонопрокидывателем роторного типа называется сложный механизм, предназначенный для разгрузки сыпучих материалов из открытых железнодорожных полувагонов.

Роторная конструкция представляет собой два ротора (кантователя) с люльками и общей платформой. Каждый ротор представляет собой металлоконструкцию, состоящую из двух дисков. Роторы вагонопрокидывателя вращаются двумя приводами, соединенными между собой трансмиссионным валом. На дисках ротора закреплены зубчатые сектора, находящиеся в зацеплении с шестернями, приводимыми во вращение электродвигателями через редукторы.

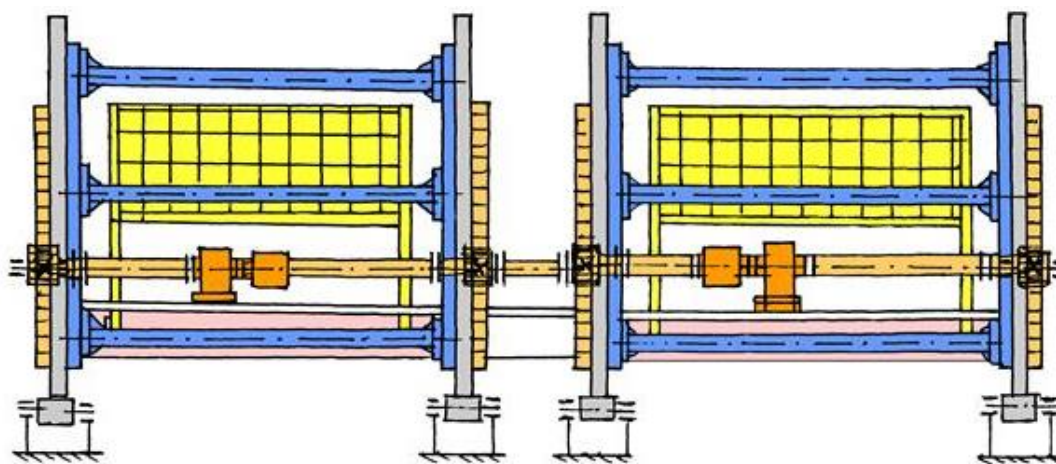


Рисунок 1 – Вагоноопрокидыватель роторного типа в поперечном разрезе

Данная конструкция роторного типа применяется в различных сферах производства. Система имеет ряд недостатков, способствующих увеличенному износу механизма кантования, уменьшению срока службы оборудования.

Во время цикла разгрузки полувагона на многодвигательную систему электропривода, зубчатые и шестеренные механизмы оказываются под различными нагрузками. Это связано с тем, что полувагоны имеют разную массу. В результате разности моментов система электропривода, работающая на общий вал, испытывает разные нагрузки, увеличивается вероятность «скручивания» конструкции вагоноопрокидывателя, заклинивание и выработка зубчатых и шестеренных механизмов. Один из электроприводов испытывает значительные перегрузки, что приводит к уменьшению срока эксплуатации, большим ударным нагрузкам на вал передающиеся на систему электропривода.

На рассматриваемом роторном вагоноопрокидывателе типа «ВРС-93-110М» используется нерегулируемый асинхронный электропривод 4МТН280-М10 с релейно-контакторной системой управления. Привод вращения роторной конструкции состоит из двух асинхронных электродвигателей с фазным ротором, мощностью 60 кВт каждый.

Система управления асинхронным многодвигательным электроприводом реализуема путем скалярного, либо векторного управления. Векторное управление асинхронными двигателями позволяет создавать регулируемые системы электропривода соответствующие необходимым требованиям по качеству регулирования, потому как скалярное управление обеспечивает только ограниченное регулирование скорости и момента асинхронного электродвигателя.

Значительные показатели статических и динамических характеристик достигаются при применении векторных систем управления. Разница векторного способа управления асинхронным электродвигателем заключается в том, что контролируется не только величина, но и пространственное положение векторов в определенный момент времени.

К основным преимуществам векторной системы управления относятся высокая точность регулирования скорости, быстрая реакция на изменение нагрузки, увеличенный диапазон управления и точность регулирования, плавность и быстрота управления основными параметрами электродвигателя. Чего лишена система скалярного управления.

Из всего вышесказанного можно поставить цель и ряд задач по исследованию электропривода.

Целью работы является исследование системы многодвигательного электропривода на каждом временном промежутке времени цикла работы вагоноопрокидывателя.

Основными задачами работы является разработка системы векторного управления электропривода позволяющая реализовать многодвигательный режим работы, исключая несимметричность загруженности системы электроприводов, произвести исследование

графиков переходных процессов нарастания скорости, моментов и токов статора системы.

Исследуем систему двухдвигательного электропривода угольного вагоноопрокидывателя, используя прикладной пакет Mat Lab Simulink.

Для проверки адекватности модели рассмотрим процесс работы асинхронного двигателя при запуске и выходе в номинальный режим работы. За основу взят крановый асинхронный короткозамкнутый двигатель серии МТКН 512-6 мощностью 55 кВт, работающий в повторно-кратковременном режиме.

Для исследования переходных процессов асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором была создана модель, имитирующая этот процесс в среде Mat Lab Simulink.

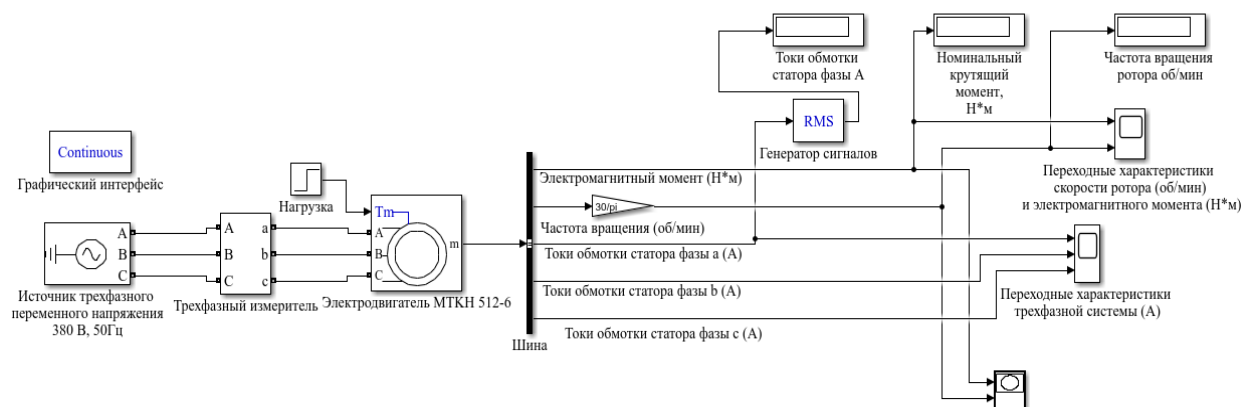


Рисунок 2 – Модель асинхронного электродвигателя МТКН 512-6

Для проверки адекватности модели на двигатель подаем нагрузку (механический крутящий момент) 568 Н·м. Результатом моделирования служат переходные характеристики электромагнитного момента, скорости и токов двигателя.

Осуществив имитацию запуска асинхронного электродвигателя, получаем следующие переходные характеристики электромагнитного момента и частоты вращения ротора.

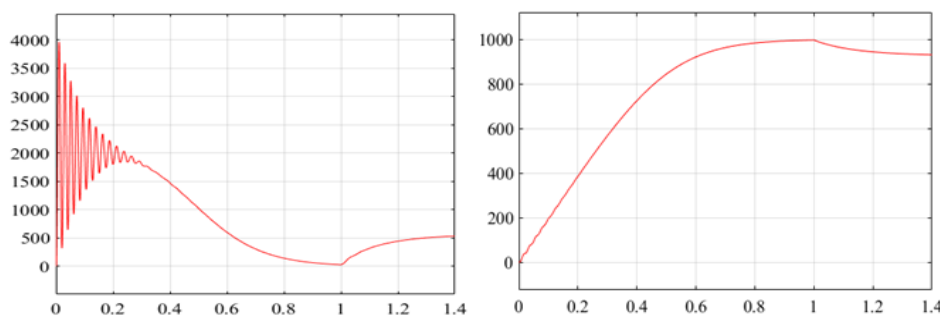


Рисунок 3 – График переходных процессов электромагнитного момента (Н·м) и частоты вращения ротора электродвигателя

Анализируя графики переходных процессов по рассчитанным и моделируемым параметрам электродвигателя можно сказать, что расчет параметров электродвигателя произведен, верно. На рисунке 3 видно, что двигатель разгоняется до номинальной скорости за 1 секунду со значительным перерегулированием и переходит в номинальный режим работы.

Рассчитаем значение перерегулирования по формуле:

$$\sigma = \frac{h_{\max} - h(\infty)}{h(\infty)} \cdot 100\% = \frac{996,9 - 925}{925} \cdot 100 = 7,77\%, \quad (1)$$

где  $h_{\max} = 996,9$  об/мин – максимальная амплитуда отклонения;  
 $h(\infty) = 925$  – установившееся (действительное) значение регулируемого параметра.

Значение перерегулирования не должно превышать  $\pm 5\%$  от  $h(\infty)$ .

На рисунке 3 на первом временном отрезке от 0 до 1 сек. в начальный момент времени двигатель разгоняется под нагрузкой 568 Н·м, электромагнитный момент двигателя носит колебательный характер с амплитудным значением 3966 Н·м, что приводит к ухудшению пусковых свойств двигателя и является недостатком.

При увеличении частоты вращения, колебания момента двигателя затухают, интенсивность роста частоты вращения возрастает. В момент времени от 1 до 1,4 сек. происходит наброс нагрузки 568 Н·м, частота вращения достигает номинального значения 925 об/мин.

Получаем установившиеся номинальные значения электромагнитного момента, частоты вращения двигателя.

Структурная схема электропривода с векторной системой управления представлена на рисунке 4.

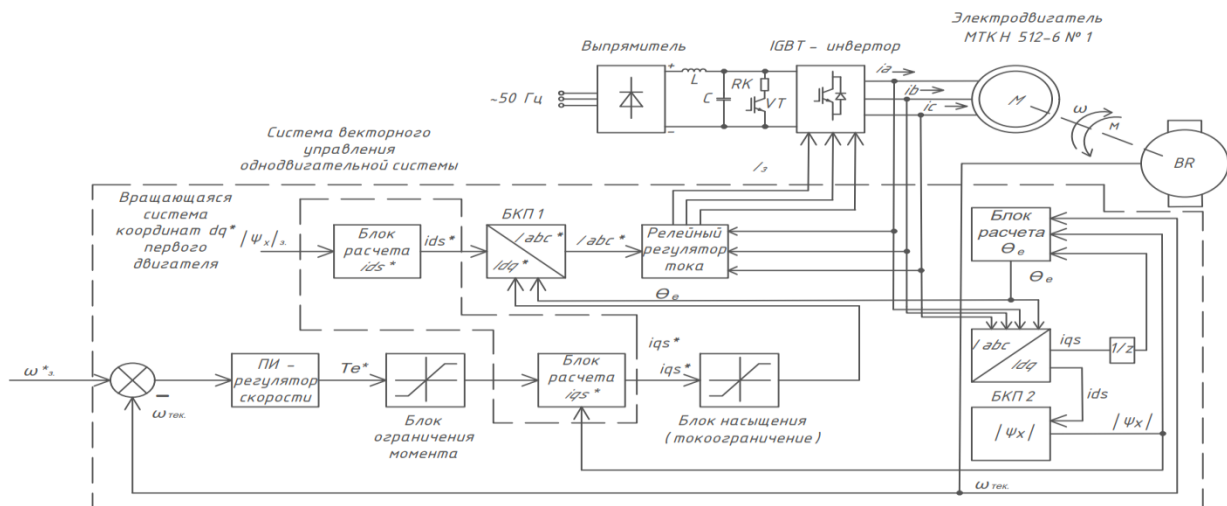


Рисунок 4 – Структурная схема системы управления электроприводом с векторным управлением

Построим систему векторного управления однодвигательным асинхронным электроприводом серии МТКН 512-6.

На рисунке 5 представлена схема векторного управления однодвигательной системы. Блок «Система векторного управления» отвечает за векторное управление асинхронного двигателя, в нем настраивается регулятор скорости с помощью коэффициента усиления, интегральная составляющая и токоограничение. Также идет преобразование токов из координат  $I_q$  и  $I_d$ , в токи  $I_{abc}$ .

Асинхронный двигатель питается от управляемого током IGBT-инвертора, который работает как трехфазный источник синусоидального тока. Источник питания имеет постоянное напряжение 660 В.

Блок векторного управления «Система векторного управления», представленный на рисунке 6, включает в себя: регулятор скорости, регулятор тока, блоки расчета токов и потока, угла положения и преобразователи координат.



Рисунок 5 – Имитационная модель системы векторного управления однодвигательного электропривода с короткозамкнутым ротором серии МТКН 512-6

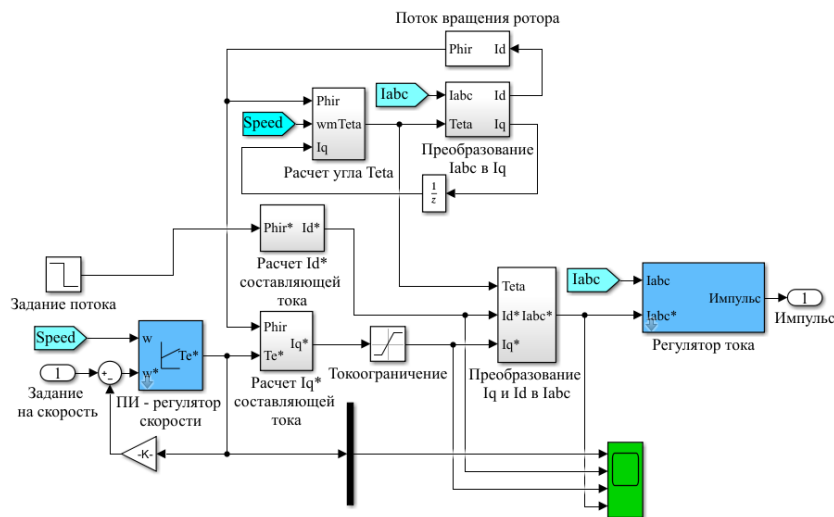


Рисунок 6 – Имитационная модель системы векторного управления однодвигательного электропривода с короткозамкнутым ротором серии МТКН 512-6

Результаты работы однодвигательной системы векторного управления электропривода приведены на рисунке 7.

На отрезке 0 – 0,5 с. происходит разгон электропривода, на рисунке 7 пусковой ток достигает амплитудного значения 800А. Происходит постепенное нарастание скорости.

На отрезке 0,5 – 1 с. по мере увеличения частоты вращения уменьшается амплитуда тока. Частота нарастает в два этапа, при достижении 725 об/мин за 0,8 с, далее переходит в номинальный режим.

На отрезке 1 – 2 с. происходит второй этап нарастания скорости при достижении 925 об/мин – номинальная частота работы двигателя. В 2 с. происходит нарастание нагрузки 568 Н·м, и привод переходит в рабочий режим.

Рассчитаем значение перерегулирования при скорости 725 об/мин по формуле:

$$\sigma = \frac{h_{\max} - h(\infty)}{h(\infty)} \cdot 100\% = \frac{745,8 - 725}{725} \cdot 100 = 2,9 \%, \quad (2)$$

где  $h_{\max} = 745,8$  – максимальная амплитуда отклонения;  
 $h(\infty) = 725$  – установившееся (действительное) значение регулируемого параметра.



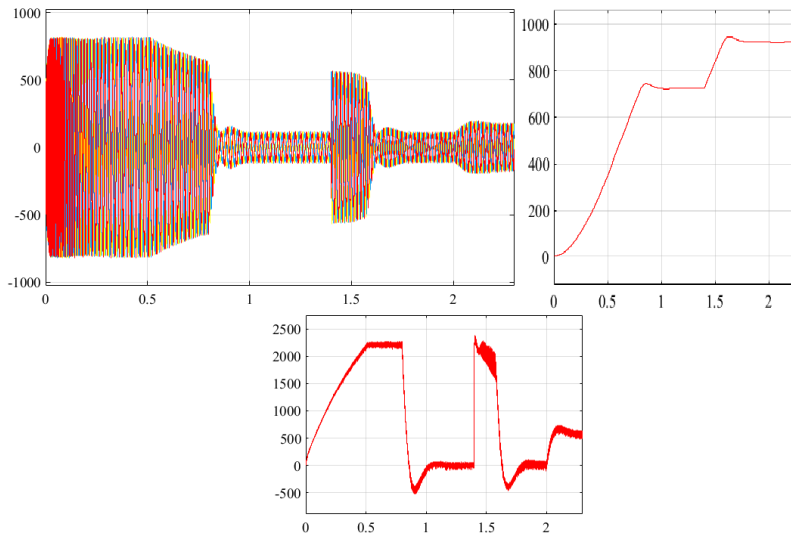


Рисунок 7 – График переходных процессов токов статора, частоты вращения ротора и электромагнитного момента электропривода

Рассчитаем значение перерегулирования при скорости 925 об/мин по формуле:

$$\sigma = \frac{h_{\max} - h(\infty)}{h(\infty)} \cdot 100\% = \frac{944,9 - 925}{925} \cdot 100 = 2,2 \%, \quad (3)$$

где  $h_{\max} = 944,9$  – максимальная амплитуда отклонения;  
 $h(\infty) = 925$  – установившееся (действительное) значение регулируемого параметра.

Анализируя данные переходные процессы можно сделать вывод, что запуск электропривода происходит плавно, перерегулирование в пределах нормы.

На рисунке 8 представлена модель двухдвигательного электропривода серии МТКН 512-6 с векторным способом управления и делением нагрузки методом «Ведущий-ведомый».

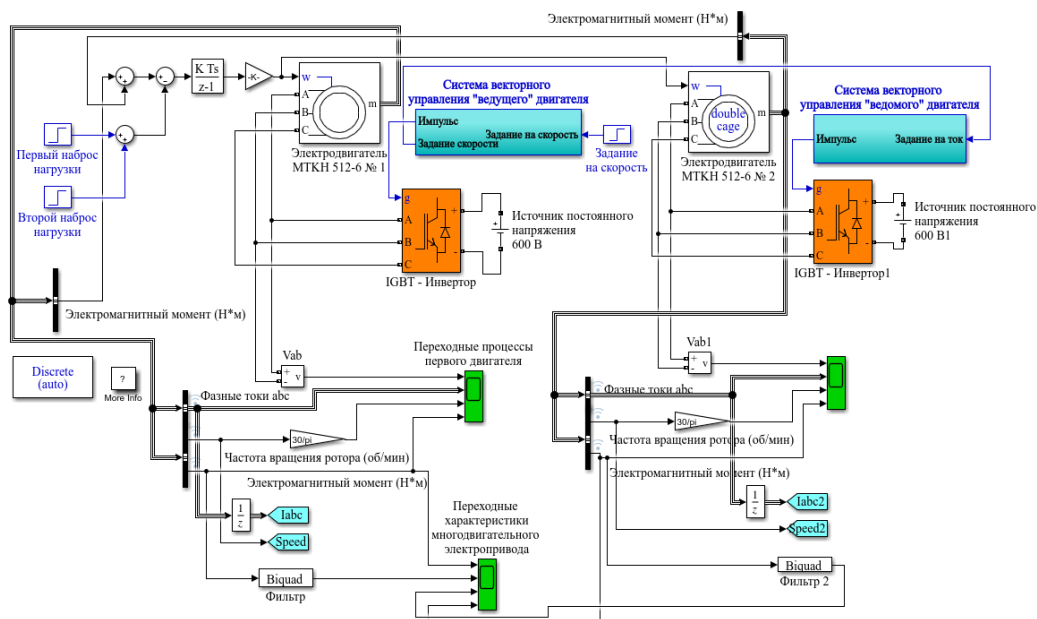


Рисунок 8 – Имитационная модель системы векторного управления многодвигательного электропривода с короткозамкнутым ротором серии МТКН 512-6

Модель реализована при помощи многодвигательного электропривода, каждый питается от источника постоянного напряжения 600 В через инвертор. Регулирование приводами происходит при помощи блока «Системы векторного управления «ведущего»/«ведомого» двигателя». Нагрузка на вал подается в два этапа. Симметрия нагрузок реализована методом «Ведущий-ведомый», путем введения в блок «Системы векторного управления «ведомого» двигателя» задания на скорость от первого.

На практике точно идеальных по параметрам электродвигателей невозможно изготовить. Требуется настройка системы управления каждого электропривода на симметрию.

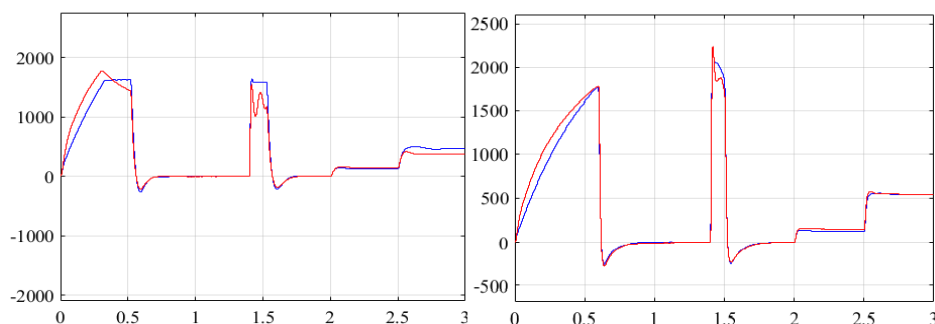


Рисунок 9 – Электромагнитный момент (Н·м) многодвигательного электропривода с различными параметрами сопротивлений в цепи ротора без выравнивания и с выравниванием нагрузки методом «Ведущий-ведомый»

На правом рисунке переходные процессы момента на всем протяжении одинаковые. Небольшое различие присутствует как раз из-за небольшой разницы в параметрах двигателей. Во время переходных процессов происходит наброс двух нагрузок, которые достигают своих номинальных значений при 268 и 568 Н·м.

При набросе нагрузок перерегулирование у обоих электродвигателей не превышает 5%.

Моменты выровнялись как в динамическом режиме, так и в статическом. Система электропривода работает устойчиво, без чрезмерных колебаний (<5%) при работе на один общий вал.

Исследованы механические и электромеханические характеристики электроприводов с разными параметрами активных и индуктивных сопротивлений, что имитирует разброс параметров реальных двигателей и можно сделать вывод, что их механические характеристики отличаются при одинаковой нагрузке.

В результате исследования проведена разработка системы управления двухдвигательного электропривода механизма кантования ротора угольного вагоноопрокидывателя серии «ВРС-93-110М» производства АО «ЕВРАЗ ЗСМК» КХП - УОЦ.

Принцип, реализуемый в данном исследовании настройки, позволяет обеспечить работу многодвигательного электропривода на общий вал с выравниванием нагрузки между ними. Предложенная схема регулируемого электропривода удовлетворяет техническим требованиям. За счет чего можно сказать, что проектируемый электропривод позволит произвести симметрирование нагрузок, повысить качество управления электроприводом, увеличить срок службы, надежность оборудования и механизмов.

#### Библиографический список

1. Металлургические подъемно-транспортные машины: [Учеб. для металлург. спец. вузов] / В. А. Кружков. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Металлургия, 1989. - 462 с.
2. Механическое оборудование фабрик для окускования железорудного сырья [Текст] / Э.В. Ловчиновский. - Москва: Металлургия, 1977. - 255 с.

3. Эксплуатация и ремонт электрических машин: Учеб. Пособие для спец. «Электромеханика» вузов/ М.В. Антонов, Н.А. Акимова, Н.Ф. Котеленец. – Москва: «Высшая школа» 1989. – 192 с.
4. Справочник по автоматизированному электроприводу / Под ред. В.А. Елисеева и А.В. Шинянского. – Москва: «Энергоатомиздат», 1983. – 616с.

УДК 621.314:621.311

## **ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ С ГРУППОЙ СОЕДИНЕНИЯ ОБМОТОК $Y/Y_n-0$ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ 0,4 КВ.**

**Бедарев М.А., Коновалов О.В., Кипервассер М.В.**

*ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»  
г. Новокузнецк, Россия, mbedarev@yandex.ru; tehconsultant@mail.ru;  
kipervasser2012@yandex.ru*

***Аннотация.** Рассматривается проблема асимметрии фазных напряжений в сетях 0,4 кВ при использовании силовых распределительных трансформаторов с группой соединения обмоток  $Y/Y_n-0$  при несимметричной нагрузке.*

***Ключевые слова:** трансформатор, несимметрия, группа соединения обмоток, сопротивление нулевой последовательности, регистрация параметров.*

***Abstract.** The problem of asymmetry of phase voltages in 0.4 kV networks is considered when using power distribution transformers with a  $Y/Y_n-0$  winding connection group with an asymmetric load.*

***Keywords:** transformer, unbalance, winding connection group, zero sequence resistance, parameter registration.*

Силовые распределительные трансформаторы с группой соединения обмоток  $Y/Y_n-0$ , нашедшие массовое применение с начала прошлого века по причине максимальной простоты и минимальной металлоемкости обмоток, в настоящее время по-прежнему используются в распределительных сетях 0,4 кВ.

Известно, что основными особенностями схемы  $Y/Y_n-0$ , вызывающими проблемы при эксплуатации в распределительных сетях 0,4 кВ, являются большое сопротивление нулевой последовательности и повышенные нагрузочные потери при несимметричной нагрузке [1-3]. Определение параметров трансформаторных мощностей, в том числе схем соединения обмоток, в системах электроснабжения разного уровня является одной из обязательных процедур при их проектировании [4,5]. Во внутреннем документе основного электросетевого оператора в России ПАО «Россети» предписано преимущественное использование силовых трансформаторов со схемой соединения обмоток  $\Delta/Y_n$  или  $Y/Z_n$ , а схема  $Y/Y_n$  является допустимой при наличии соответствующего обоснования [6].

В действующих в настоящее время ГОСТ 11677-85 [7] и ГОСТ Р 52719-2007 [8] предписаны все три вышеупомянутые схемы, но схема  $Y/Y_n-0$  стоит по очереди первой. В тоже время в ГОСТ Р 52719-2007 ток нулевого вывода обмотки НН ограничен 25% от номинального фазного тока.

Таким образом, в настоящее время государственными стандартами для распределительных силовых трансформаторов по-прежнему в качестве основной предписывается схема соединения обмоток  $Y/Y_n-0$ . При этом проблемы большого сопротивления нулевой последовательности и повышенных нагрузочных потерь при несимметричной нагрузке остаются нерешёнными.

С целью исследования вопросов, связанных с работой трансформаторов со схемой соединения обмоток  $Y/Y_n$ , питающих несимметричную нагрузку, был выполнен анализ работы трансформатора ТМГ-10/0,4 кВ мощностью 100 кВА производства ОАО «Алт-транс», установленном в комплектной трансформаторной подстанции (КТП). Для регистрации электрических параметров работы трансформатора использовался измеритель

показателей качества электрической энергии Ресурс UF-2М(А) (далее ИПКЭЭ). Точкой подключения было выбрано распределительное устройство (РУ) 0,4кВ КТП. Измерения проводились в зимний период. Основным потребителем являлось отопительное оборудование, состоящее из большого количества однофазных конвекторов 220 В мощностью от 0,5 до 2 кВт, однофазного электрического котла мощностью 9,45 кВт и трехфазного электрического котла мощностью 18 кВт 380/220 В. Нагреватели последнего подключены по схеме «треугольник» на линейное напряжение 380В. Электрические конвекторы и однофазный электрический котел были подключены к электросети таким образом, что их суммарная установленная мощность распределена по фазам максимально равномерно, но в процессе их работы неизбежно возникала асимметрия.

На объекте применена система заземления TN-C-S. Точки разделения совмещенных нулевых рабочих и защитных проводников PEN на проводники PE и N выполнены после главного вводного распределительного устройства (ВРУ). ИПКЭЭ был подключен в РУ-0,4кВ КТП по четырехпроводной схеме (рисунок 1).

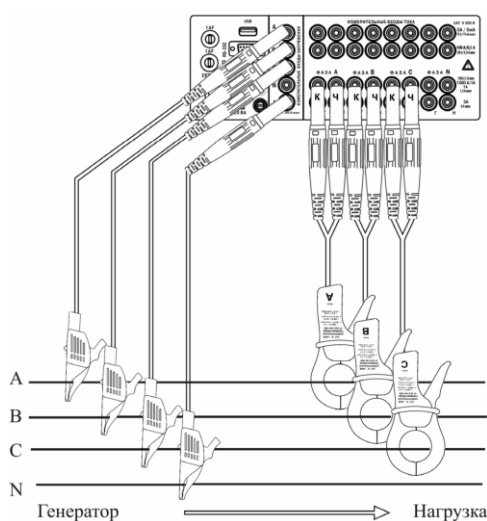


Рисунок 1 – Четырехпроводная схема подключения ИПКЭЭ

При такой схеме подключения ИПКЭЭ непосредственно измеряет и регистрирует среднеквадратические значения линейных напряжений, фазных напряжений относительно проводника PEN, и фазных токов. Так как в четырехпроводной схеме проводники PE и N объединены, ИПКЭЭ в этом режиме не измеряет и не регистрирует напряжение на нулевом проводнике.

Регистрация параметров проводилась в течение часа. Регистрировались перечисленные параметры при усреднении значений на интервале времени в одну минуту. В результате был получен массив данных, из которых в программе MS Excel построены графики отклонения фазных напряжений и графики фазных токов (рисунок 2), графики отклонения линейных напряжений и графики фазных токов (рисунок 3).

На графике отклонения фазных напряжений отчетливо наблюдаются значительные колебания напряжения, вызванные изменением тока нагрузки в фазе В. Отклонения напряжения в фазе С выходят за допустимые 10%, ввиду наименьшей нагрузки на этой фазе. В то же время отклонения напряжения в фазе А уменьшаются до значения 0%. На представленных графиках за номинальное напряжения принято значение 230 В, и при наиболее симметричной нагрузке (в начале графика) отклонение напряжения на шинах 0,4 кВ КТП составляло примерно 4,5%.

Повышенное напряжение на этом объекте было обусловлено высоким уровнем напряжения в линии 10 кВ, при этом переключатель напряжения на исследуемом трансформаторе находился в положении минус 5%.

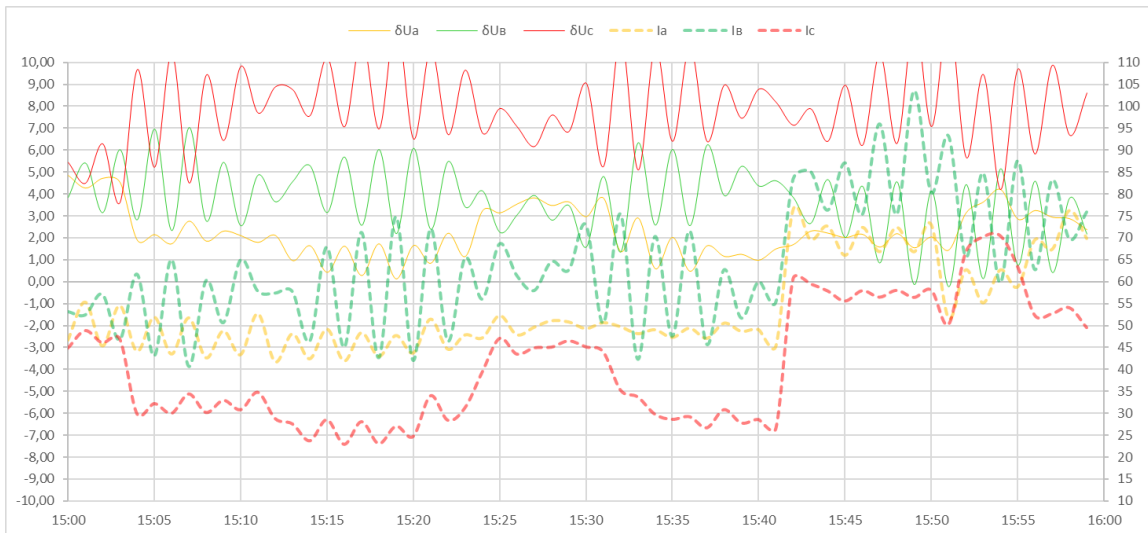


Рисунок 2 – Графики отклонения фазных напряжений и графики фазных токов

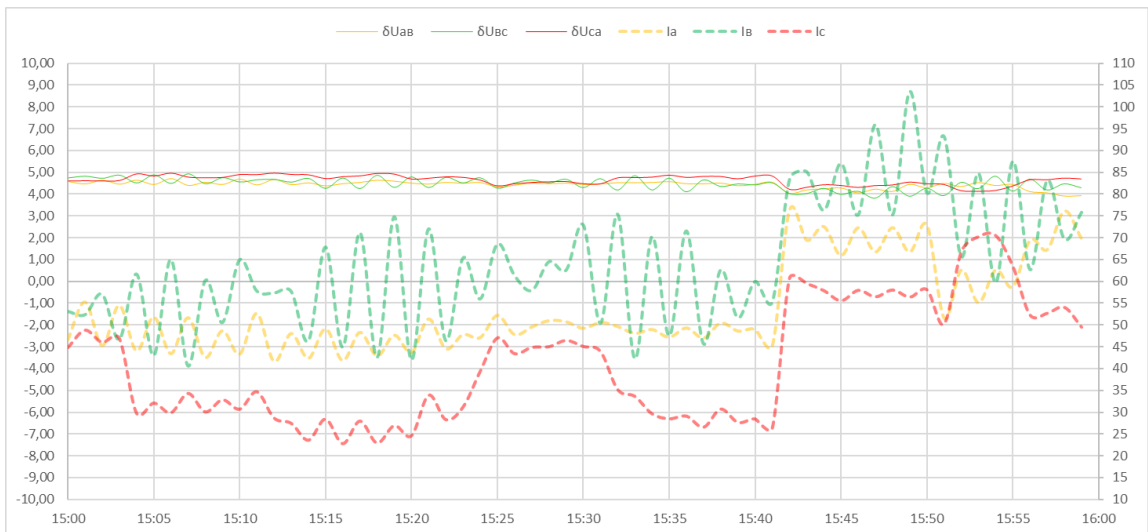


Рисунок 3 – Графики отклонения линейных напряжений и графики фазных токов

В отличие от фазных, отклонения линейных напряжений за весь период наблюдений находились в диапазоне от 4 до 5%, что обусловлено низким внутренним сопротивлением прямой последовательности исследуемого трансформатора.

График коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности так же построен в программе MS Excel (рисунок 4). Значения коэффициента несимметрии вычислены по формуле:

$$K_{0U} = \frac{\sqrt{3}U_0}{U_1} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $U_1$  - действующее значение междуфазного напряжения прямой последовательности, В;

$U_0$  - действующее значение напряжения нулевой последовательности трехфазной системы напряжений, В, которое вычисляется по формуле:

$$U_0 = \frac{1}{6} \sqrt{\left[ \frac{U_{BC}^2 - U_{CA}^2}{U_{AB}} - 3 \cdot \frac{U_B^2 - U_A^2}{U_{AB}} \right]^2 + \left[ \sqrt{4U_{BC}^2 - \left( U_{AB} - \frac{U_{BC}^2 - U_{CA}^2}{U_{AB}} \right)^2} - 3 \sqrt{4U_B^2 - \left( U_{AB} - \frac{U_B^2 - U_A^2}{U_{AB}} \right)^2} \right]^2}. \quad (2)$$

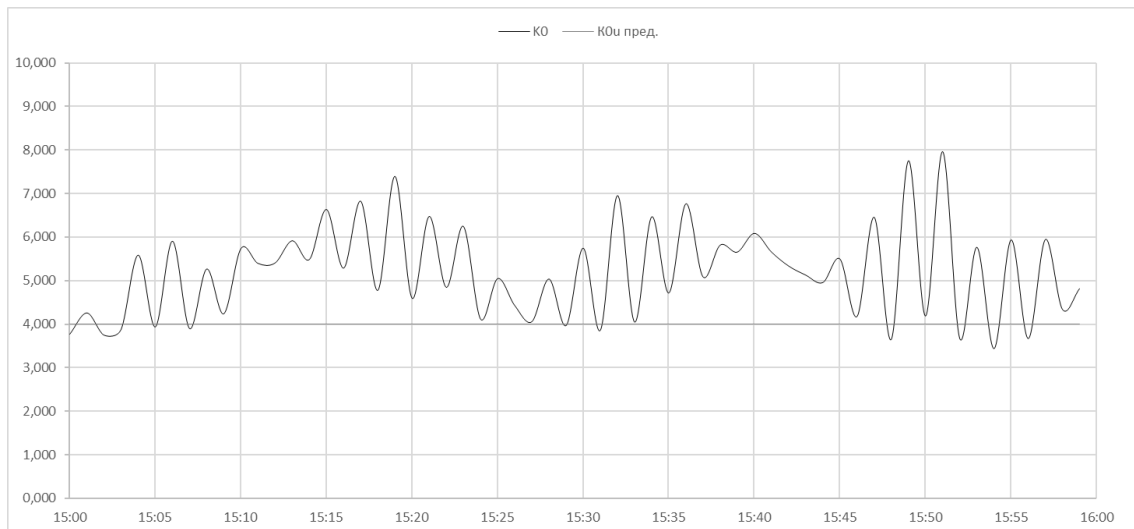


Рисунок 4 - График коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности,  $K_{0и\ пред.}$  - предельно допустимое значение коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности

Из графика видно, что коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности практически все время наблюдения превышает допустимое значение 4% и временами доходит до 8%.

По результатам проведенных исследований отчетливо прослеживается особенность работы трансформатора со схемой соединения обмоток  $Y/Y_n-0$  при резкопеременной асимметричной фазной нагрузке. Основные параметры качества электрической энергии выходят за допустимые значения. Это указывает, что применение трансформаторов со схемой соединения обмоток  $Y/Y_n-0$  в распределительных сетях приводит к проблемам с качеством электроэнергии. Особенно это касается трансформаторов небольшой мощности, питающих отдельные объекты, где небольшое количество относительно мощных однофазных потребителей случайным образом вызывают значительную асимметрию фазных токов, потребляемых от трехфазной системы. Ситуацию на рассматриваемом в примере объекте можно исправить, установив в КТП трансформатор со схемой соединения обмоток  $Y/Z_n-11$ , для которого значение сопротивления нулевой последовательности ниже, чем сопротивление прямой последовательности.

#### Библиографический список

1. Фишман В.С., Федоровская А.И. Силовые трансформаторы 6(10)/0,4 кВ. Области применения разных схем соединения обмоток [Электронный ресурс]. URL: <http://news.elteh.ru/arh/2006/41/09.php> (Дата обращения 01.11.2022).
2. Фишман В.С., Федоровская А.И. Силовые трансформаторы 6(10)/0,4 кВ. Особенности применения различных схем соединения обмоток [Электронный ресурс]. URL: <http://news.elteh.ru/arh/2009/60/07.php> (Дата обращения 01.11.2022).
3. Распределительные трансформаторы 6 (10) кВ. Проблема качества электрической энергии в сетях 0,4 кВ. Исследование несимметричной работы трансформаторов. Б.

- В. Борисов. Современные проблемы электроэнергетики. Алтай - 2013. Сборник статей I международной научно-технической конференции. С. 24-28.
4. Расчёт параметров схемы замещения трансформаторов с расщеплённой обмоткой с учётом устройства регулирования напряжения под нагрузкой в обмотке высшего напряжения. Герасимук А.В., Семькина И. Ю., Кипервассер М.В. Горное оборудование и электромеханика. 2019. № 2 (142). С. 52-59.
  5. Особенности расчёта токов трёхфазного короткого замыкания за мощным силовым трансформатором в сетях электроснабжения районов ведения горных работ. Герасимук А.В., Романова В.А., Кипервассер М.В. Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. 2022. № 8. С. 272-277.
  6. СТО 34.01-3.1-001-2016 Комплектные трансформаторные подстанции 6-20/0,4 кВ Общие технические требования. Стандарт организации ПАО «Россети». Дата введения: 07.04.2016
  7. ГОСТ 11677-85 Трансформаторы силовые. Общие технические условия.
  8. ГОСТ Р 52719-2007 Трансформаторы силовые. Общие технические условия.

УДК 624.154-8

## ВОПРОСЫ ВЫБОРА И ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА БУРОВЫХ УСТАНОВОК

Мезенцева А.В.

*Нижевартовский государственный университет  
г. Нижневартовск, Россия, mezentseva\_a@bk.ru*

**Аннотация.** Рассмотрены направления совершенствования эксплуатационных характеристик электрооборудования буровых установок на основе выбора и применения технических средств регулируемого электропривода, проанализированы факторы, обеспечивающие получение экономического эффекта при разработке и внедрении регулируемых систем электропривода на буровых установках.

**Ключевые слова:** регулируемый электропривод, буровая установка, тиристорные преобразователи, электрический двигатель, электрооборудование.

**Abstract.** The directions of improving the operational characteristics of electrical equipment of drilling rigs on the basis of the choice and application of technical means of an adjustable electric drive are considered, the factors ensuring the economic effect in the development and implementation of adjustable electric drive systems on drilling rigs are analyzed.

**Keywords:** adjustable electric drive, drilling rig, thyristor converters, electric motor, electrical equipment.

Научно-технический прогресс в нефтяной и газовой промышленности обусловлен широкой электрификацией производственных процессов, техническим уровнем нефтяной электроэнергетики, совершенствованием применяемых электроприводов. Основным направлением совершенствования привода главных механизмов буровых установок является применение регулируемого электрического привода (ЭП). Именно в этом направлении наблюдается развитие средств электропривода для многих промышленных механизмов, в том числе и для буровых установок.

Отличительной особенностью электромеханических комплексов новых буровых установок является широкая унификация технических решений, вследствие которой существенно сокращается номенклатура применяемого электрооборудования. В ряде случаев, на установках разных классов применяются одинаковые изделия, в других используются однотипные изделия, отличающиеся номинальными параметрами. При создании комплектных устройств управления, как правило, учитывают конкретные особенности разрабатываемой установки, унификация обеспечивается за счет использования одинаковой элементной базы [1].

Экономический эффект системы регулируемого электропривода буровой установки формируется в основном за счет повышения производительности исполнительных механизмов, улучшения использования электрической энергии, повышения надежности как самого электрооборудования, так и приводимых механизмов, сокращения эксплуатационных расходов, повышения эффективности технологического и облегчения трудового процессов. Как правило, для выявления экономического эффекта система электропривода должна рассматриваться в совокупности механизмов и металлоконструкций, составляющих буровую установку. Например, внедрение регулируемого в широком диапазоне электропривода несмотря на увеличение капитальных затрат и эксплуатационных расходов на электрооборудование эффективно сокращению массы и стоимости механического оборудования, так как исключается и упрощается передаточное устройство, облегчается металлоконструкция основания, повышается надежность, поскольку уменьшается износ цепей трансмиссии, талевого каната и т.п. при одновременном увеличении производительности на 15-20% основных технологических операций и снижении аварийности буровых работ [2].

Одной из важных задач при проектировании электротехнических систем и организации их эксплуатации является широкая унификация технических решений. Унификация применяемого электрооборудования позволяет сократить его номенклатуру и облегчить освоение промышленностью новых видов технических средств регулируемого ЭП, а также значительно улучшить эксплуатацию и техническое обслуживание электроустановок и создать оперативные резервы при комплектации буровых установок основными техническими средствами автоматизации.

К основным средствам электропривода буровых установок относятся:

– тиристорные преобразователи постоянного тока (ТП) – находят широкое применение как для питания электродвигателей постоянного тока, так и для возбуждения электрических машин. Сравнение данных эксплуатации буровых установок, на которых применяются ЭП по системе «тиристорный преобразователь-двигатель постоянного тока» (ТП-Д) показывает, что применение тиристорных преобразователей улучшает массогабаритные характеристики электрооборудования и значительно повышает эксплуатационную надежность электротехнического комплекса установок.

Вместе с тем необходимо учитывать, что ТП, предназначенные для буровых установок, должны иметь ряд схемных и конструктивных особенностей. Прежде всего на буровых установках, как правило мощность тиристорных преобразователей соизмерима с мощностью питающей электрической линии или с мощностью электростанции на автономных установках [3]. В связи с этим ТП должны иметь систему управления, способную работать при увеличении колебания напряжения, а также при повышении искажения формы напряжения – при коэффициенте несинусоидальности до 10% в длительных и до 15% в кратковременных режимах. С другой стороны, в случае необходимости уменьшения искажающего влияния ТП на питающую сеть и повышения коэффициента мощности должны применяться специальные фильтрокомпенсирующие устройства.

Помимо этого, на установках для бурения скважин необходимо применение ТП, способных работать в неотопляемых помещениях при значительных колебаниях температуры и влажности. Механические воздействия (вибрации, удары) также тяжелее, чем на стационарных объектах. Учитывая, что буровые установки работают в отдаленных районах и при отсутствии высококвалифицированного обслуживающего персонала, должны быть обеспечены высокая надежность ТП, развитая система диагностики и возможность ремонта ТП посредством простой замены блока;

– двигатели постоянного тока с тиристорным ЭП, применяемые на буровых установках – выполнены на базе серийных электродвигателей с некоторыми конструктивными доработками. Расширение областей применения регулируемого электропривода на буровых установках вызвало необходимость создания различных типоразмеров специальных двигателей серии 4П, в которых предусмотрены исполнения, предназначенные



специально для буровых установок. Применение их на установках с тиристорным электроприводом позволило доказать высокую эффективность использования регулируемого ЭП на установках глубокого бурения и достаточную надежность двигателей постоянного тока;

– асинхронные двигатели с тиристорным электроприводом, применяемые на буровых установках – разработаны по техническим требованиям, учитывающим особенности использования для главных приводов буровой установки. При создании серии электродвигателей АКБ улучшены энергетические показатели и массогабаритные размеры, повышены надежность и удобство обслуживания;

– высоковольтные комплектные распределительные устройства (КРУ) для вновь создаваемых буровых установок по своим схемам практически не отличаются от традиционно применяемых КРУ, но в них используются уже более новые выключатели и контакторы, что повышает эксплуатационную надежность КРУ в тяжелых условиях эксплуатации, а также создает возможность некоторого сокращения габаритов и массы распределительных устройств;

– электромагнитные тормоза (ЭМТ), предназначенные для торможения буровой лебедки при спуске колонны в скважину, широко используются на буровых установках уже в течение многих лет. Наилучшим образом зарекомендовали себя ЭМТ индукционного типа, используемые на установках для бурения скважин глубиной 4000 м. На некоторых установках с глубиной бурения 3000 м применяются ЭМТ ферропорошкового типа, которые используются также в качестве пассивного регулятора подачи долота при бурении. В условиях холодного и морского климата конструктивные исполнения ЭМТ должны отвечать требованиям эксплуатации, также необходимо создание и применение более широкой номенклатуры ЭМТ, обеспечивающих более интенсивное и плавное торможение;

– преобразователи частоты (ПЧ) являются современным и достаточно сложным для требуемых мощностей средством электропривода переменного тока, также находят свое применение в буровой технике. Применение частотно-регулируемого ЭП для управления буровой установкой обеспечивает повышение производительности буровой установки за счет регулирования скорости вращения ротора при роторном бурении; сокращение потребления электроэнергии; снижение затрат на техническое обслуживание электродвигателей; необходимые технологические и электрические защиты и блокировки. необходимое повышение надежности [4].

Области применения различных систем электропривода и автоматизации характеризуются следующими положениями. В настоящее время принято считать, что применение полностью регулируемого ЭП постоянного тока по системе ТП-Д целесообразно на установках для бурения скважин глубиной 6500 м и более.

На установках с глубиной бурения от 2000 до 4000 м по технико-экономическим соображениям считается целесообразным выбор частотно-регулируемого электропривода переменного тока. Наряду с этим на буровых установках применяется электропривод системы ТП-Д. Здесь целесообразность ЭП постоянного тока выражается не столько в технологических преимуществах регулируемого электропривода, сколько в обеспечении высокой транспортабельности за счет исключения ряда трансмиссий и замены их электрическими связями.

Применительно к установкам с глубиной бурения более 5000 м вопрос выбора системы электропривода является спорным, поскольку здесь суммарные технико-экономические показатели для систем полностью и частично регулируемого привода близки. Кроме того, еще недостаточно изучены технологические аспекты выбора и применения средств регулируемого привода буровых механизмов, что затрудняет выполнение точного и объективного экономического анализа.

Особенностями развития буровых работ на ближайшую перспективу являются: увеличение средних глубин бурения, смещение основных объемов бурения в труднодоступные районы Западной Сибири, дальнейшее развитие и освоение нефтяных и газовых месторождений континентального шельфа. Все эти задачи решаются в условиях ограниченности трудовых ресурсов, необходимых как для роста выпуска буровых установок, так и для организации их эксплуатации. Поэтому необходимо постоянное техническое перевооружение буровых работ, обеспечивающее повышение эффективности и производительности труда в бурении.

### Библиографический список

1. Шабанов В.А. Основы регулируемого электропривода основных механизмов бурения, добычи и транспорта нефти: учебное пособие / В.А. Шабанов. – Уфа: УГНТУ, 2009. – 156 с.
2. Алексеев В. В., Алексеев М. В., Шевырев Ю. В., Федоров, О. В. Оценка технико-экономических показателей при выборе электропривода в геологоразведочной отрасли / В.В. Алексеев, М.В. Алексеев, Ю.В. Шевырев, О.В. Федоров. – М. : Геоинформцентр, 2002. - 95 с.
3. Абрамов Б.И. Парфёнов Б.М., Кожиков О.И., Шалагин М.А., Колесников И.В. Современный электропривод постоянного тока для буровых установок / Б.И. Абрамов, Б.М. Парфёнов, О.И. Кожиков, М.А. Шалагин, И.В. Колесников. // Электротехника. – 2009. – №1. – С. 3-8. URL: [https://www.booksite.ru/elektroteh/2009/2009\\_1.pdf](https://www.booksite.ru/elektroteh/2009/2009_1.pdf)
4. Современные системы электропривода и управления главными и вспомогательными механизмами нефтегазовых буровых установок / ООО НТЦ «Приводная техника». URL: <https://www.tek-all.ru/userfiles/file/Privodhaya-tehnika/2/00-1.pdf>

УДК 621.313

## ЛИНЕЙНЫЕ МОДЕЛИ СИСТЕМ В ПРОСТРАНСТВЕ СОСТОЯНИЙ

Филина О.А., Прокопенко С.С.

Казанский Государственный Энергетический Университет  
г. Казань, Россия, [olga\\_yutinova83@mail.ru](mailto:olga_yutinova83@mail.ru)

**Аннотация.** Эта статья посвящена рассмотрению системы уравнений формы источника (генераторы) и потребители (нагрузка) заданы полными мощностями или активной и реактивной мощностью (их постоянным значением).

**Ключевые слова:** метод Гаусса, трансформатор, система уравнений.

**Abstract.** This article is devoted to the consideration of a system of equations of the form sources (generators) and consumers (load) are given by full powers or active and reactive power (their constant value).

**Keywords:** Gauss method, transformer, system of equations.

Объектом исследования являются линейные *стационарные* системы, которые описываются линейными дифференциальными уравнениями в переменных состояниях:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu, & x(t_0) &= x_0, \\ y &= Cx + Du. \end{aligned} \tag{1}$$

Здесь  $x \in \mathbb{R}^n$  называется *вектором состояния* (или состоянием),  $x(t_0)$  – *начальным состоянием* системы,  $u \in \mathbb{R}^m$  – *входом* системы,  $y \in \mathbb{R}^p$  – *выходом* системы. Матрицы  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $D$  имеют соответствующую размерность и являются матрицами с постоянными коэффициентами. Модели вида (1) также называются моделями «вход – состояние – выход», или *внутренними моделями*.

Рассматриваемые многомерные динамические линейные модели в пространстве состояний получаются во многих случаях линеаризацией исходных дифференциальных уравнений, описывающих процессы в многомерных нелинейных управляемых объектах.

В начале данной главы покажем, как уравнения вида (1) могут быть получены процедурой линеаризации нелинейной системы дифференциальных уравнений, записанных в форме Коши. Затем для того, чтобы достаточно глубоко понимать свойства решения (1), приведем некоторые сведения из теории линейных дифференциальных уравнений и рассмотрим ряд свойств линейных моделей в пространстве состояний.

Линейные модели могут быть получены на основании физических законов, на основании анализа входных и выходных данных объекта, а также с использованием комбинации этих двух подходов. Получение линеаризованной модели из полной физической модели объекта обычно сводится к следующим этапам:

1. формализация нелинейной физической модели в пространстве состояний;
2. задание траектории или стационарной рабочей точки, относительно которой должна проводиться линеаризация;
3. введение переменных отклонения и линеаризация нелинейной модели.

Линеаризация сводится к следующей процедуре:

1. разложению правых частей уравнения в ряд Тейлора, в котором пренебрегаются члены второго порядка и выше;
2. введению переменных отклонения;
3. вычитанию номинального решения, относительно которого проводилась линеаризация, для того, чтобы ликвидировать члены номинального режима.

Рассмотрим общий случай, когда нелинейная стационарная модель объекта описывается уравнениями

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= f[x(t), u(t)], \\ y(t) &= g[x(t), u(t)], \end{aligned} \quad (2)$$

где  $x, f \in \mathbb{R}^n$ ,  $u \in \mathbb{R}^m$ ,  $y, g \in \mathbb{R}^p$ . Здесь первое уравнение «вход – состояние» записано в форме Коши: в левой части стоит производная вектора состояния  $x$ , а в правой части – дифференцируемая вектор-функция  $f$  от вектора состояния  $x$  и вектора входного воздействия  $u$ . Второе уравнение – это уравнение «вход – состояние – выход», в левой части которого находится выходной сигнал модели объекта  $y$ , а в правой части – дифференцируемая вектор-функция  $g$  от  $x$  и  $u$ .

Пусть  $x^0(t)$ ,  $u^0(t)$  есть рабочая (номинальная) точка нелинейной системы  $n$ -го порядка, относительно которой проводится линеаризация. Следует отметить важное обстоятельство, что рабочая точка  $x^0(t)$ ,  $u^0(t)$  нестационарна, так как она зависит от времени  $t$  и описывает некоторую траекторию в координатах  $[x(t), u(t)]$ , где время  $t$  является параметром. В данном случае траектория задается параметрически. При этом линеаризация проводится в каждый момент времени  $t$ , а необязательно в точках равновесия управляемой системы, в которых производная вектора состояния равна нулю:  $\dot{x}(t)=0$ .

Предположим, что в результате некоторого возмущения входное воздействие  $u(t)$ , состояние  $x(t)$  и выходной сигнал  $y(t)$  получают отклонения  $\delta u(t)$ ,  $\delta x(t)$ ,  $\delta y(t)$  от номинальных значений  $u^0(t)$ ,  $x^0(t)$ ,  $y^0(t)$  в какой-то момент времени  $t$ , тогда

$$\begin{aligned} u(t) &= u^0(t) + \delta u(t), \\ x(t) &= x^0(t) + \delta x(t), \\ y(t) &= y^0(t) + \delta y(t). \end{aligned} \quad (3)$$

Введем обозначения, связанные с дифференцированием состояния номинального режима и отклонением относительно него:

$$\frac{d}{dt} [x^0(t) + \delta x(t)] = \frac{dx^0(t)}{dt} + \frac{d\delta x(t)}{dt} = \dot{x}^0(t) + \delta \dot{x}(t). \quad (4)$$

Пользуясь понятием производной Фреше, которая в данном случае будет представлять собой *матрицы Якоби*,  $\partial f/\partial x$ ,  $\partial f/\partial u$ , т. е. производные вектор-функции  $f$  по векторам  $x$  и  $u$ , выделим линейную часть в уравнении состояния (2):

$$\begin{aligned} & \underbrace{\dot{x}^0(t)}_{\text{Номинальный режим}} + \delta \dot{x}(t) = \\ & = \underbrace{f(x^0(t), u^0(t))}_{\text{Номинальный режим}} + \left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_{x^0, u^0} \delta x(t) + \left. \frac{\partial f}{\partial u} \right|_{x^0, u^0} \delta u(t) + o(\delta x(t), \delta u(t)). \end{aligned} \quad (5)$$

Принимая во внимание исходное уравнение (2), имеем дифференциальное соотношение в рабочей точке (номинальном режиме), где проводится линеаризация,

$$\dot{x}^0(t) = f[x^0(t), u^0(t)]. \quad (6)$$

Это соотношение позволяет выполнить сокращения в обеих частях уравнения (5) и записать линейную часть данного уравнения в отклонениях:

$$\delta \dot{x}(t) = A[x^0(t), u^0(t)] \delta x(t) + B[x^0(t), u^0(t)] \delta u(t) \quad (7)$$

Здесь матрицы Якоби  $A$ ,  $B$  зависят от текущих координат рабочей точки  $x^0(t)$ ,  $u^0(t)$ , в которой проводится линеаризация:

$$A[x^0(t), u^0(t)] = \left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_{x^0, u^0}, \quad B[x^0(t), u^0(t)] = \left. \frac{\partial f}{\partial u} \right|_{x^0, u^0} \quad (8)$$

В покомпонентной записи матрицы Якоби имеют вид

$$A = \frac{\partial f}{\partial x} \Big|_{x^0, u^0} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_2}{\partial x_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_n}{\partial x_1} & \frac{\partial f_n}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_n}{\partial x_n} \end{bmatrix}_{x^0, u^0},$$

$$B = \frac{\partial f}{\partial u} \Big|_{x^0, u^0} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial u_1} & \frac{\partial f_1}{\partial u_2} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial u_m} \\ \frac{\partial f_2}{\partial u_1} & \frac{\partial f_2}{\partial u_2} & \dots & \frac{\partial f_2}{\partial u_m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_n}{\partial u_1} & \frac{\partial f_n}{\partial u_2} & \dots & \frac{\partial f_n}{\partial u_m} \end{bmatrix}_{x^0, u^0}.$$
(9)

Матрицы Якоби  $A$ ,  $B$  вычисляются для системы функций и в общем случае представляют собой прямоугольные матрицы. Число строк этих матриц равно числу функций в системе, а число столбцов – числу компонент векторных аргументов  $x$  и  $u$ . Если матрица Якоби квадратная, то ее определитель называется *якобианом*.

Аналогично можно с помощью дифференциала Фреше выделить линейную часть во втором уравнении (2), которое связывает вектор выходных сигналов  $y$  с векторами состояний  $x$  и входных воздействий  $u$ , и записать это уравнение в виде

$$\underbrace{y^0}_{\text{Номинальный режим}} + \delta y = g(x^0 + \delta x, u^0 + \delta u) =$$

$$= \underbrace{g(x^0, u^0)}_{\text{Номинальный режим}} + \frac{\partial g}{\partial x} \Big|_{x^0, u^0} \delta x + \frac{\partial g}{\partial u} \Big|_{x^0, u^0} \delta u + o(\delta x, \delta u).$$
(10)

Это приводит к линеаризованному уравнению «вход – состояние – выход»

$$\delta y = C \delta x + D \delta u,$$
(11)

где  $C, D$  – матрицы Якоби:

$$C = \frac{\partial g}{\partial x} \Big|_{x^0, u^0}, \quad D = \frac{\partial g}{\partial u} \Big|_{x^0, u^0}.$$
(12)

В итоге можно сказать, что если нелинейные функции в правых частях уравнений (2) модели объекта дифференцируемы в окрестности точки  $(x^0, u^0)$ , то с помощью матриц Якоби в дифференциалах Фреше проводится линеаризация дифференциальных уравнений. Последние служат линейной аппроксимацией исходных нелинейных уравнений в окрестности рабочей точки  $(x^0, u^0)$ .

При этом обычно для удобства вместо записи  $\delta x$  используют  $x$ , а вместо  $\delta u$  –  $u$ . Тогда линеаризованные уравнения состояния записываются так:

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= Ax(t) + Bu(t), \\ y(t) &= Cx(t) + Du(t),\end{aligned}\tag{13}$$

где под  $x(t)$ ,  $y(t)$  понимаются *отклонения* переменных состояния и выходных сигналов от их номинальных значений, а вектор  $u(t)$  представляет собой отклонения (вариации) входных воздействий.

Рассмотрим нелинейное дифференциальное уравнение

$$\ddot{x} + \dot{x} + \dot{x}x = u.\tag{14}$$

Сначала составим модель этой системы в переменных состояния. Переменные состояния  $x_1$  и  $x_2$  определим как

$$\begin{aligned}x_1 &= x, \\ x_2 &= \dot{x} = \dot{x}_1,\end{aligned}\tag{15}$$

тогда исходное нелинейное уравнение записывается в виде

$$\begin{aligned}\dot{x}_1 &= x_2 = f_1(x, u), \\ \dot{x}_2 &= -x_1x_2 - x_2 + u = f_2(x, u).\end{aligned}\tag{16}$$

Получим матрицы Якоби линеаризованной системы уравнений:

$$A = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \end{bmatrix}_{x^0, u^0} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -x_2 & -x_1 - 1 \end{bmatrix}_{x^0, u^0}, \quad B = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial u} \\ \frac{\partial f_2}{\partial u} \end{bmatrix}_{x^0, u^0} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}.\tag{17}$$

Если рабочая точка задана в виде  $x^0 = \begin{bmatrix} x_1^0 \\ x_2^0 \end{bmatrix}$ ,  $u^0$  то линеаризованные уравнения состояния в отклонениях таковы:

$$\begin{bmatrix} \delta\dot{x}_1 \\ \delta\dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -x_2^0 & -x_1^0 - 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta x_1 \\ \delta x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \delta u,\tag{18}$$

где  $u_0$  отсутствует из-за вычитания номинального режима, или

$$\begin{aligned}\delta\dot{x}_1 &= \delta x_2, \\ \delta\dot{x}_2 &= (-x_2^0)\delta x_1 + (-x_1^0 - 1)\delta x_2 + \delta u.\end{aligned}\tag{19}$$

Предположим, что рабочая точка задана в виде  $x^0 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$ ,  $u^0 = 0$ . Тогда линеаризованные уравнения запишутся следующим образом:

$$\begin{aligned}\delta\dot{x}_1 &= \delta x_2, \\ \delta\dot{x}_2 &= -2\delta x_2 + \delta u.\end{aligned}\tag{20}$$

Линейные члены, входящие в нелинейные уравнения, появляются в линеаризованных уравнениях без всяких изменений. Это достаточно очевидно, так как если применять описанный метод для линеаризации системы линейных уравнений, то следует ожидать получение тех же самых линейных уравнений.

Решить линеаризации с помощью команд MATLAB

```
[x,u,y] = trim('NonLinearModel');
linsys = linmod('NonLinearModel')
```

и схемы SIMULINK, приведенной на рисунке 1.

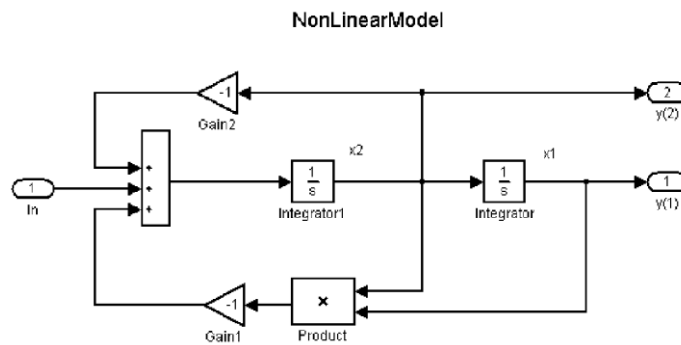


Рисунок 1 – SIMULINK-схема «NonLinearModel» для нахождения точек равновесия и линеаризации системы уравнений

Будем рассматривать системы вида

$$\frac{dx_i}{dt} = \sum_{k=1}^n a_{ik}(t)x_k + f_i(t), \quad i=1, \dots, n, \quad a_{ik}(t), f_i(t) \in C(J)\tag{21}$$

где  $J [t_0, t_1]$  – интервал оси  $t$ .

Запишем эту систему в векторно-матричном виде:

$$\frac{dx}{dt} = A(t)x + f(t)\tag{22}$$

где  $A(t)$  – матрица с элементами  $\{a_{ik}(t)\}$ ,  $f(t) \{f_i(t)\} 1n$ .

Решение начальной задачи

$$\frac{dx}{dt} = A(t)x + f(t), \quad t \in J, \quad x(t_0) = x_0, \quad A(t), f(t) \in C(J)$$

существует, единственно и продолжаемо на весь интервал  $J$ .

Для линейных однородных систем  $f(t)=0$ , а начальная задача записывается в виде

$$\frac{dx}{dt} = A(t)x, \quad x(t_0) = x_0.\tag{23}$$

По теореме, приведенной выше, решение этой начальной задачи существует, единственно и продолжаемо на весь интервал  $J$ .

Отсюда следует, в частности, что если решение системы (23) равно нулю в некоторой точке  $t^* \in J$ , то оно тождественно равно нулю на всем интервале  $J$ , так как вектор-функция  $y(t) \equiv 0$  удовлетворяет (23).

Множество всех решений системы (23) на интервале  $J$  образует  $n$ -мерное векторное пространство.

**Определение.** Всякая система  $X(t)$  из  $n$  линейно независимых решений системы (23), т.е. всякий базис пространства решений системы (23), называется **фундаментальной системой решений**, или **фундаментальной матрицей**.

Фундаментальная система решений  $X(t)$  уравнения (23) состоит из линейно независимых столбцов  $x_1(t), x_n(t)$  – решений (23), которые при объединении в таблицу приводят  $X(t)$  к виду

$$X(t) = [x_1 \quad \dots \quad x_n] = \begin{bmatrix} x_{11}(t) & \dots & x_{1n}(t) \\ \vdots & & \vdots \\ x_{n1}(t) & \dots & x_{nn}(t) \end{bmatrix}. \quad (24)$$

Напомним, что  $x_1(t), x_n(t)$  называются *линейно зависимыми* на интервале  $J$ , т.е. в каждый момент времени этого интервала, если существуют числа  $\beta_1, \dots, \beta_n, \sum_{i=1}^n \beta_i^2 > 0$ , такие, что  $\sum_{i=1}^n \beta_i x_i(t) \equiv 0$ . В противном случае они *линейно независимы*.

Фундаментальная матрица решений представляет собой невырожденное решение *матричного уравнения*

$$\dot{X} = A(t)X, \quad X(t_0) = X_0, \quad \det X_0 \neq 0,$$

в котором каждый столбец  $x_i$  в  $X(t)$  является решением соответствующего *векторно-матричного уравнения*

$$\dot{x}_i = A(t)x_i.$$

Решение  $X(t)$  является невырожденным, поскольку столбцы  $X(t)$  линейно независимы.

*Общим решением линейного однородного уравнения*, т.е. любым вектором из пространства решений системы (23), будет линейная комбинация столбцов фундаментальной матрицы  $X(t)$ :

$$x(t) = c_1 x_1(t) + \dots + c_n x_n(t) = X(t)c,$$

где  $c = [c_1 \dots c_n]^T$  – произвольный постоянный вектор,  $c \in \mathbb{R}^n$ .

Линейная независимость столбцов в  $X(t)$  нужна, чтобы система линейных алгебраических уравнений для любого начального условия  $x_0$ .

$$c_1 x_1(0) + \dots + c_n x_n(0) = x_0,$$

или



$$X(0)c = x_0,$$

имела решение. При этом  $\det X(t) \neq 0$  для любого  $t \in J$ , в частности,  $\det X(0) \neq 0$ .

### Библиографический список

1. Хусаинов И.И., Ситдинов А.Р. Классификация систем технической диагностики и неразрушающего контроля ГТУ // В сборнике: Образование и наука в современных реалиях. Материалы Международной научно-практической конференции. ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова»; Актюбинский региональный государственный университет им. К. Жубанова; Кыргызский экономический университет им. М. Рыскулбекова. Чебоксары, 2021. С. 120-121.
2. Филина О.А., Хаммедов Э.С.О. Системы контроля и диагностики // Научный альманах. 2021. № 5-2 (79). С. 66-68.
3. Филина О.А., Гатиятуллин Т.А., Ольховой А.В., Головин К.А. Анализ терминологии машин переменного и постоянного тока // Научный альманах. 2020. № 9-2 (71). С. 77-79.
4. Филина О.А., Гараева А.Р., Зараменских А.Н. Методы оценки состояния электрооборудования // В сборнике: Наука сегодня: реальность и перспективы. Материалы международной научно-практической конференции. В 2-х частях. 2018. С. 79-80.
5. Хуснутдинов А.Н., Идиятуллин Р.Г., Аухадеев А.Э., Филина О.А. Опыт эксплуатации электрощеток с повышенным ресурсом в реальных технологических условиях // Электротехнические системы и комплексы. 2017. № 1 (34). С. 56-59.
6. Щуров Н.И., Вильбергер М.Е., Степанов Е.Л., Филина О.А. Вольт-амперные характеристики составных электрощеток с поперечным разрезом // Сборник научных трудов Новосибирского государственного технического университета. 2010. № 3 (61). С. 123-128.
7. Щуров Н.И., Волкова О.Л., Евдокимов С.А., Степанов А.А. Кольцевые схемы выпрямления для 12 n-фазного преобразователя // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2010. № 1. С. 329-333.
8. Парахневич А.А., Щуров Н.И. Особенности построения преобразователей собственных нужд электроподвижного состава // В сборнике: Совершенствование технических средств электрического транспорта. Сборник научных трудов. Ответственный редактор Ворфоломеев Г.Н., Новосибирск, 1999. С. 102-106.
9. Vorfolomeev G.N., Shalnev V.G., Shchurov N.I., Evdokimov S.A., Kilina E.S., Philipp V.V. Conversion of a 3-phase ac voltage to dc voltage by a90-pulses rectifier unit // В сборнике: The 6th Russian-Korean international symposium on Science and Technology, KORUS-2002. proceedings. 2002. С. 397-400.
10. Petrov A.A., Schurov N.I. Reactive power in metro // В книге: Science in Progress. Тезисы всероссийской научно-практической конференции магистрантов и аспирантов. 2016. С. 166-168.

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОУПРАВЛЕНИЯ С ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ ДЛЯ ВЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ СИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ КЛАССИЧЕСКОЙ КОНСТРУКЦИИ

Островляничик В.Ю., Кубарев В.А., Зайцев Н.С., Кузнецова Е.С.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»  
г. Новокузнецк, Россия, kva2003@list.ru

**Аннотация.** В работе предлагается построение и имитационное моделирование системы автоматического управления частотно-регулируемым синхронным электроприводом с переменной структурой, в которой закон управления полем машины выбирается исходя из величины нагрузки на ее валу. В качестве способа построения указанной системы предлагается новый подход, основанный на измерении угла между пространственными векторами потокосцепления, пронизывающего фазную обмотку статора, и тока, протекающего в ней.

**Ключевые слова:** векторное управление, синхронный электропривод, система автоматического управления (САУ) с переменной структурой, управление полем машины, потокосцепление статора, потокосцепление в воздушном зазоре (рассеяния), имитационное моделирование, пространственный вектор, электромагнитный момент.

**Abstract.** The paper proposes the construction and simulation of an automatic control system of a frequency-controlled synchronous electric drive with a variable structure. In the automatic control system the field control law of the machine is selected based on the value of the load on its shaft. As a method of constructing this system, a new approach is proposed based on measuring the angle between the spatial vectors of flux linkage of the stator phase winding and its current.

**Keywords:** vector control (field-oriented control (FOC)), synchronous electric drive, automatic control system (ACS) with a variable structure, control of machine's field, stator flux linkage, air gap flux linkage, simulation modeling, spatial vector, electromagnetic torque.

**Введение.** Частотно-регулируемые электродвигатели переменного тока в начале XXI века нашли широкое применение в электроприводах (ЭП) отечественной и зарубежной промышленности и по сей день активно вытесняют электромеханические системы, основу которых составляют двигатели постоянного тока (ДПТ). [1, 2].

До недавнего времени в приводах большой мощности (единицы и десятки МВт) преимущественно использовался ДПТ, получающий питание от полууправляемого тиристорного преобразователя, что объяснялось легкостью регулирования его координат, обеспечением точности обрабатываемых законов и достаточно хорошими энергетическими и экономическими показателями [3]. В настоящее время с появлением доступных мощных двухзвенных преобразователей частоты (ДПЧ) появилась возможность применения в подобного рода ЭП синхронных двигателей (СД) с классической конструкцией ротора. Данные машины по сравнению с ДПТ имеют большие перспективы, ввиду отсутствия щеточно-коллекторного узла, меньшего момента инерции на валу и возможности использования высокого напряжения на якоре. Так в отечественной промышленном секторе в начале XXI века регулируемый СД активно внедряется в ответственные установки, горнодобывающей, металлургической, цементной и нефтяной отрасли, а также судоходного транспорта [4-6]. При этом производительность вновь внедряемых в промышленность синхронных ЭП, помимо прочего, напрямую зависит от эффективности работы их систем автоматического управления. Резюмируя все вышесказанное, можно сделать вывод об актуальности вопроса совершенствования САУ синхронного ЭП с целью дальнейшего раскрытия потенциала последнего.

**Теоретические основания работы.** На практике для СД с обмоткой возбуждения (ОВ) на роторе применяются два классических закона регулирования – векторное управление и прямое управление моментом. Настоящая статья посвящена изучению проблем систем с векторным управлением синхронной машиной. Идея такого управления СД (как и любой другой машиной переменного тока) основывается на принципах управления

ДПТ, при соблюдении которых удастся реализовать раздельное регулирование переменными тока якоря и основного магнитного поля, которое при работе в первой зоне остается неизменным, при поддержании ортогональности векторов данных величин [5]. При выполнении данных условий обеспечивается прямо пропорциональная связь между электромагнитным моментом машины и током, протекающим в обмотке якоря.

В дальнейшем условимся все переменные двигателя и его различные конструктивные параметры за исключением постоянных времени выражать в относительных единицах (о.е.), нормируя относительно базовых величин. Нормирование относительно таких величин представлено в работах [7, 8]. Величины, выраженные в абсолютных единицах, записываются обычным образом, выраженные в о.е. – с чертой сверху, при этом для записи пространственных векторов используется знак тильда «~».

Рассмотрим два уравнения электромагнитного момента  $\bar{M}$  синхронной машины, выраженные через потокосцепление статора и рассеяния соответственно:

$$\bar{M} = [\tilde{\Psi}_s \times \tilde{I}_s] = \bar{\psi}_{sd}\bar{i}_{sq} - \bar{\psi}_{sq}\bar{i}_{sd} = \bar{\Psi}_s\bar{I}_s \sin \alpha, \quad (1)$$

$$\bar{M} = [\tilde{\Psi}_\delta \times \tilde{I}_s] = \bar{\psi}_{\delta d}\bar{i}_{sq} - \bar{\psi}_{\delta q}\bar{i}_{sd} = \bar{\Psi}_\delta\bar{I}_s \sin \beta. \quad (2)$$

- где  $\tilde{\Psi}_s$  – пространственный вектор потокосцепления, пронизывающего фазную обмотку статора;  
 $\tilde{I}_s$  – пространственный вектор тока, протекающего в фазной обмотке статора;  
 $\bar{\psi}_{sd}$  и  $\bar{\psi}_{sq}$  – проекции потокосцепления статора на продольную и поперечную ось роторной системы координат (d-q) соответственно, о.е.;  
 $\bar{i}_{sq}$  и  $\bar{i}_{sd}$  – проекции пространственного вектора тока статора на оси q и d соответственно, о.е.;  
 $\alpha$  – угол между пространственными векторами потокосцепления статора и тока, протекающего в его фазной обмотке;  
 $\tilde{\Psi}_\delta$  – пространственный вектор потокосцепления в воздушном зазоре (рассеяния);  
 $\bar{\psi}_{\delta d}$  и  $\bar{\psi}_{\delta q}$  – проекции пространственного вектора потокосцепления рассеяния на оси d и q соответственно, о.е.;  
 $\beta$  – угол между пространственными векторами потокосцепления рассеяния и тока, протекающего в фазной обмотке статора.

Уравнения (1) и (2) позволяют реализовать векторное управление синхронной машиной двумя различными способами: за счет поддержания потокосцепления статора на неизменном уровне при  $\alpha = \frac{\pi}{2}$  и путем обеспечения постоянства потокосцепления рассеяния при  $\beta = \frac{\pi}{2}$ , что математически описывается условиями:

$$\begin{cases} \bar{M} = \bar{\Psi}_s\bar{I}_s = \bar{I}_s = \bar{\Psi}_\delta\bar{I}_s \sin \beta, \text{ при } \Psi_s = \Psi_\delta = const \text{ и } \alpha = \frac{\pi}{2}; \\ \bar{M} = \bar{\Psi}_\delta\bar{I}_s = \bar{I}_s = \bar{\Psi}_s\bar{I}_s \sin \alpha, \text{ при } \Psi_\delta = \Psi_s = const \text{ и } \beta = \frac{\pi}{2}, \end{cases} \quad (3)$$

- где  $\Psi_\delta$  – базовое потокосцепление СД:  $\Psi_\delta = \frac{U_{s\delta}}{\omega_{эл.б}} = \frac{I_{s\delta}Z_{s\delta}}{\omega_{эл.б}} = I_{s\delta}L_{s\delta}$ , Вб;  
 $U_{s\delta}$  – базовое напряжение фазы статора, В;  
 $\omega_{эл.б}$  – скорость вращения двигателя в электрическом пространстве,  $\frac{\text{рад}}{с}$ ;  
 $I_{s\delta}$  – базовый ток фазы статора, А;  
 $Z_{s\delta}$  – базовый импеданс фазы статора, Ом;  
 $L_{s\delta}$  – базовая индуктивность фазной обмотки, Гн.

Первый способ управления обеспечивает оптимальный энергетический режим машины с единичным коэффициентом мощности, позволяет наилучшим образом задействовать габаритную мощность ДПЧ и самой машины и обладает наиболее простым программным расчетом, но при этом имеет ограниченную, как правило, низкую перегрузочную способность, ввиду насыщения магнитной цепи машины при увеличении нагрузки. Второй способ управления обладает диаметрально противоположными достоинствами и недостатками и не находит применения в чистом виде. Наилучших показателей качества САУ и самого ЭП можно добиться, чередуя оба способа управления в зависимости от нагрузки на валу [7, 9]. Пример реализации такой системы представлен в работе [9]. В рамках данной статьи рассматривается более простой способ создания САУ с переменной структурой за счет косвенного измерения и дальнейшего использования угла  $\alpha$  между пространственными векторами потокосцепления статора и его тока.

**Математическое моделирование.** Создадим математическую модель САУ, на основе которой будет осуществлено имитационное моделирование. Данная модель получается за счет преобразования уравнений Парка-Горева [7-9] в о.е. к виду:

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{i}_{sd} = \frac{1/\bar{R}_s}{1+pT'_{sd}} \cdot \left[ \bar{u}_{sd} - \frac{1}{T_f \omega_{эл.б}} (\bar{U}_f - \bar{I}_f) + \bar{\omega}_{эл} \bar{\psi}_{sq} \right]; \\ \bar{i}_{sq} = \frac{1/\bar{R}_s}{1+pT_{sq}} \cdot (\bar{u}_{sq} - \bar{\omega}_{эл} \bar{\psi}_{sd}); \\ \bar{I}_f = \bar{\Psi}_f - \mu \bar{L}_{sd} \bar{i}_{sd}; \\ \bar{\psi}_{sd} = \bar{\Psi}_f + \bar{L}'_{sd} \bar{i}_{sd}; \\ \bar{\psi}_{sq} = \bar{L}_{sq} \bar{i}_{sq}; \\ \bar{\Psi}_f = \frac{1}{1+pT_f} (\bar{U}_f + \mu \bar{L}_{sd} \bar{i}_{sd}); \\ \bar{M} = \bar{\psi}_{sd} \bar{i}_{sq} - \bar{\psi}_{sq} \bar{i}_{sd}; \\ \bar{M} - \bar{M}_c = pT_M \bar{\omega}; \\ \bar{\omega}_{эл} = \bar{\omega}, \end{array} \right. , \quad (4)$$

- где  $\bar{R}_s$  – активное сопротивление фазы статора, о.е.;
- $p$  – оператор Лапласа;
- $T'_{sd}, T_{sq}$ , и  $T_f$  – электромагнитные постоянные времени обмотки статора на оси d и q в переходном режиме и обмотки возбуждения соответственно, с;
- $\bar{u}_{sd}, \bar{u}_{sq}$  и  $\bar{U}_f$  – проекции пространственного вектора напряжения статора на ось d и q соответственно и напряжение на ОБ, о.е.;
- $\bar{I}_f$  – ток, протекающий в ОБ, о.е.;
- $\bar{\omega}_{эл}$  – скорость вращения ротора в электрическом пространстве, о.е.;
- $\bar{\Psi}_f$  – потокосцепление ОБ, о.е.;
- $\mu$  – коэффициент магнитной связи между обмоткой статора на оси d и обмоткой возбуждения:  $\mu = \frac{3}{2} \frac{M_{df}}{L_{sd} L_f}$ ;
- $M_{df}$  – коэффициент взаимной индуктивности между обмоткой статора на оси d и ОБ, Гн;
- $L_{sd}$  и  $L_f$  – индуктивности статорной обмотки на ось d и ОБ соответственно, Гн;
- $\bar{L}_{sd}$  и  $\bar{L}_{sq}$  – индуктивности обмоток статора, расположенных на продольной и поперечной оси ротора соответственно, о.е.;
- $\bar{L}'_{sd}$  – индуктивность обмотки статора, расположенной на оси d в переходном режиме, о.е.;

- $\bar{M}_c$  – статический момент нагрузки на валу, о.е.;
- $T_M$  – механическая постоянная времени:  $T_M = J \frac{\omega_b}{M_b}$ , с;
- $J$  – момент инерции электропривода, кг · м<sup>2</sup>;
- $\omega_b$  – базовая скорость вращения ротора,  $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$ ;
- $M_b$  – базовый электромагнитный момент, Н · м;
- $\bar{\omega}$  – скорость вращения ротора в физическом пространстве, о.е.

На основе математической модели, представленной системой уравнений (5), определим основные элементы системы автоуправления. САУ будет состоять из пяти контуров – трех внутренних (проекций тока статора и потокосцепления обмотки возбуждения), нерегулируемого контура момента и внешнего регулируемого контура скорости. Нерегулируемый контур момента является наиболее сложным и в то же время важным звеном системы автоматического регулирования (САР), поскольку за счет него осуществляется разделение на три независимых внутренних контура и задание закона управления магнитным полем машины. Из-за указанного разделения данный контур называют многомерным контуром момента (МКМ), который представлен тремя статическими нелинейностями  $\bar{i}_{sd} = f(\bar{M})$ ,  $\bar{i}_{sq} = f(\bar{M})$  и  $\bar{\Psi}_f = f(\bar{M})$ . Обычно данные зависимости выводятся для определенного закона управления полем, на который настраивается имеющаяся САУ. В рассматриваемом случае более целесообразно задать данные зависимости в общем виде для машины, работающей с произвольным законом управления полем или вообще без него. Векторная диаграмма такого режима работы машины, служащая для выведения нелинейных зависимостей, представлена на рисунке 1.

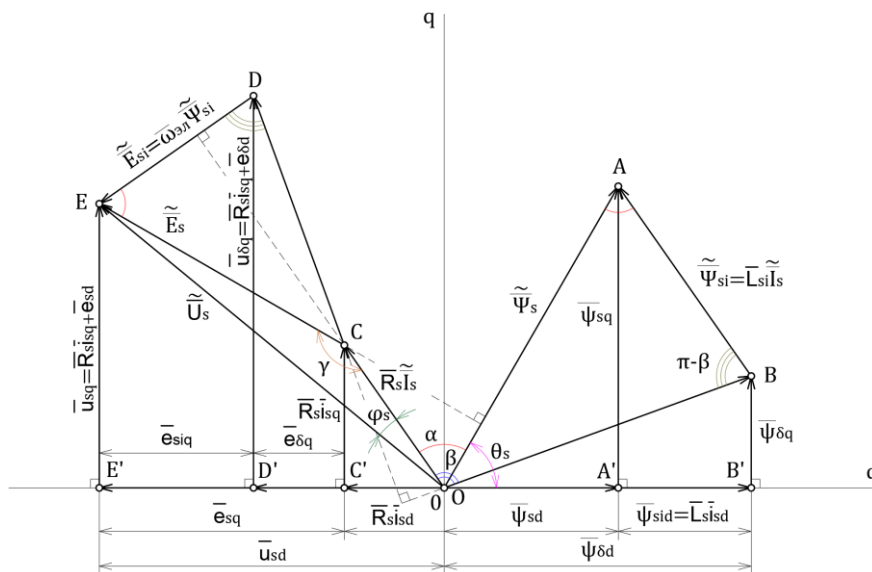


Рисунок 1 – Векторная диаграмма произвольного режима работы СД

Помимо указанных элементов система автоматического управления также должна содержать блок компенсации внутренних перекрестных обратных связей (ВПОС) по проекциям ЭДС вращения (конечные одночлены уравнений 1 и 2 системы (5)), блок задания базового потокосцепления машины, служащий для реализации двухзонного регулирования скорости и блок формирования угла между пространственными векторами потокосцепления статора и тока, протекающего в его обмотке.

Синтез контурных регуляторов в статье приведен с помощью принципа подчиненного регулирования. Внутренние контуры САР настраиваются на модульный оптимум, внешний контур скорости – на симметричный оптимум.



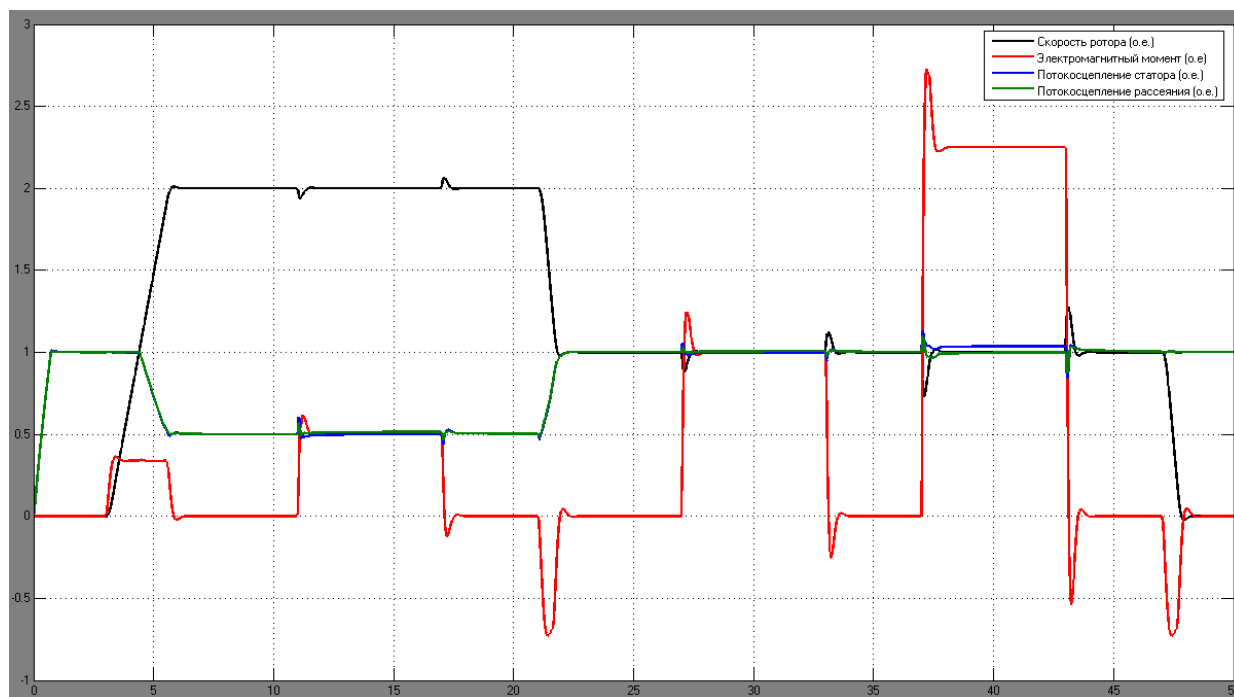


Рисунок 3 – Переходные процессы по скорости вращения ротора, электромагнитному моменту, потокосцеплениям статора и рассеяния в различных режимах работы

**Заключение.** В рамках статьи произведено построение имитационной модели САУ с переменной структурой, предназначенной для векторного управления синхронным двигателем. При анализе рисунка 3 можно сделать вывод об адекватности предлагаемой модели: наблюдается четкое переключение между законами управления полем машины при повышении нагрузки на валу двигателя; обеспечиваются типовые кривые переходных процессов и показатели качества регулирования в различных режимах работы ЭП.

Из рисунка 2 видно, что предлагаемый в работе способ изменения закона управления полем за счет косвенного измерения и последующего задания угла между пространственными векторами потокосцепления статора и его тока позволяет задействовать минимальное количество добавляемых элементов в САУ. Подтверждением данного утверждения может служить сравнение структуры системы с САУ, предлагаемой в работе [10], где осуществляется векторное управление с поддержанием постоянства потокосцепления статора.

В дальнейшем для более наглядной демонстрации возможностей разработанной модели системы автоуправления авторским коллективом предлагается введение в нее реальной кривой намагничивания машины.

### Библиографический список

1. Чернышев, А. Ю. Электропривод переменного тока : учебное пособие / А. Ю. Чернышев, Ю. Н. Дементьев, И. А. Чернышев. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 213 с.
2. Вейнгер, А. М. Перспективы мощных регулируемых электроприводов переменного тока / А. М. Вейнгер // IV Международная (XV Всероссийская) конференция по автоматизированному электроприводу «Автоматизированный электропривод в XXI веке: пути развития», 14-17 сентября 2004 г. – Магнитогорск : изд-во МГТУ им. Г.И. Носова, 2004. – С. 32-37.
3. Островляничик, О. В. Автоматический электропривод постоянного тока горно-металлургического производства : учебное пособие / О. В. Островляничик. – Новокузнецк : изд-во СибГИУ, 2004. – 383 с.

4. Шабанов, В. А. О законах частотного регулирования синхронных двигателей на нефтеперекачивающих станциях / В. А. Шабанов, О. В. Кабаргина // Электронный научный журнал нефтегазовое дело. – 2010. – № 2. – 5 с.
5. Finch, J. W. Controlled AC electrical drives / J.W. Finch, D. Giaouris // IEEE Transactions on Industrial Electronics, March 2008. – Vol. 55, No. 2. – P. 481-491.
6. Электропривод современных шахтных подъемных машин / Л. Х. Дацковский, В. И. Роговой, И. С. Кузнецов [и др.] // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2010. – № 3-2. – С. 157-165.
7. Вейнгер, А. М. Регулируемый синхронный электропривод / А. М. Вейнгер. – Москва : Энергоатомиздат, 1985. – 224 с. : ил.
8. Соколовский, Г. Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием : учебник / Г. Г. Соколовский. – Москва : Академия, 2006. – с. 265.
9. Слежановский, О. В. Системы подчиненного регулирования электроприводов переменного тока с вентильными преобразователями / О. В. Слежановский, Л. Х. Дацковский, И. С. Кузнецов. – Москва : Энергоатомиздат, 1983. – 256 с. : ил.
10. Кузнецов, В. А. Имитационное моделирование системы автоматического управления главным электроприводом прокатного толстолистового стана по системе «частотный преобразователь – синхронный двигатель» / В. А. Кузнецов, Н. С. Зайцев, Е. С. Кузнецова // Автоматизированный электропривод и промышленная электроника : сборник статей IX Всероссийской научно-практической конференции, 25-26 ноября 2020. – Новокузнецк : изд-во СибГИУ, 2020 г. – С. 32 – 40.

УДК 621.313.333.1

## СИНТЕЗ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ МАГНИТНЫМ ПОТОКОМ ВОЗБУЖДЕНИЯ СТАТОРА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ

**Островляничик В.Ю., Маршев Д.А., Кубарев В.А., Поползин И.Ю.**

*ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»*

*ООО «НИИ АЭМ СибГИУ»*

*г. Новокузнецк, Россия, niiaer@kuz.ru*

***Аннотация.** В статье рассматривается вопрос синтеза адаптивного управления магнитным потоком статора асинхронного двигателя. Необходимость в таком управлении возникает при использовании асинхронных двигателей для привода механизмов, нуждающихся в большом диапазоне регулирования скорости (в частности, шахтных и рудничных подъемных установок). На основании рассмотрения структурной схемы цепи статора машины произведен синтез адаптивного регулятора магнитного потока и разработано его математическое описание.*

***Ключевые слова:** асинхронный двигатель с фазным ротором, магнитный поток, адаптивный регулятор, разделение зон управления, частотное управление.*

***Abstract.** The article deals with the issue of synthesis of adaptive control of the magnetic flux of the stator of an induction motor. The need for such control arises when using asynchronous motors to drive mechanisms that need a wide range of speed control (in particular, mine and mine hoists). Based on the consideration of the block diagram of the stator circuit of the machine, an adaptive magnetic flux controller was synthesized and its mathematical description was developed.*

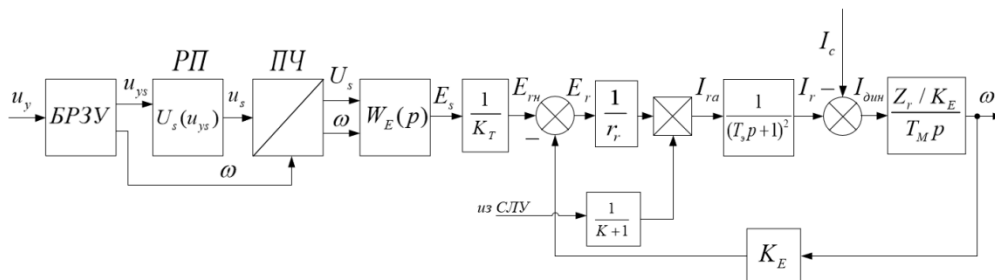
***Keywords:** wound-rotor induction motor, magnetic flux, adaptive controller, separation of control zones, frequency control.*

Все изложенное в [1] верно для асинхронного двигателя с постоянным магнитным потоком. Однако, магнитное поле ротора при вращении уменьшает результирующий магнитный поток. Кроме того, при реализации управления, при котором происходит изменение частоты статора со значительным изменением реактивных сопротивлений, не учитываются зависимость тока намагничивания, а, следовательно, и потока возбуждения элект-



трической машины от внутренних возмущающих воздействий. Поэтому для поддержания магнитного потока необходимо реализовать частотный преобразователь статора, с использованием астатического регулятора вращающегося магнитного потока статора.

Для синтеза регулятора потока рассмотрим структурную схему с включённым преобразователем на входе [2], представленную на рисунке 1.

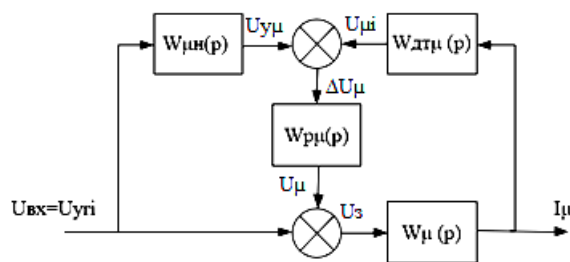


$u_y$  – управляющий сигнал; БРЗУ – блок разделения зон управления; ПЧ – преобразователь частоты; РП – регулятор потока;  $W_E(p)$  – передаточная функция ЭДС статора;  $U_s(\omega)$  – напряжение преобразователя частоты,  $U_s = U_m e^{-j\omega t}$ ;  $\Phi = f(I_\mu)$  – магнитный поток статора

Рисунок 1 – Функциональная структурная схема АДФР с преобразователем частоты статора, регулятором потока и блоком разделения зон управления

При синтезе воспользуемся принципом реализации адаптирующих воздействий, основанным на использовании условных отрицательных обратных связей с нелинейным астатическим звеном [3]. Применение интегрирующего звена в канале условной отрицательной обратной связи позволяет реализовать астатическое регулирование.

Параметры адаптирующего регулятора могут быть определены на основе анализа процесса адаптации, который возникает в случае несоответствия сигналов на выходе наблюдателя и выходной величины. Для этого случая на рисунке 2 представлена эквивалентная структурная схема, которая является исходной для синтеза регулятора потока.



$W_{\mu n}(p)$  – передаточная функция для тока намагничивания двигателя при номинальных напряжении и частоте статора. Выполняет функцию наблюдателя;  
 $W_{\text{дт}\mu}(p)$  - передаточная датчика тока намагничивания;  $W_{p\mu}(p)$  – передаточная функция регулятора тока намагничивания;  $W_{\mu}(p)$  – передаточная функция контура намагничивания. Выполняет функцию объекта управления

Рисунок 2 – Исходная эквивалентная структура с адаптивным регулятором и наблюдателем.

Передаточная функция регулятора намагничивания определяется при анализе выражения:

$$W_{\mu}(p) = \frac{I_{\mu}(p)}{U_{ex}(p)} = \frac{(W_{\mu n}(p)W_{p\mu}(p) + 1)W_{\mu}(p)}{W_{\partial m\mu}(p)W_{p\mu}(p)W_{\mu}(p) + 1} \quad (1)$$

При этом добиваются, чтобы характеристический полином передаточной функции соответствовал требованиям отсутствия колебательности системы. Определим передаточные функции всех звеньев, определяющих характеристический полином выражения (1).

Передаточная функция контура намагничивания статора:

$$W_{\mu}(p) = \frac{I_{\mu}(p)}{u_s(p)} = \frac{U_s - E_s}{Z_s} \cdot \frac{1}{T_s p + 1}, \quad (2)$$

где  $u_s(p)$  – напряжение на статоре;  
 $I_{\mu}(p)$  – ток намагничивания;  
 $U_s$  – действующее значение напряжения на статоре;  
 $E_s$  – действующее значение ЭДС статора;  
 $T_s$  – постоянная времени цепи статора.

Передаточную функцию датчика тока намагничивания возможно представить на основании баланса МДС, откуда следует:

$$I_{\mu} = I_s - K'_{ir} I_r \quad (3)$$

и

$$W_{\partial m\mu}(p) = I_{\mu}(p)k_{i\mu}, \quad (4)$$

где  $u_{i\mu}$  – напряжение задание тока намагничивания;  
 $I_{\mu}$  – ток намагничивания двигателя;  
 $I_r$  – ток ротора двигателя;  
 $K'_{\mu}$  – коэффициент приведения тока ротора;  
 $I'_r$  – приведенный ток ротора двигателя.

$W_{\mu n}(p)$  – передаточная функция для тока намагничивания двигателя при номинальных напряжении и частоте статора. Выполняет функцию наблюдателя. Передаточная функция наблюдателя определяется передаточной функцией объекта управления при фиксированном значении наблюдаемой величины. В нашем случае это параметры контура намагничивания соответствующие номинальному току намагничивания.

В нашем случае номинальный ток намагничивания определяется приведением уровня сигнала задания к уровню сигнала номинального значения тока намагничивания, и является пропорциональным звеном:

$$W_{\mu n}(p) = \frac{u_{y\mu}(p)}{u_{ys}(p)} = K_{\mu}, \quad (5)$$

где  $u_s$  – сигнал управления напряжением статора;  
 $u_{y\mu}$  – сигнал задания тока намагничивания;

$K_{\mu} = \frac{u_{yn}}{u_{sn}}$  – коэффициент передачи канала управления магнитным потоком;  
 $u_{уцном}$  – уровень сигнала управления, соответствующий номинальному току намагничивания.

Подставив выражение передаточных функций (2,3,4,5) в (1) и проанализировав полученное выражение для характеристического полинома передаточной функции, приходим к выводу, что для рассматриваемого случая регулятор тока намагничивания будет иметь вид интегрирующего звена:

$$W_{\delta\mu}(p) = (u_{\delta\mu} - u_{i\mu}) \frac{1}{T_o p}, \quad (6)$$

где  $u_{i\mu}$  – сигнал измерения тока намагничивания;  
 $T_o$  – постоянная времени регулятора потока.

МДС контура намагничивания формируется только за счет реактивного тока, а активная составляющая, определяемая как произведение  $\Delta U = I_{\mu} R_a$  в сравнении с ней мала, поэтому электромагнитная постоянная времени может быть определена как:

$$T_{\text{эс}} = \frac{1}{\omega_s}. \quad (7)$$

Обычно при расчете по (7) выбирается минимальная частота 5÷10 Гц. При этом:

$$T_o = 3 \div 5 T_{\text{эс}}. \quad (8)$$

Введем ограничения величин для адекватной работы регулятора. Изменение потока должно производиться при уровне сигнала задания не выше номинального значения сигнала управления током намагничивания. В этом случае можно представить систему уравнений, описывающую работу пропорционального звена номинального тока намагничивания, в следующем виде:

$$u_{y\mu} = \begin{cases} u_{ys} K_{\mu}, & 0 < u_{y\mu} < u_{yцн}, \\ u_{уцном}, & u_{y\mu} > u_{уцном}, \\ u_s K_{\mu}, & 0 > u_{y\mu} > -u_{уцном}, \\ u_{уцном}, & -u_{y\mu} < -u_{уцном}. \end{cases} \quad (9)$$

Введем также ограничение для регулятора потока в целях исключения насыщения выходного управляющего сигнала. Тогда система уравнений, описывающая работу регулятора, будет иметь вид:

$$u_{\mu} = \begin{cases} \Delta u_{\mu} \frac{1}{T_{op}}, 0 < u_{\mu} < u_{\muном}, \\ u_{u\muном}, u_{\muном} > u_{\muном}, \\ -\Delta u_{\mu} \frac{1}{T_{op}}, 0 > u_{\mu} > -u_{\muном}, \\ -u_{u\muном}, -u_{\muном} < -u_{\mu}. \end{cases} \quad (10)$$

Выражения (7-10) описывают поведение выходных величин соответственно: наблюдателя – датчика номинального тока намагничивания; датчика тока намагничивания и интегрального регулятора, обеспечивающего неизменность заданного тока намагничивания. С учётом рисунка 1 и [2], получим математическую модель АДФР с преобразователем частоты и регулятором потока:

$$u_{u\mu} = \begin{cases} u_{yS} K_{\mu}, 0 < u_{u\mu} < u_{u\muном}, \\ u_{u\muном}, u_{u\mu} > u_{u\muном}, \\ u_{yS} K_{\mu}, 0 > u_{u\mu} > -u_{u\muном}, \\ u_{u\muном}, -u_{u\mu} < -u_{u\muном}, \end{cases}$$

$$\Delta u_{\mu} = u_{u\mu} - u_{i\mu},$$

$$u_{i\mu} = K_{i\mu} I_{\mu},$$

$$u_{\mu} = \begin{cases} \Delta u_{\mu} \frac{1}{T_{op}}, 0 < u_{\mu} < u_{\muном}, \\ u_{u\muном}, u_{\muном} > u_{\muном}, \\ -\Delta u_{\mu} \frac{1}{T_{op}}, 0 > u_{\mu} > -u_{\muном}, \\ -u_{u\muном}, -u_{\muном} < -u_{\mu}. \end{cases}$$

$$I_S = I_{\mu} + I_R',$$

$$I_R' = \frac{1}{K_{\mu}} I_R, \quad (11)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta U_s = U_s - E_s, \\ I_{\mu a} = \frac{\Delta U_s}{Z_s}, \\ Z_s = \sqrt{r_s^2 + \omega_s^2 L_\mu^2}, \\ I_\mu = I_{\mu a} \frac{1}{T_s p + 1}, \\ \Phi_\mu = \begin{cases} K_1 I_\mu, & 0 < I_\mu \leq I_{\mu d}, \\ \Phi_d + K_2 I_\mu, & I_{\mu d} < I_\mu \leq I_{\mu a}, \\ \Phi_a + K_3 I_\mu, & I_{\mu a} < I_\mu, \end{cases} \\ E_s = C_e \Phi_\mu \omega_s, \\ E_{ri} = \frac{1}{K_T} E_s. \end{array} \right.$$

Системе уравнений (11) может быть поставлена в соответствие структурная схема, представленная на рисунке 3

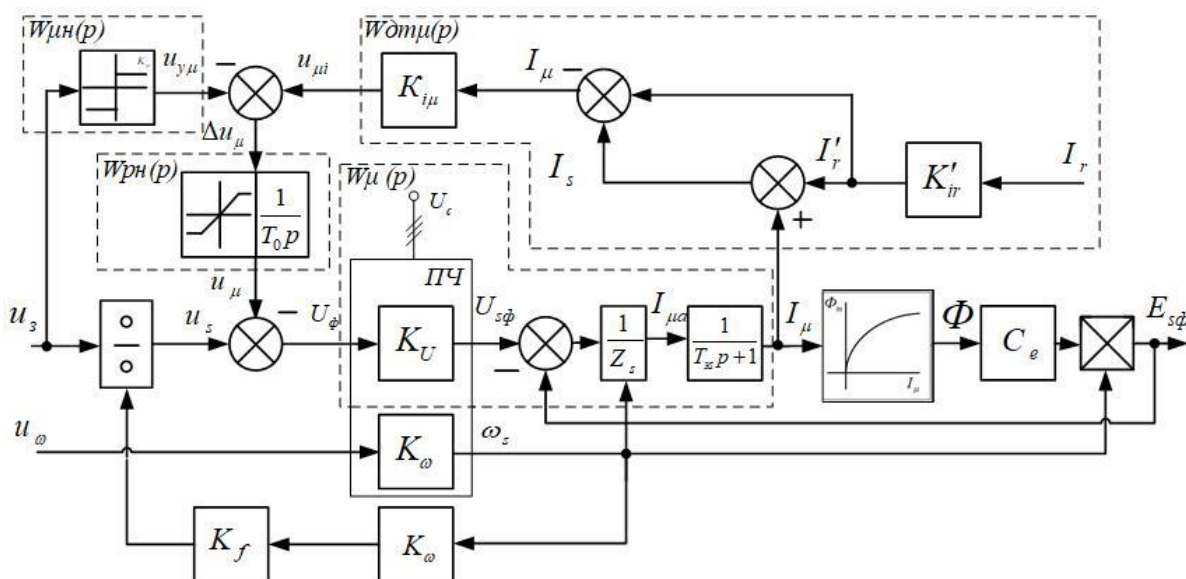


Рисунок 3 – Структурная схема АДФР с преобразователем частоты и регулятором потока в статоре

В структурной схеме учтено, что соответствии законом Костенко отношение между напряжением преобразователя  $U_{nc}$  и частотой  $\omega$  является постоянной величиной.  $U_{nc}/\omega = const$ .

На основании изложенного выше можно сделать следующие выводы:

1. предложена методика синтеза адаптивного регулятора магнитного потока асинхронного двигателя, основанная на балансе МДС электрической машины и реализации адаптирующего управления током намагничивания. Интегральный регулятор позво-

- ляет реализовать принцип поддержания магнитного потока вне зависимости от частоты вращения поля;
- предложена математическая модель асинхронного двигателя с фазным ротором, с преобразователем частоты и регулятором вращающегося магнитного потока статора, обеспечивающего максимальную перегрузочную способность и требуемое качество управления на всём диапазоне регулирования скорости. В соответствии с принципами закона Костенко была введена корректирующая связь, поддерживающая постоянство соотношения амплитуды напряжения и частоты;
  - применение данной математической модели в системе управления электроприводом позволяет обеспечить высокий энергосберегающий эффект и КПД электрической машины за счёт обеспечения независимости (инвариантности) магнитного потока статора от внешних и внутренних возмущающих воздействий.

### Библиографический список

- Исследования асинхронного электропривода с фазным ротором подъемных установок / Островляничик В. Ю., Кубарев В. А., Поползин И. Ю., Маршев Д. А. // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. - 2022. - № 8. - С. 255–261.
- Оптимизация характеристик электропривода переменного тока подъёмных установок / Островляничик В. Ю., Кубарев В. А., Поползин И. Ю., Маршев Д. А. // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. - 2022. - № 8. - С.
- Островляничик В. Ю. Автоматический электропривод постоянного тока горно-металлургического производства / В. Ю. Островляничик. – Новокузнецк : СибГИУ, 2004. – 382 с.
- Онищенко Г. Б. Асинхронные вентиляльные каскады и двигатели двойного питания / Г. Б. Онищенко, И. Л. Локтева. – М.: Энергия, 1979. – 200 с.
- Хватов С. В. Проектирование и расчет асинхронного вентиляльного каскада [Текст] / С. В. Хватов, В. Г. Титов. – Горький: ГГУ им. Н. И. Лобачевского, 1977. – 91 с.
- Долганов А. В. Стационарные машины / А. В. Долганов. – М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2017. – 281 с.
- Шахтный подъем / В. Р. Бежок, В. И. Дворников, И. Г. Манец, В. А. Пристром; под общ. ред. Б. А. Грядущего и В. А. Корсуна. – Донецк : ООО «Юго-Восток ЛТД», 2007. – 624 с.
- Руководство по ревизии и наладке шахтных подъемных установок / В. Р. Бежок, В. Г. Калинин, В. Д. Коноплянов, Е. М. Курченко; под общ. ред. В. А. Корсуна. – Донецк : Донеччина, 2009. – 672 с.
- Понкратов А. С. Использование машины двойного питания в качестве генератора переменного тока / А. С. Понкратов, Д. Н. Мирошник // Инновационные перспективы Донбасса: материалы международной научно-практической конференции, г. Донецк, 20 – 22 мая 2015 г. Т. 2: Перспективы развития электротехнических, электромеханических и энергосберегающих систем. – 2015. – С. 12 – 21.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ВЕНТИЛЯТОРНОЙ НАГРУЗКОЙ

Сарсембин А.О., Кубарев В.А., Асмаатбеков А.К.

*ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»*

*г. Новокузнецк, Россия, kubarev.sibsiu@list.ru*

**Аннотация.** В настоящей работе произведён расчёт силового трансформатора, предложена модель и проведено моделирование электропривода переменного тока с вентиляторной нагрузкой в среде Matlab Simulink, произведены исследования переходных процессов.

**Ключевые слова:** асинхронный двигатель, прямой пуск, вентиляторная нагрузка.

**Abstract.** In this paper, the power transformer was calculated, a model was proposed and an AC drive with a fan load was simulated in the Matlab Simulink environment, and transients were studied.

**Keywords:** asynchronous motor, direct start, fan-type load.

Увеличение количества и установленной мощности электроприёмников с нелинейным и несимметричным характером нагрузки на транспорте и в быту, а также развитие технологических установок в промышленности приводят к ухудшению качества электрической энергии в системах электроснабжения.

В результате снижается эффективность работы, как самих систем электроснабжения, так и потребителей, подключённых к ним. Как следствие – электрооборудование, рассчитанное на работу в электрической системе при определённом уровне характеристик электрической энергии, во многих случаях эксплуатируется в неэффективных режимах, что приводит к отрицательным последствиям.

Не симметрия токов и напряжений влечёт за собой увеличение потерь электрической энергии в сетях и элементах её распределения. Ущерб от снижения качества электрической энергии обусловлен ухудшением энергетических показателей, снижением надёжности функционирования, увеличением потерь активной мощности и потребления активной и реактивной мощностей.

На современном этапе развития энергетики достаточно остро стоит вопрос перехода к энергосберегающим технологиям. Это вызвано возрастающим электропотреблением и снижением качества электрической энергии в различных отраслях [1-2].

Моделирование сложных энергетических систем позволяет дать качественную и количественную оценку процессов, проходящих в них. Поэтому чтобы определить возможность реализации указанной схемы и эффективность ее работы, необходимо провести имитационное моделирование. Используя возможности Simulink и SimPowerSystem можно не только моделировать, но и анализировать работу различных устройств. Библиотека блоков Sim Power System охватывает достаточно широкий спектр энергетического, измерительного и вспомогательного оборудования [3]. В то же время, если в стандартной библиотеке нет блока, моделирующего необходимое оборудование или алгоритм, то пользователь имеет возможность создать свой собственный блок.

На рисунке 1 представлена схема моделирования асинхронного двигателя с вентиляторной нагрузкой.

Для реализации идеального источника синусоидального напряжения, используется блок Three-Phase Source с выходным напряжением равное 35 кВ.

Для реализации силового трансформатора использовался блок Three-Phase Transformer (Two Windings). Который моделирует двухобмоточный трехфазный трансформатор. Модель Threephase Transformer (Two Windings) построена на основе трех однофазных трансформаторов. В модели может учитываться нелинейность характеристики намагничивания материала сердечника.

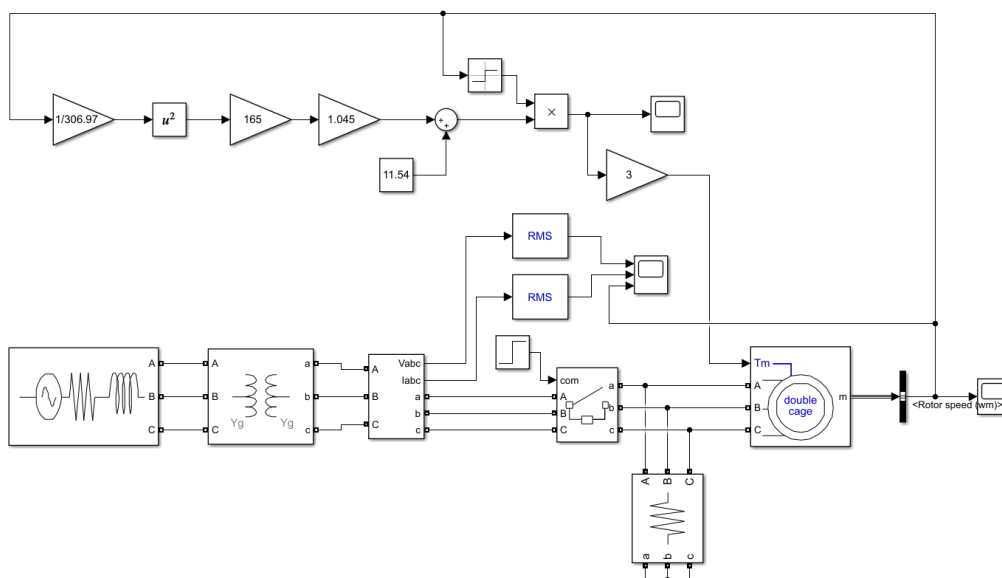


Рисунок 1 – Модель электропривода переменного тока с вентиляторной нагрузкой

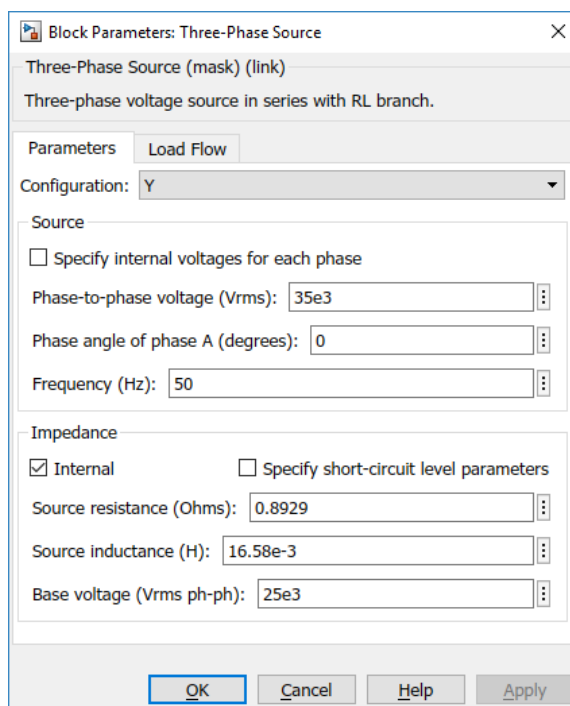


Рисунок 2 – Параметры блока AC Voltage Source

Модель двухобмоточного трансформатора из библиотеки Simulink – SimPowerSystems приведена на рисунке 3. Индуктивность  $L_m$  учитывает действие основного магнитного потока, а активное сопротивление  $R_m$  эквивалентно потерям в стали магнитопровода.

Для расчета был выбран трансформатор типа ТМ 1000 кВА 35/6,3 кВ. Трансформатор ТМ 1000 кВА 35/6,3 кВ с естественной циркуляцией масла. Предназначены для работы в системах передачи электроэнергии, обеспечивая при этом минимальные электрические потери в линиях электропередач. Применение трансформатора типа ТМ позволяет обеспечить потребителю надежное электроснабжение в течение всего срока эксплуатации. Расчет основан на использовании каталожных данных силового трансформатора. Особое внимание уделено расчету параметров характеристики намагничивания стали



магнитопровода для модели силового трансформатора. Расчет параметров модели силового трехфазного двухобмоточного трансформатора выполняется с учетом нелинейности его характеристики. Силовой трансформатор является нелинейным элементом энергосистемы, поэтому для анализа его работы в различных режимах необходимо располагать параметрами характеристики намагничивания стали магнитопровода.

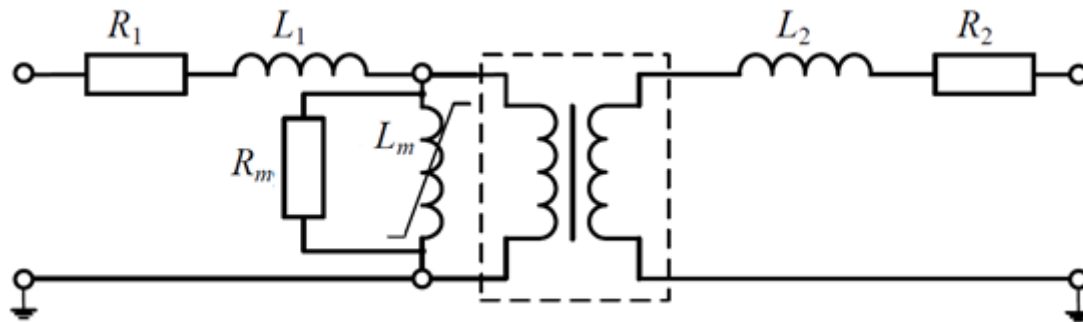


Рисунок 3 – Модель силового двухобмоточного трансформатора

Таблица 1 – Каталожные данные трансформатора ТМ - 1000/35/6

Тип	S <sub>ном.</sub> кВА	Каталожные данные					
		U <sub>ном.</sub> Обмоток кВ		U <sub>к</sub> , %	ΔP <sub>к</sub> , кВт	P <sub>х</sub> , кВт	I <sub>х</sub> , %
		ВН	НН				
ТМ - 1000/35/6	1000	35	6	6,5	11,6	2	1,4

В каталожных данных номинальные напряжения  $U_{1ном}$ ,  $U_{2ном}$  обмоток являются линейными величинами, значения мощностей  $S_{ном}$ ,  $P_k$  и  $P_0$  приводятся как суммарные для трёх фаз. Для расчёта схемы замещения трёхфазного трансформатора должны использоваться фазные величины. Соотношения по определению активного и индуктивного сопротивлений ветви намагничивания вытекают из принятой схемы замещения трансформатора рисунок 3.

Следует отметить, что в о. е. индуктивность и индуктивное сопротивление имеют одинаковое значение. Расчётные выражения для вычисления параметров схемы замещения моделируемого трансформатора приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Расчёт параметров модели замещения трансформатора

Наименование величины	Расчетные выражения
Номинальная мощность каждой фазы трансформатора	$S_{ном} = \frac{S_{ном}}{3} = \frac{1000 * 10^3}{3} = 333,33 \text{ кВА}$
Фазное напряжение первичной обмотки при соединении «звезда»	$U_{1ф} = \frac{U_{1ном}}{\sqrt{3}} = \frac{35 * 10^3}{\sqrt{3}} = 20,20 \text{ кВ}$
Номинальный фазный ток первичной обмотки трансформатора, соединенной по схеме «звезда»	$I_{1фном} = \frac{S_{фном}}{U_{1ф}} = \frac{333,33 * 10^3}{20,20 * 10^3} = 16,5 \text{ А}$
Из опыта холостого хода	
Фазный ток холостого хода трансформатора	$I_{хф} = \frac{I_x * I_{1фаз}}{100} = \frac{1,4 * 16,5}{100} = 0,23 \text{ А}$
Полное сопротивление ветви намагничивания схемы замещения при холостом ходе	$Z_x = \frac{U_{1ф}}{I_{хф}} = \frac{20,20 * 10^3}{0,23} = 87,83 \text{ кОм}$

Продолжение таблицы 2

Наименование величины	Расчетные выражения
Мощность потерь холостого хода на фазу	$P_{x\phi} = \frac{P_x}{3} = \frac{2 * 10^3}{3} = 0,6 \text{ кВт}$
Коэффициент мощности холостого хода	$\cos\varphi_x = \frac{P_{x\phi}}{U_{1\phi} * I_{x\phi}} = \frac{0,6 * 10^3}{20,20 * 10^3 * 0,23} = 0,129$
Активное сопротивление ветви намагничивания	$R_m = \frac{Z_x}{\cos\varphi_x} = \frac{87,83 * 10^3}{0,129} = 680 \text{ кОм}$
Индуктивное сопротивление ветви намагничивания	$X_m = \frac{Z_x}{\sin\varphi_x} = \frac{87,83 * 10^3}{\sqrt{1 - 0,129}} = 88,5 \text{ кОм}$
Из опыта короткого замыкания	
Фазное напряжение короткого замыкания	$U_{к\phi} = \frac{U_{1\phi} * U_k}{100} = \frac{20,20 * 6,5}{100} = 1,31 \text{ кВ}$
Полное сопротивление короткого замыкания	$Z_k = \frac{U_{к\phi}}{I_{1\phi\text{ном}}} = \frac{1,31 * 10^3}{16,5} = 79,3 \text{ Ом}$
Мощность потерь короткого замыкания на фазу	$P_{к\phi} = \frac{P_k}{3} = \frac{11,6 * 10^3}{3} = 3,8 \text{ кВт}$
Коэффициент мощности короткого замыкания	$\cos\varphi_k = \frac{P_{к\phi}}{U_{к\phi} * I_{1\phi\text{ном}}} = \frac{3,8 * 10^3}{1,31 * 10^3 * 16,5} = 0,175$
Активное сопротивление короткого замыкания	$R_k = Z_k * \cos\varphi_k = 79,3 * 0,175 = 13,87 \text{ Ом}$
Индуктивное сопротивление короткого замыкания	$X_k = Z_k * \sin\varphi_k = 79,3 * \sqrt{1 - 0,175^2} = 78 \text{ Ом}$
Базисные условия	
Базисное значение тока	$I_{\text{баз}} = \frac{Z_H}{U_{1\phi}} * \sqrt{2} = \frac{333,3 * 10^3}{20,20 * 10^3} * \sqrt{2} = 23,33 \text{ А}$
Базисное значение сопротивления	$R_{\text{баз}} = \frac{U_{1\phi}}{I_{\text{баз}}} = \frac{20,20 * 10^3}{23,33} = 865,83 \text{ Ом}$
Перевод полученных значений во. е. (индуктивность и активное сопротивление первичной и вторичной обмоток в о. е. будут равны)	
Активное сопротивление ветви намагничивания	$R_{m(\text{о.е.})} = \frac{R_m}{R_{\text{баз}}} = \frac{680 * 10^3}{865,83} = 785,37$
Индуктивность ветви намагничивания	$L_{m(\text{о.е.})} = \frac{X_m}{R_{\text{баз}}} = \frac{88,5 * 10^3}{865,83} = 102,21$
Активное сопротивление первичной и вторичной обмоток трансформатора	$R_{1(\text{о.е.})} = R_{2(\text{о.е.})} = \frac{1}{2} * \frac{R_k}{R_{\text{баз}}} = \frac{1}{2} * \frac{13,87}{865,83} = 0,008$
Индуктивность первичной и вторичной обмоток трансформатора	$L_{1(\text{о.е.})} = L_{2(\text{о.е.})} = \frac{1}{2} * \frac{X_k}{R_{\text{баз}}} = \frac{1}{2} * \frac{78}{865,83} = 0,045$

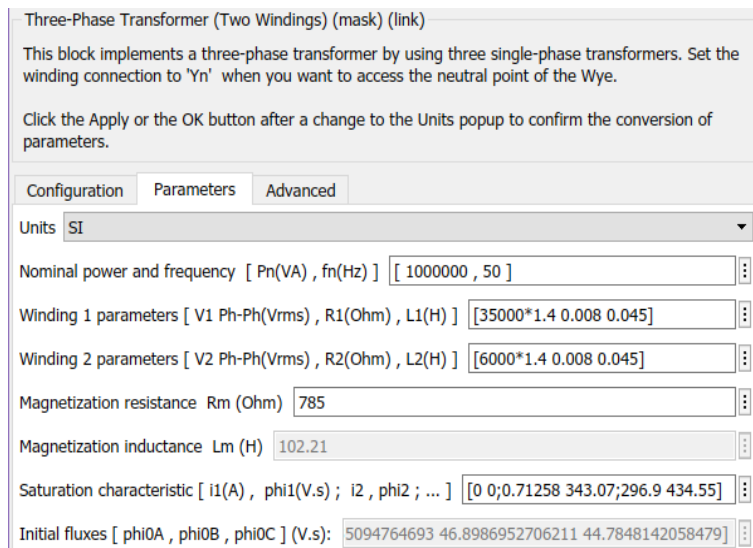


Рисунок 4 – Параметры блока Three-Phase Transformer

С помощью блока Asynchronous Machine моделируем асинхронную электрическую машину в двигательном режиме.

Модель асинхронного двигателя получена из раздела библиотеки SimPowerSystem. Для расчета был выбран высоковольтный асинхронный электродвигатель типа 4АЗМ-315/6000 [7].

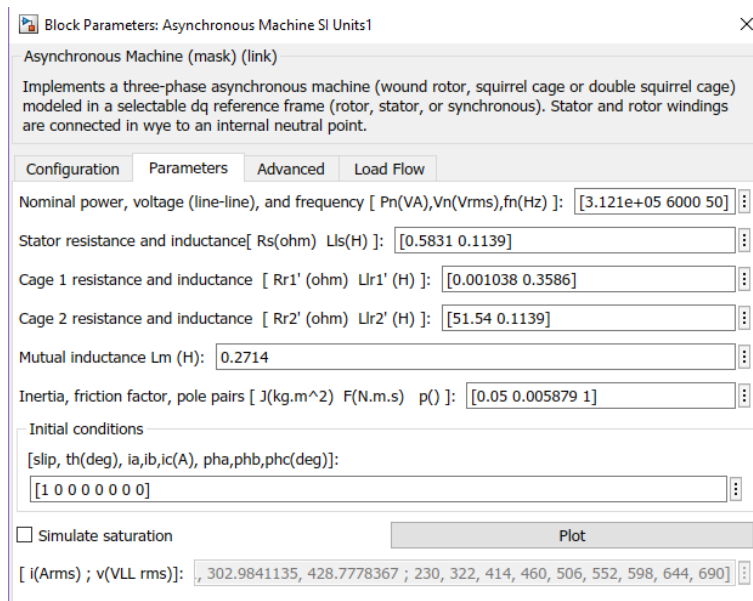


Рисунок 5 – Параметры блока Asynchronous Machine

Для выполнения математических операции используется блок Sum который, выполняет сложение или вычитание на своих входах.

На временном отрезке от 0 до 2,4 с. на двигатель подаётся напряжение, и двигатель разгоняется со скоростью 306,97 рад/с. под нагрузкой 176 Н·М.

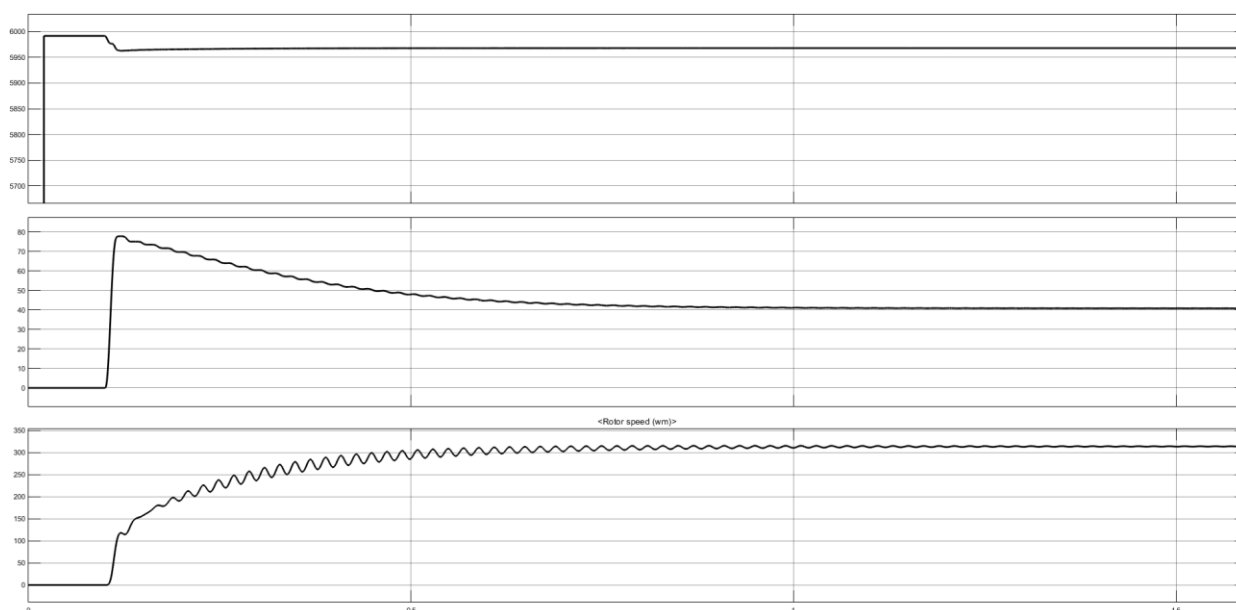


Рисунок 6 – Графики напряжения, тока и скорости ротора двигателя под нагрузкой

**Заключение.** В настоящей работе произведён расчёт силового трансформатора, предложена модель и проведено моделирование электропривода переменного тока с вентиляторной нагрузкой в среде Matlab (Simulink), произведены исследования переходных процессов.

#### Библиографический список

1. Воротницкий В.Э., Железко Ю.С., Казанцев В.Н., Пекелис В.Г., Файбисович Д.Л. Потери электроэнергии в электрических сетях энергосистем. М.: Энергоатомиздат, 1983. 368 с.
2. Железко Ю.С., Артемьев А.В., Савченко О.В. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях: Руководство для практических расчетов. М.: НЦ ЭНАС, 2003. 280 с.
3. Черных И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. - М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. - 288 с.: ил.
4. Дьяконов, В. П. и Пеньков, А. А. MATLAB и Simulink в электроэнергетике. Справочник. –М : Горячая линия-Телеком, 2009.
5. Ануфриев И. Е. Самоучитель MatLab 5.3/6.x / И. Е. Ануфриев.– СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.
6. Джендубаев Э.А. Разработка модели двухтрансформаторной подстанции в среде MATLAB и её расширениях Simulink и SimPowerSystems. Известия Северо-Кавказской государственной гуманитарно-технологической академии. РИЦ СевКав-ГГТА, 2014 г., № 1.
7. [Электронный ресурс], (Дата обращения 06.11.2022) URL: <https://vp-alliance.ru/magazin/product/elektrovdigatel-asinkhronnyy-4azm-315/6000-ukhl4>

## ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ ПРЕДИКТИВНОЙ АНАЛИТИКИ НА АГРЕГАТАХ ЦЕХА ХИМИЧЕСКОГО УЛАВЛИВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА КОКСОХИМИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ АО «ЕВРАЗ ЗСМК»

Бабушкин С.В.<sup>1</sup>, Кубарев В.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>АО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат»  
г. Новокузнецк, Россия, simen727@mail.ru

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»  
г. Новокузнецк, Россия

**Аннотация.** В статье описано прикладная задача внедрения системы предиктивной аналитики на оборудовании коксохимического производства. Проведено сравнение сроков наработки оборудования при планово-предупредительных ремонтах и при использовании прикладных инструментов выявления тенденции по графикам работы соответствующего оборудования. Выполнен сравнительный анализ полученных результатов.

**Ключевые слова:** промышленность, ремонты, аналитика, инструменты MS Excel, статистика, вибродиагностика.

**Abstract.** The article describes the applied task of implementing a predictive analytics system on coke production equipment. A comparison was made of the operating time of equipment during scheduled preventive maintenance and when using applied tools to identify trends according to the schedules of operation of the corresponding equipment. A comparative analysis of the obtained results is carried out.

**Keywords:** industry, repairs, analytics, MS Excel tools, statistic, vibration diagnostics.

В настоящий момент на предприятиях возникает проблема частых незапланированных выходов из строя механизмов и оборудования из-за их «морального устаревания». Как правило это инфраструктурное оборудование, которое не приносит прибыли, но без его участия производственный процесс невозможен. Большие финансовые вложения на обновление дорогостоящих агрегатов трудно аргументировать, поэтому для поддержания подобного оборудования применяют плановые ремонты. В большинстве случаев определение межремонтного периода определяется людьми на основании ряда факторов. Эти промежутки берут с занижением для подстраховки от незапланированных выходов из строя, что увеличивает стоимость обслуживания. Поэтому требуется внедрять системы постоянного контроля за состоянием оборудования с возможностью создания прогноза времени выхода из строя. Предсказательная аналитика позволит задавать межремонтные интервалы по показаниям контролируемых параметров.

В качестве объекта внедрения были приняты нагнетатели коксового газа цеха химического улавливания и производства коксохимической продукции (ЦХУиПКХП) АО «ЕВРАЗ ЗСМК». Они вытягивают газ от коксовых печей и подают его по газопроводам в аппаратуру для улавливания химических продуктов. Остановка нагнетателей делает невозможным работу коксовых батарей, необходимых для обеспечения металлургического производства.

Для исследования на нагнетатель №1 были установлены датчики виброскорости ДВСТ-1-50 производства ООО «Виброприбор». Схема расположения датчиков представлена на рисунке 1.

Полученные значения собирались в базу данных. В табличном виде собранные данные по виброскорости представлены на рисунке 2.

Из журнала работы была получена информация, что запущен нагнетатель был 05.05.2022 года а штатная остановка была осуществлена 28.09.2022 года. Фактическое время работы составило 5664 часа вместо 8000 часов по регламенту работы (70% от требуемой величины).

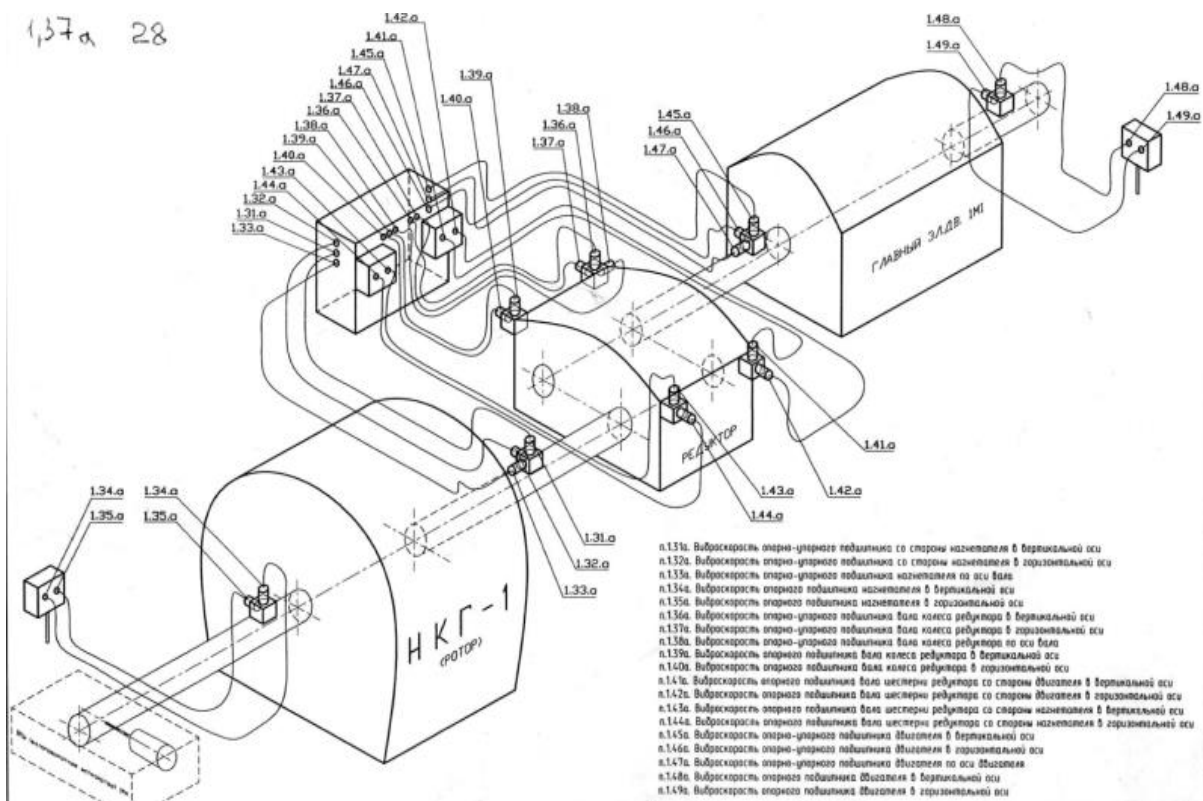


Рисунок 1 – расположение датчиков виброскорости на нагнетателе коксового газа №1

Serial_Index	Sample_Time	Sample_Misc_1	Sample_Time	Sample_Misc_2	Sample_Time	Sample_Misc_3	Sample_Time	Sample_Misc_4	Sample_Time	Sample_Misc_5	Sample_Time	Sample_Misc_6	Sample_Time	Sample_Misc_7
10	02.07.2022	406	02.07.22.19.50	406	02.07.22.19.50	421	02.07.22.19.50	421	02.07.22.19.51	437	02.07.22.19.51	437	02.07.22.19.51	437
10	02.07.2022	343	02.07.22.20.00	343	02.07.22.20.01	437	02.07.22.20.01	437	02.07.22.20.01	375	02.07.22.20.02	375	02.07.22.20.02	375
10	02.07.2022	343	02.07.22.20.11	343	02.07.22.20.12	390	02.07.22.20.12	390	02.07.22.20.12	421	02.07.22.20.12	421	02.07.22.20.12	421
10	02.07.2022	437	02.07.22.20.22	437	02.07.22.20.22	406	02.07.22.20.23	406	02.07.22.20.23	359	02.07.22.20.23	359	02.07.22.20.24	406
10	02.07.2022	375	02.07.22.20.33	375	02.07.22.20.33	343	02.07.22.20.33	343	02.07.22.20.34	343	02.07.22.20.34	343	02.07.22.20.34	406
10	02.07.2022	359	02.07.22.20.44	359	02.07.22.20.44	343	02.07.22.20.44	343	02.07.22.20.45	390	02.07.22.20.45	390	02.07.22.20.45	406
10	02.07.2022	421	02.07.22.20.54	421	02.07.22.20.55	375	02.07.22.20.55	375	02.07.22.20.56	359	02.07.22.20.56	359	02.07.22.20.56	406
10	02.07.2022	437	02.07.22.21.05	437	02.07.22.21.06	343	02.07.22.21.06	343	02.07.22.21.06	390	02.07.22.21.06	390	02.07.22.21.07	406
10	02.07.2022	406	02.07.22.21.16	406	02.07.22.21.16	375	02.07.22.21.17	375	02.07.22.21.17	437	02.07.22.21.17	437	02.07.22.21.18	421
10	02.07.2022	437	02.07.22.21.27	437	02.07.22.21.27	343	02.07.22.21.28	343	02.07.22.21.28	406	02.07.22.21.28	406	02.07.22.21.28	390
10	02.07.2022	437	02.07.22.21.38	437	02.07.22.21.38	421	02.07.22.21.38	421	02.07.22.21.39	375	02.07.22.21.39	375	02.07.22.21.39	343
10	02.07.2022	359	02.07.22.21.48	359	02.07.22.21.48	390	02.07.22.21.48	390	02.07.22.21.49	343	02.07.22.21.50	343	02.07.22.21.50	421
10	02.07.2022	421	02.07.22.21.59	421	02.07.22.22.00	375	02.07.22.22.00	375	02.07.22.22.00	359	02.07.22.22.00	359	02.07.22.22.01	437
10	02.07.2022	359	02.07.22.22.10	359	02.07.22.22.10	421	02.07.22.22.11	421	02.07.22.22.11	390	02.07.22.22.11	390	02.07.22.22.12	390
10	02.07.2022	437	02.07.22.22.21	437	02.07.22.22.21	406	02.07.22.22.21	406	02.07.22.22.22	343	02.07.22.22.22	343	02.07.22.22.22	359
10	02.07.2022	343	02.07.22.22.32	343	02.07.22.22.32	421	02.07.22.22.32	421	02.07.22.22.33	437	02.07.22.22.33	437	02.07.22.22.33	375
10	02.07.2022	343	02.07.22.22.42	343	02.07.22.22.43	343	02.07.22.22.43	343	02.07.22.22.43	421	02.07.22.22.44	421	02.07.22.22.44	359
10	02.07.2022	343	02.07.22.22.54	343	02.07.22.22.54	390	02.07.22.22.54	390	02.07.22.22.55	437	02.07.22.22.55	437	02.07.22.22.55	359
10	02.07.2022	406	02.07.22.23.04	406	02.07.22.23.04	359	02.07.22.23.05	359	02.07.22.23.05	406	02.07.22.23.06	406	02.07.22.23.06	421
10	02.07.2022	359	02.07.22.23.15	359	02.07.22.23.15	437	02.07.22.23.15	437	02.07.22.23.16	406	02.07.22.23.16	406	02.07.22.23.16	375
10	02.07.2022	343	02.07.22.23.26	343	02.07.22.23.26	343	02.07.22.23.27	343	02.07.22.23.27	421	02.07.22.23.27	421	02.07.22.23.27	390
10	02.07.2022	343	02.07.22.23.36	343	02.07.22.23.37	390	02.07.22.23.37	390	02.07.22.23.38	406	02.07.22.23.38	406	02.07.22.23.38	343
10	02.07.2022	390	02.07.22.23.47	390	02.07.22.23.48	390	02.07.22.23.48	390	02.07.22.23.48	437	02.07.22.23.48	437	02.07.22.23.49	375
10	02.07.2022	437	02.07.22.23.58	437	02.07.22.23.59	359	02.07.22.23.59	359	02.07.22.23.59	359	02.07.22.23.59	359	02.07.22.23.59	390
10	02.07.2022	406	02.07.22.02.09	406	02.07.22.02.09	375	02.07.22.02.10	375	02.07.22.02.10	375	02.07.22.02.10	375	02.07.22.02.10	375
10	02.07.2022	375	02.07.22.02.20	375	02.07.22.02.20	406	02.07.22.02.20	406	02.07.22.02.21	406	02.07.22.02.21	406	02.07.22.02.21	390
10	02.07.2022	359	02.07.22.02.30	359	02.07.22.02.31	406	02.07.22.02.31	406	02.07.22.02.31	375	02.07.22.02.32	375	02.07.22.02.32	343
10	02.07.2022	359	02.07.22.02.41	359	02.07.22.02.42	421	02.07.22.02.42	421	02.07.22.02.42	375	02.07.22.02.42	375	02.07.22.02.42	406
10	02.07.2022	375	02.07.22.02.52	375	02.07.22.02.52	421	02.07.22.02.53	421	02.07.22.02.53	375	02.07.22.02.53	375	02.07.22.02.54	359
10	02.07.2022	390	02.07.22.03.03	390	02.07.22.03.03	437	02.07.22.03.03	437	02.07.22.03.04	390	02.07.22.03.04	390	02.07.22.03.04	343
10	02.07.2022	421	02.07.22.11.14	421	02.07.22.11.14	390	02.07.22.11.14	390	02.07.22.11.15	437	02.07.22.11.15	437	02.07.22.11.15	406
10	02.07.2022	437	02.07.22.11.24	437	02.07.22.11.25	406	02.07.22.11.25	406	02.07.22.11.25	421	02.07.22.11.26	421	02.07.22.11.26	406
10	02.07.2022	421	02.07.22.11.35	421	02.07.22.11.36	421	02.07.22.11.36	421	02.07.22.11.36	359	02.07.22.11.36	359	02.07.22.11.37	343
10	02.07.2022	406	02.07.22.11.46	406	02.07.22.11.46	359	02.07.22.11.47	359	02.07.22.11.47	437	02.07.22.11.47	437	02.07.22.11.48	437
10	02.07.2022	406	02.07.22.11.57	406	02.07.22.11.57	421	02.07.22.11.58	421	02.07.22.11.58	359	02.07.22.11.58	359	02.07.22.11.58	359
10	02.07.2022	343	02.07.22.12.08	343	02.07.22.12.08	359	02.07.22.12.08	359	02.07.22.12.09	406	02.07.22.12.09	406	02.07.22.12.09	406
10	02.07.2022	359	02.07.22.12.18	359	02.07.22.12.19	437	02.07.22.12.19	437	02.07.22.12.19	437	02.07.22.12.20	437	02.07.22.12.20	390
10	02.07.2022	390	02.07.22.12.29	390	02.07.22.12.30	359	02.07.22.12.30	359	02.07.22.12.30	437	02.07.22.12.30	437	02.07.22.12.31	406
10	02.07.2022	406	02.07.22.12.40	406	02.07.22.12.40	343	02.07.22.12.41	343	02.07.22.12.41	421	02.07.22.12.41	421	02.07.22.12.42	406
10	02.07.2022	359	02.07.22.12.51	359	02.07.22.12.51	437	02.07.22.12.51	437	02.07.22.12.52	390	02.07.22.12.52	390	02.07.22.12.52	343
10	02.07.2022	406	02.07.22.13.02	406	02.07.22.13.02	375	02.07.22.13.02	375	02.07.22.13.03	359	02.07.22.13.03	359	02.07.22.13.03	437
10	02.07.2022	437	02.07.22.13.12	437	02.07.22.13.13	359	02.07.22.13.13	359	02.07.22.13.13	437	02.07.22.13.14	437	02.07.22.13.14	359
10	02.07.2022	343	02.07.22.13.23	343	02.07.22.13.24	421	02.07.22.13.24	421	02.07.22.13.24	375	02.07.22.13.24	375	02.07.22.13.25	375
10	02.07.2022	359	02.07.22.13.34	359	02.07.22.13.34	359	02.07.22.13.35	359	02.07.22.13.35	359	02.07.22.13.35	359	02.07.22.13.36	375
10	02.07.2022	359	02.07.22.13.45	359	02.07.22.13.45	406	02.07.22.13.45	406	02.07.22.13.46	406	02.07.22.13.46	406	02.07.22.13.46	406
10	02.07.2022	421	02.07.22.13.56	421	02.07.22.13.56	375	02.07.22.13.57	375	02.07.22.13.57	375	02.07.22.13.57	375	02.07.22.13.57	375

Рисунок 2 – Выгруженная информация из базы данных нагнетателя

При помощи инструментов MS Excel был получен график для которого была составлена контрольная карта Шухарта (рисунок 3), на которой обозначены:

- график исследуемой величины;
- границы приемлемого уровня процесса (APL);
- границы неприемлемого уровня процесса (RPL);
- приёмочные контрольные границы (ACL).

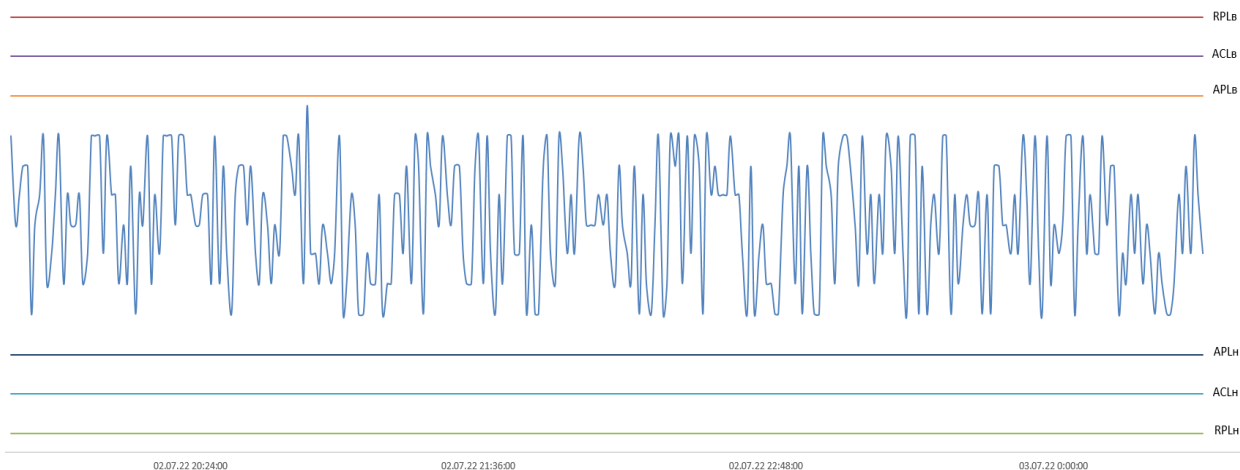


Рисунок 3 – График значений с датчика виброскорости с применением контрольных карт Шухарта

Между верхней и нижней границами APL находится зона приемлемого уровня процесса. Пока процесс находится в этой зоне, характеристики продукции считаются приемлемыми и соответствуют заданным допускам.

За верхней и нижней границами RPL находится зона неприемлемого уровня процесса. Если процесс выходит за эти границы, характеристики продукции считаются неприемлемыми и не соответствуют заданным допускам.

Между неприемлемой и приемлемой зонами процесса находятся зоны неопределённости или зоны пограничного качества продукции. Характеристики продукции в этой зоне всё ещё считаются приемлемыми, но требуют повышенного внимания.

Показатели APL и RPL характеризуют состояние продукции, в то время как показатель ACL является критерием принятия решения относительно состояния процесса. Если нанесённая на карту точка попала за пределы приёмочных контрольных границ (границ ACL), процесс следует считать неприемлемым.

При помощи инструмента «линия тренда» есть возможность выявить тенденции поведения значений на основании имеющихся и продлить график. После использования этой функции график имеет вид, представленный на рисунке 4.



Рисунок 4 – График прогнозирования состояния нагнетателя

По графику можно увидеть, что показания параметров вибрации будут находиться на приемлемом уровне до 01.10.2023. По полученным данным время работы должно составить 14472 часа, что на 80% больше регламентированного межремонтного периода.

В настоящий момент математическая модель данного процесса при помощи более точных и современных инструментов анализа данных находится в разработке.

Внедрение более совершенных инструментов определения тенденций расширит возможности системы для поддержания всего цеха (предприятия) в работоспособном состоянии. Предположительные расчеты момента критического износа оборудования позволят заблаговременно подготовить резервное оборудование и в штатном режиме перевести работу на него. В приведенном примере агрегат, по расчетам, мог еще выполнить не только 30% от регламентного периода работы, но и перевыполнить план на 80%. Система позволит уменьшить траты за счет увеличения межремонтных периодов, а так же уменьшит или вовсе сократит потери от незапланированных простоев оборудования.

### Библиографический список

1. Цыганов, П. А. Интенсивность отказов насосов и факторы, влияющие на их надежность. / П. А. Цыганов, К. А. Богачев // Современные проблемы радиоэлектроники : сб. науч. тр. – 2014. – с. 462-464.
2. А.А. Афанасьев, С.Н. Санин Статистический анализ данных на компьютере: учебное пособие / А.А. Афанасьев, С.Н. Санин //- Белгород: Изд-во БГТУ, 2013. – 120 с.
3. ГОСТ Р 7870-2-20. Статистические методы. Контрольные карты. Часть 2. Контрольные карты Шухарта.

УДК 621.38

## РАЗРАБОТКА РЕГУЛЯТОРА МОЩНОСТИ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ PROTEUS

Колчагов П.О., Борщинский М.Ю.

*ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»  
г. Новокузнецк, Россия, pavelkolcagov@gmail.com*

***Аннотация.** Рассмотрен пример проектирования регулятора мощности с применением системы автоматизированного проектирования Proteus. Получено готовое устройство, характеристики которого сравниваются с модельными.*

***Ключевые слова:** регулятор мощности, система автоматизированного проектирования, печатная плата, Proteus.*

***Abstract.** An example of designing a power regulator using the Proteus computer-aided design system is considered. A finished device has been obtained, the characteristics of which are compared with the model ones.*

***Keywords:** power regulator, computer-aided design system, printed circuit board, Proteus.*

Система автоматизированного проектирования (англ. Computer-aided design (CAD)) – автоматизированная система, реализующая информационную технологию выполнения функций проектирования, представляет собой организационно-техническую систему, предназначенную для автоматизации процесса проектирования, состоящую из персонала и комплекса технических, программных и других средств автоматизации его деятельности [1].

К настоящему времени создано большое количество САПР с различными степенью специализации и прикладной ориентацией. Быстродействие современных ПК позволяет решать такие задачи, которые в принципе недоступны для «ручных» методов расчета, дает возможность учесть значительно большее число факторов, влияющих на функционирование и производство электронных устройств и систем, резко увеличить число рассматриваемых вариантов при проектировании. С помощью ПК осуществляются анализ и синтез схем, их оптимизация, компоновка и размещение элементов конструкции электронных устройств, находятся оптимальные варианты электрического соединения эле-



ментов (трассировки) и решаются многие другие сложные задачи. Широко используются автоматизированные средства подготовки технической документации [2].

В данной работе представлены результаты проектирования регулятора мощности в САПР электронных устройств Proteus. Выбор схемы устройства определялся несколькими факторами – это скорость изготовления, доступность компонентов и востребованность в учебном процессе.

Регулятор будет использоваться для управления мощностью паяльника. В процессе обучения на кафедре Электротехники, электропривода и промышленной электроники студенты выполняют практические задания, связанные с пайкой электронных элементов. Имеющиеся паяльники имеют избыточную мощность, поэтому возникла необходимость в разработки данного устройства. Регулятор позволит продлить срок службы паяльников и не перегреть детали при пайке.

При выборе схемы ориентировались на простоту реализации. Также регулятор мощности не должен создавать помехи вредные для других электронных устройств.

Схема выбранного устройства [1] отличается простотой в изготовлении, обеспечивает плавное регулирование мощности от 0 до 100 % в нагрузке до 2 кВт. Тринистор в нём управляется короткими импульсами, что значительно снижает потребляемый электронным блоком ток, а это позволило уменьшить ёмкость фильтрующего конденсатора и рассеиваемую на гасящем резисторе мощность.

Принципиальная схема регулятора, выполненная в Proteus, изображена на рисунке 1.

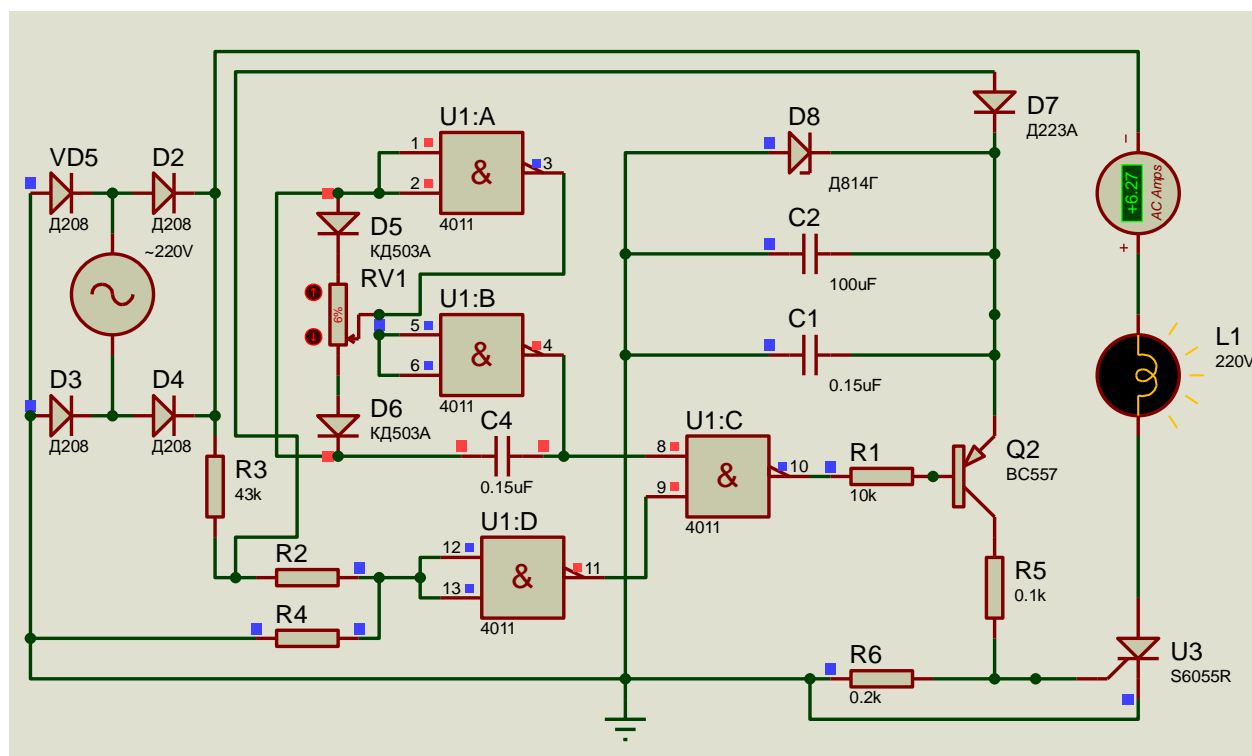


Рисунок 1 – Принципиальная схема устройства, собранная в Proteus

Для получения работоспособной принципиальной схемы устройства следует обратить внимание на то, чтобы у компонентов были SPICE модели [2].

Результаты моделирования, полученные с помощью виртуального осциллографа, показаны на рисунке 2.

Напряжение на  
аноде тиристора  
U3

Напряжение на  
управляющем  
электроде тири-  
стора U3

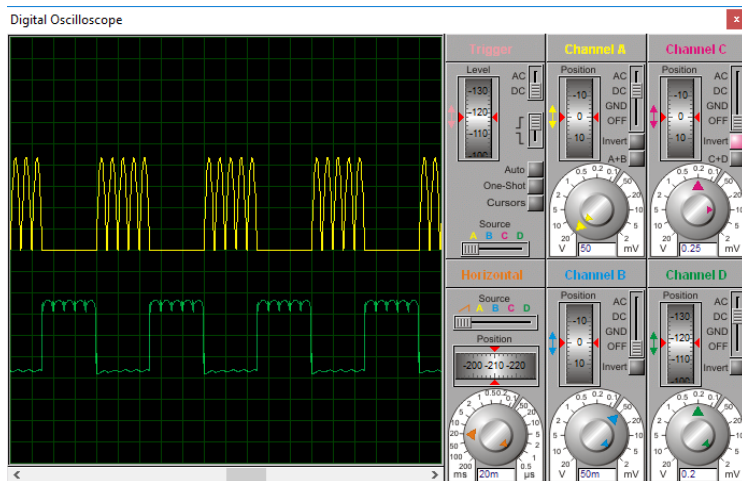


Рисунок 2 – Результаты моделирования схемы при среднем положении резистора RV1

Устройство состоит из выпрямителя на диодах VD2-VD5, мультивибратора с регулируемой скважностью импульсов (U1.A, U1.B), формирователя импульсов (U1.D), узла совпадения (U1.C). В крайнем нижнем по схеме положении движка переменного резистора RV1 на выходе элемента U1.B будет сигнал низкого уровня, что соответствует нулевой мощности в нагрузке, а в другом - сигнал логической 1, что соответствует 100 % мощности. В моменты, когда выпрямленное сетевое напряжение равно нулю, формирователь вырабатывает короткие импульсы. Узел совпадения пропускает на базу транзистора Q2 пачки импульсов, которые управляют включением тринистора. Тринистор открывается и пропускает в нагрузку соответствующее число полупериодов выпрямленного напряжения.

После проверки работоспособности модели создаём схему печатной платы в модуле Proteus PCB Layout. С помощью лазерно-утюжной технологии производства была получена готовая печатная плата на фольгированном текстолите. Сравнение схемы из Proteus и готовой платы показано на рисунке 3.

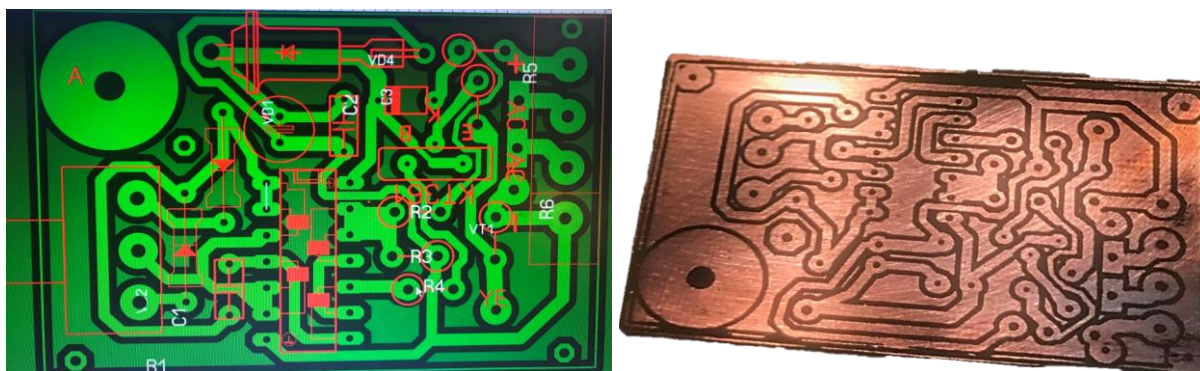


Рисунок 3 – Схема печатной платы регулятора мощности

После запайки необходимых компонентов получилось готовое устройство (рисунок 4).

Проверка работоспособности устройства производилась с помощью цифрового осциллографа. При исправной работе устройства на нагрузке должны быть следующие осциллограммы (рисунки 5, 6):



Рисунок 4 – Регулятор мощности паяльника в сборе

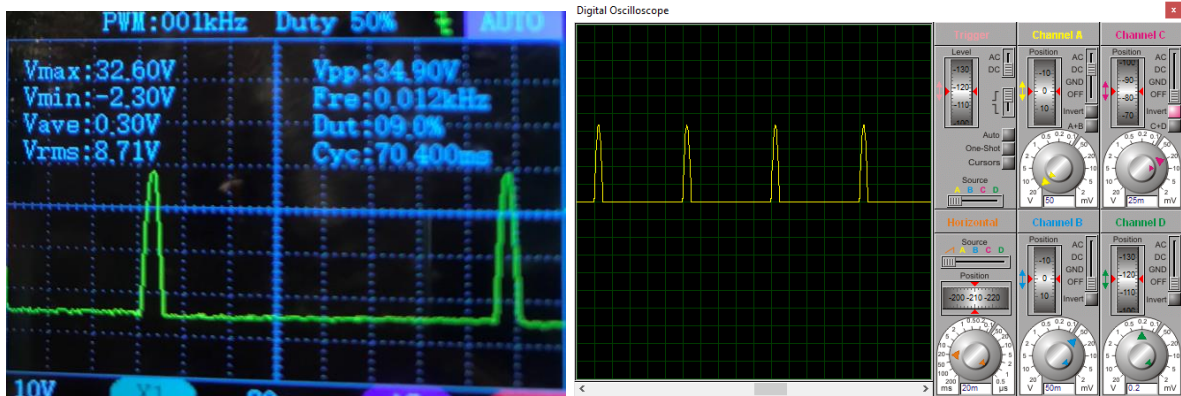


Рисунок 5 – Сравнение осциллограмм напряжения собранного устройства и модели. Минимальная мощность на нагрузке

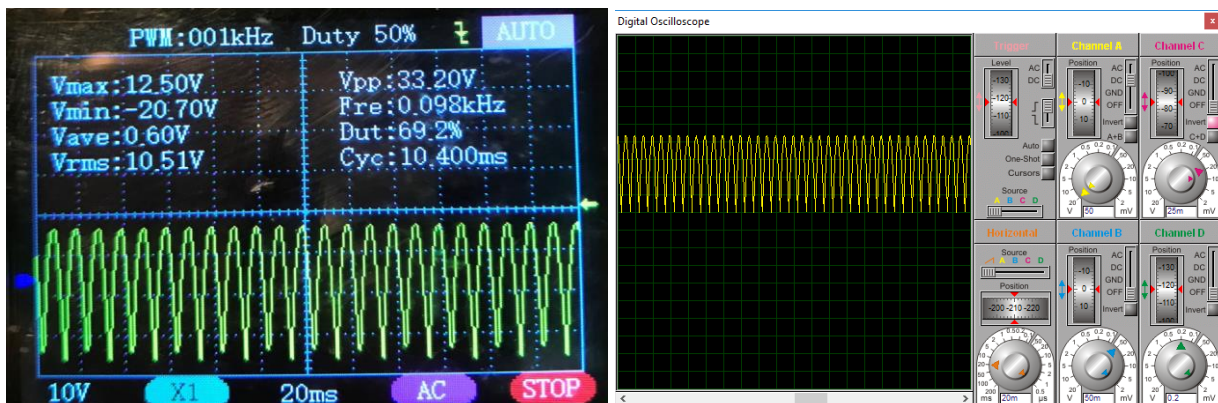


Рисунок 6 – Сравнение осциллограмм напряжения собранного устройства и модели. Максимальная мощность на нагрузке

В ходе выполнения работы был получен ценный опыт проектирования электронных устройств в САПР Proteus. Был произведен полный цикл работ от разработки схемы модели до сборки готового устройства. Данный опыт будет внедрён в учебный процесс на кафедре Электротехники, электропривода и промышленной электроники, что позволит повысить качество обучения.

### Библиографический список

1. Евсеев А.Н. Полезные схемы для радиолюбителей М.: Солон-Р, 2004. – 240 с.
2. Гололобов В. Н. Proteus VSM - русское руководство. Labcenter Electronics Co, 2015.

## ТЕХНОЛОГИЯ ПОДГОТОВКИ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ К ПРОИЗВОДСТВУ

Рогожников И.П.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»  
г. Новокузнецк, Россия, oldbrowze@gmail.com

**Аннотация.** Актуальность данной темы обусловлена тем, что в настоящее время микроэлектроника стремительно развивается: создаются новые устройства, сокращаются размеры изготавливаемых устройств, что вызывает необходимость в совершенствовании технологий изготовления печатных плат, а также необходимости соблюдения правил топологии печатных плат.

**Ключевые слова:** микроэлектроника, печатные платы, топологическое проектирование печатных плат.

**Abstract.** The relevance of this topic is due to the fact that microelectronics is currently developing rapidly: new devices are being created, the size of manufactured devices is being reduced, which makes it necessary to improve the technologies for manufacturing printed circuit boards, as well as the need to comply with the rules of the topology of printed circuit boards.

**Keywords:** microelectronics, printed circuit boards, topological design of printed circuit boards.

Согласно стандарту, в зависимости от количества слоев, в РФ разделяют печатные платы (далее – ПП) на несколько категорий [1]:

- однослойная печатная плата;
- двухслойная печатная плата;
- многослойная печатная плата.

Стандарт также устанавливает и размеры печатных плат [2]:

1. размер сторон ПП должен быть согласован с размером конструкции, для которой она предназначена;
2. размер каждой стороны должен быть кратен:
  - 2,5 мм при длине более 100 мм;
  - 5,0 мм при длине до 350 мм;
  - 10,0 мм при длине более 350 мм;
3. толщина одно-, двухслойной ПП определяется лишь толщиной материала с учетом толщины паяльной маски и гальванических покрытий;
4. толщина многослойной платы определяется по формуле:

$$H_{\text{п}} = \sum H_{\text{с}} + (0,75 \div 0,95) \sum H_{\text{пр}}, \quad (1)$$

где  $H_{\text{с}}$  – толщина слоя платы с учётом химически-гальванического покрытия, мм;  
 $H_{\text{пр}}$  – толщина прокладки с пропиткой, мм.

Немало важным фактором является и то, что при проектировании ПП необходимо учитывать и шаги координатной сетки, равные 0,5 мм в каждом направлении [3].

В настоящее время для проектирования топологии доступны множество продуктов, распространяемые как по бесплатной лицензии, так и по коммерческой, например:

- Altium Designer;
- DipTrace;
- EasyEDA;
- KiCAD.

В качестве примера, в настоящей статье будет рассматриваться EasyEDA.

Для начала проектирования топологии печатной платы, как правило, формируют принципиальную схему устройства. В общем случае, программы САПР ПП имеют в своем составе и возможность изготовления принципиальных схем. Использование таких программ предпочтительнее, поскольку в них предусмотрена возможность автоматиче-

ского создания топологии платы по уже сформированной принципиальной схеме (рисунок 1).

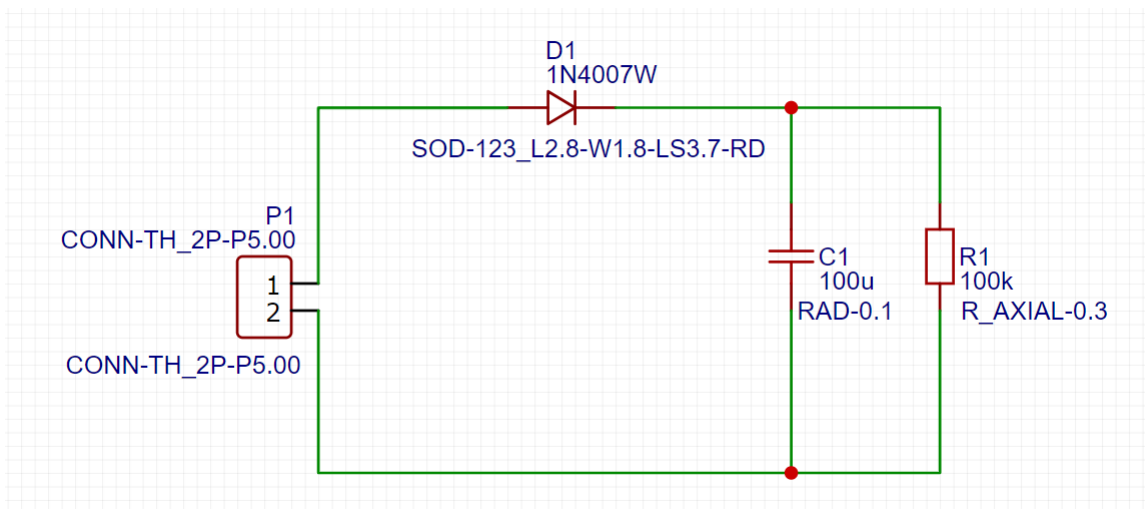


Рисунок 1 – Принципиальная схема установки

В качестве примера для создания печатной платы рассмотрим схему однополупериодного выпрямителя, созданную в уже упомянутом ПО.

Как можно было заметить, под компонентами автоматически проставились их посадочные места. Это связано с тем, что данные компоненты были выбраны уже из имеющейся базы данных компонентов. Данная база индивидуальна для каждого ПО, но, как правило, включает большинство компонентов, включая полупроводники и коммутационные устройства. В базу компонентов могут добавлять сами элементы любой пользователь. В основном, добавляют компоненты их производители, предварительно подготавливая и присваивая им посадочные места.

После того, как принципиальная схема создана, ее переводят в вид печатной платы. Как уже было сказано, многие ПО поддерживают эту функцию:

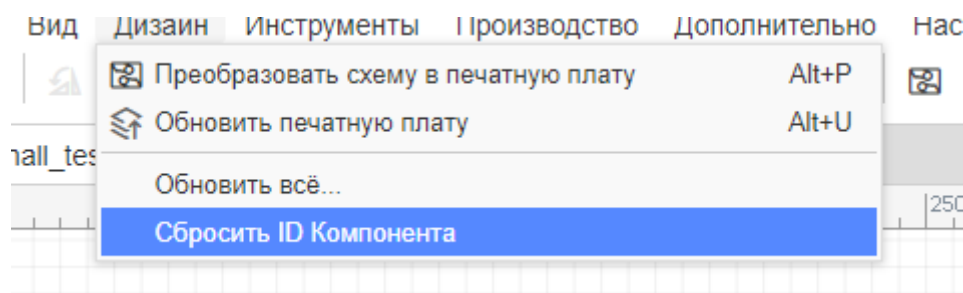


Рисунок 2 – Возможность автоматического преобразования схемы в ПП

После того, как программа перенесла компоненты в другую рабочую область, пользователю предлагается изменить размер разрабатываемой ПП, установленный самим ПО.

В результате перед разработчиком располагаются границы ПП, а также компоненты (посадочные места) из принципиальной схемы.

Перед тем, как начать разводку платы (создание топологии), необходимо изменить шаг сетки, дабы плата удовлетворяла требованиям ГОСТ [3], изменив в ПО пункт «Размер сетки» на 0.5 мм.

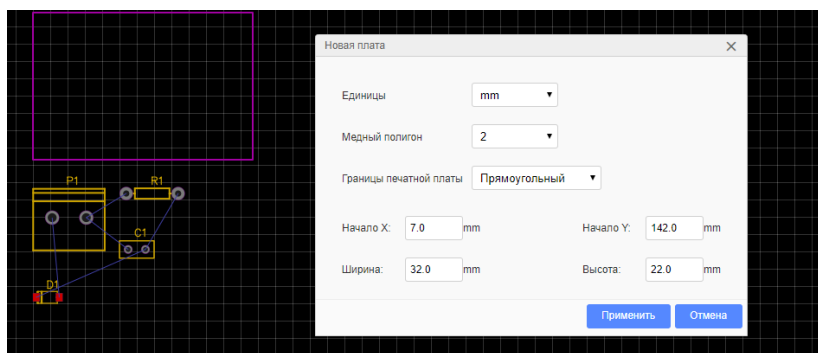


Рисунок 3 – Предлагаемое изменение размера

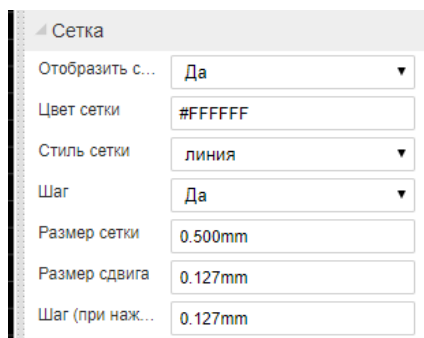


Рисунок 4 – Параметры координатной сетки

После того, как рабочее место готово к созданию топологии, перед разработчиком стоит задача скомпоновать элементы внутри границ платы, соблюдая все нормы и правила, упомянутые выше.

Если компоненты установлены должным образом, необходимо соединить токопроводящие части каждого компонента с другими частями других компонентов токопроводящими шинами – печатными проводникам (токопроводящими дорожками). [4] Современные САПР подсвечивают необходимые соединения во избежание ошибок разработчика. При выборе размеров дорожек и расстоянием между ними, необходимо руководствоваться ГОСТ 23751-86, который регламентирует определенное расстояние при различных условия (условия повышенной температуры, высокого напряжения, высокой токовой нагрузки на дорожки).

В результате, после того как разработчик соединил все токопроводящие части (рисунок 5) согласно принципиальной схеме, он может предварительно посмотреть 2D-, 3D-модель печатной платы при различных её параметрах (например, разная паяльная маска и т. д) (рисунок 6), предварительно выбрав на панели управления вкладку «Вид».

После того, как разработчик посчитал, что плата соответствует всем нормам и требованиям ГОСТ и иных стандартов, необходимо получить от ПО так называемый файл формата gerber, где содержится вся информация обо всех компонентах (посадочные места, ширина переходных отверстий, т.д). Для этого необходимо нажать на панели управления «Производство» и выбрать «Файл для производства» (рисунок 7).

Исходя из того, что проектирование современных высокотехнологичных плат в домашних условиях весьма затруднено, существуют компании, предоставляющие услуги производства ПП высокого качества (в т.ч. на территории РФ). При изготовлении ПП компания-изготовитель потребует всего лишь Gerber-файл печатной платы от разработчика.

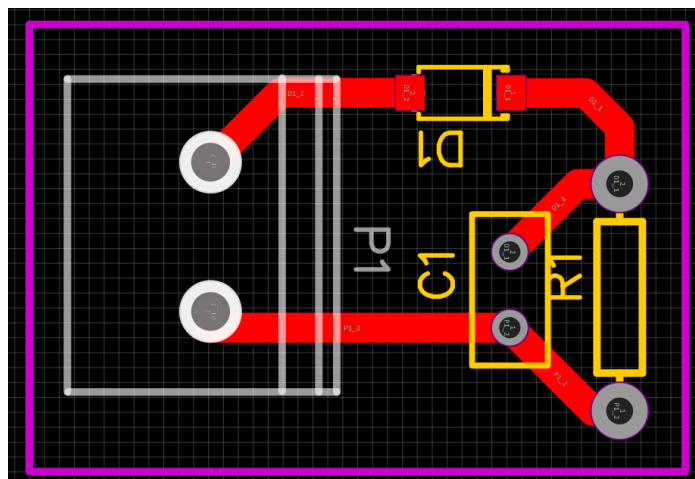


Рисунок 5 – Топологическая модель ПП

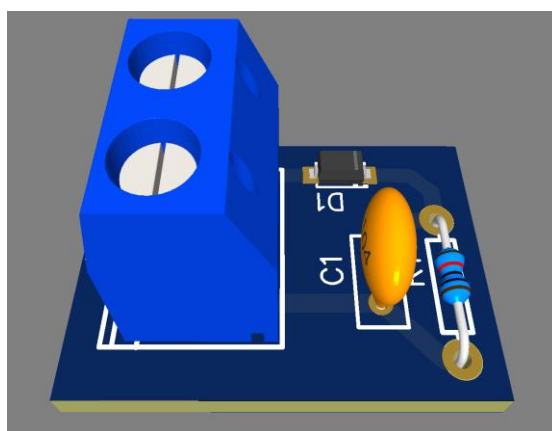


Рисунок 6 – 3D-модель печатной платы

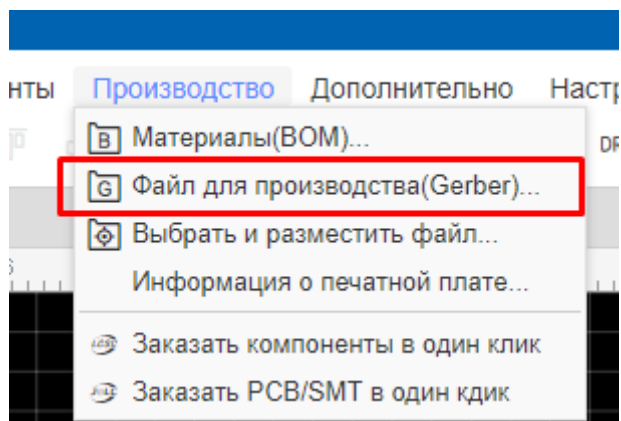


Рисунок 7 – Получение gerber-файла ПП

Поскольку уже было сказано, что в gerber-файл уже входит вся техническая информация, компания изготавливает ПП без участия разработчика.

В заключение можно отметить, что производство высокотехнологичных печатных плат в настоящее время не представляет из себя крайне сложного занятия. При проектировании важно учитывать необходимые нормы стандартов и правил.

## Библиографический список

1. ГОСТ Р 53386-2009. ПЛАТЫ ПЕЧАТНЫЕ. Термины и определения– Текст : электронный // ГОСТ Р 53386-2009: [сайт]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200074481>(дата обращения: 23.11.2022).
2. ГОСТ Р 53429-2009. ПЛАТЫ ПЕЧАТНЫЕ. Основные параметры конструкции. – Текст : электронный // ГОСТ Р 53429-2009 : [сайт]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200075977> (дата обращения: 23.11.2022).
3. ГОСТ Р 51040-1997. ПЛАТЫ ПЕЧАТНЫЕ. Шаги координатной сетки. – Текст : электронный // ГОСТ Р 51040-1997: [сайт]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200027689> (дата обращения: 23.11.2022).

УДК 622.6

## ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ШПУ С МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ

Рогожников И.П., Борщинский М.Ю.

*ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»  
г. Новокузнецк, Россия,*

**Аннотация.** Рассмотрены особенности и требования к электроприводу шахтной подъёмной установки. Предложена функциональная схема физической модели с микропроцессорной системой управления. Разработана принципиальная схема и печатная плата устройства.

**Ключевые слова:** шахтная подъёмная установка, электропривод, широтно-импульсная модуляция, двухконтурное регулирование, микроконтроллеры, энкодер, датчик тока.

**Abstract.** The features and requirements for the electric drive of a mine hoist are considered. A functional diagram of a physical model with a microprocessor control system is proposed. A schematic diagram and a printed circuit board of the device have been developed.

**Keywords:** mine hoist, electric drive, pulse-width modulation, two-loop control, microcontrollers, encoder, current sensor.

Среди электроприводов в горнодобывающей промышленности особое место занимает электропривод шахтных подъёмных установок (ШПУ), прежде всего - рудных подъёмов, являющихся самыми мощными потребителями электроэнергии. Это - электропривод среднего быстродействия, характеризующийся наличием больших маховых масс и упругих соединений между ними, что оказывает существенное влияние на формирование динамических и статических свойств электропривода [1].

В диаграмме движения ШПУ присутствуют три основных периода: разгон, движение с установившейся скоростью, замедление. Наиболее распространенной для шахтных подъёмных машин является так называемая шестипериодная диаграмма скорости, в соответствии с которой осуществляется движение скиповых подъёмных установок, а также ряда клетевых. В скиповых подъёмных установках следует выделить и режим растормаживания, который заключается в том, что в момент снятия механического тормоза на валу подъёмной машины создается момент, равный статической нагрузке [2] (рисунок 1).

В каждом из режимов к электроприводу предъявляются различные требования, сформулированные как условия плавности движения для уменьшения динамических нагрузок с ограничением параметров пути, скорости, ускорения, рывка.

Целью работы является разработка физической модели ШПУ. Это позволит изучить особенности данного типа электроприводов и учесть их при проектировании микропроцессорной системы управления.

На рисунке 2 представлена функциональная схема стенда.



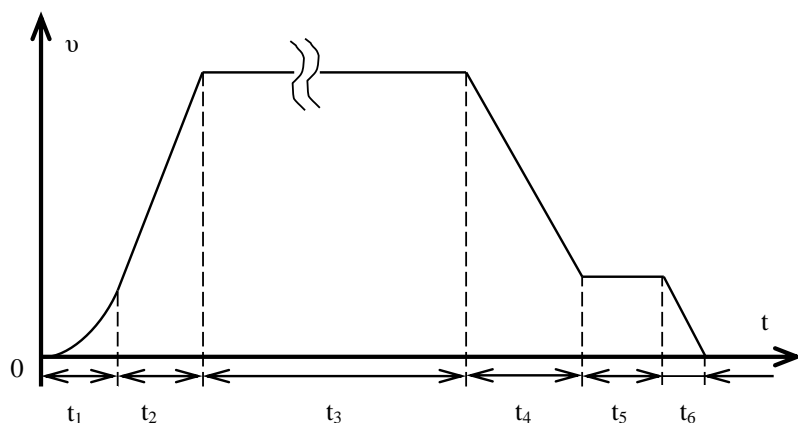


Рисунок 1 – Шестипериодная диаграмма скорости подъемной установки

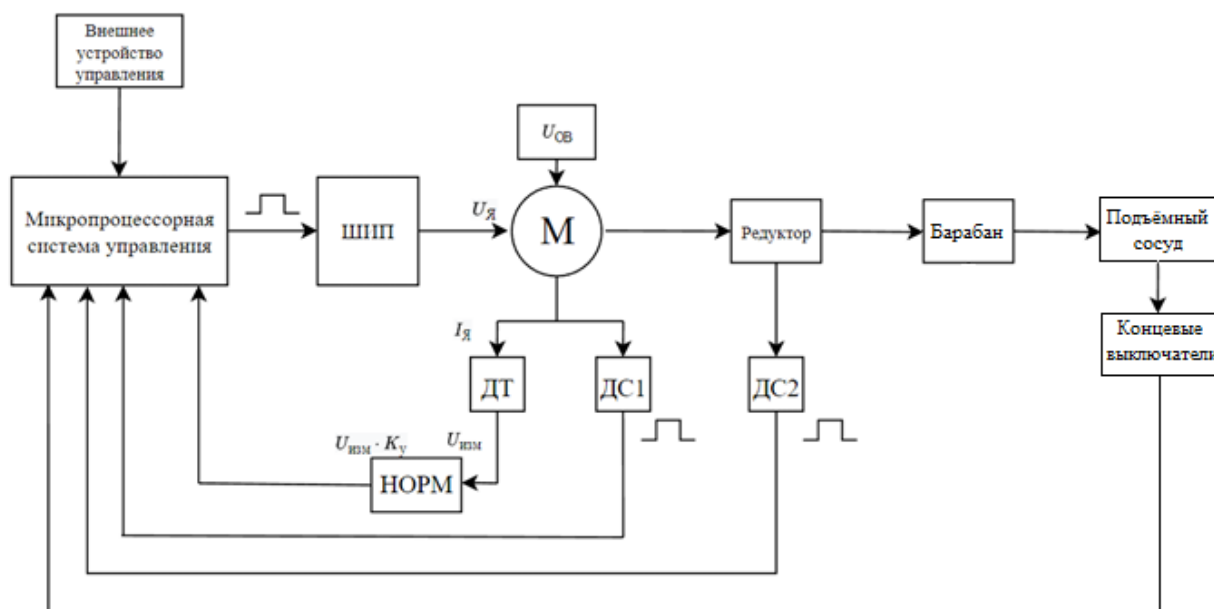


Рисунок 2 – Функциональная схема стенда

Система электропривода с цифровым управлением состоит из нескольких элементов.

Электромеханическая часть включает двигатель и рабочий механизм. Его назначение - приведение в движение исполнительных органов стенда по заданному закону. Электрический двигатель (ЭД) механически соединён с редуктором. Крутящий момент, создаваемый ЭД, передается на редуктор, который в свою очередь, начинает поворачивать барабан с намотанным канатом, поднимая/опуская подъемный сосуд. Крайние положения сосудов контролируются с помощью герконовых конечных выключателей. К ЭД подключены датчики тока (ДТ) и скорости (ДС1), к редуктору - датчик скорости (ДС2).

Датчик тока на эффекте Холла формирует сигнал пропорциональный току якоря электродвигателя. Для согласования уровней напряжения (5 В датчика и 3,3 В АЦП микроконтроллера) применён нормализатор на операционном усилителе.

Датчики скорости представляют собой инкрементальные энкодеры с разрешающей способностью 1000 импульсов на оборот, что позволяет считывать углы поворота двигателя и редуктора с высокой точностью и преобразовывать их в скорость вращения. Уров-

ни напряжений датчиков скорости (ДС1, ДС2) согласованы со счётными входами микроконтроллера, поэтому они подключены напрямую.

Устройство преобразования энергии представляет собой диодный выпрямитель переменного напряжения сети в постоянное и широтно-импульсный преобразователь (ШИП) на силовых транзисторах. Напряжение ШИП в виде высокочастотных импульсов амплитудой 5В подаётся на якорь двигателя. Среднее напряжение электродвигателя зависит от скважности импульсов и задаётся широтно-импульсным модулятором микроконтроллера. В качестве ШИП использовано готовое устройство IBT2 на базе двух H-полумостов BTS7960. Применение ШИП позволяет гибко управлять двигателем с высоким быстродействием: тормозить, разгонять и реверсировать. Питание обмотки возбуждения электродвигателя независимое.

Микропроцессорная система управления (МСУ) представлена в виде отладочной платы EK-TM4C123GXL от фирмы Texas Instruments. Основу платы составляет 32-разрядный микроконтроллер TM4C123GH6PMI серии Tiva C с частотой 80 МГц на базе ARM Cortex M4F. Микроконтроллеры серии Tiva C оснащены 12-разрядным АЦП с полной скоростью 1 MSPS, 40 выходами ШИМ, 2 интерфейсами квадратурного энкодера и широкой поддержкой коммуникационных периферийных устройств, включая 8 UARTS, 4 SPI/SSI и 6 I2C [3]. Программирование выполняется в среде разработки Code Composer Studio на языке C.

В МСУ предусмотрен модуль приёма/передачи данных по радиоканалу частотой 2,4 ГГц NRF24L01 от фирмы Nordic Semiconductor для подключения беспроводных датчиков и контроллеров.

Внешнее управление платы организовано с использованием протоколов PS/2 и RS485. Для выполнения основных операций, например, запуск, ускорение, замедление и реверс электропривода, по протоколу PS/2 была организована связь с IBM PC/AT совместимой клавиатурой, расположенной на стенде.

Поддержка протокола RS485 позволяет удалённо получать команды (например, изменение коэффициентов регулятора) минуя программирование контроллера напрямую от кафедрального сервера. Также имеется возможность подключать дополнительные датчики, поддерживающие этот протокол.

Отладочная плата EK-TM4C123GXL должна быть связана со всеми перечисленными устройствами (датчики, ШИП, внешнее управление, источник питания), поэтому была разработана и изготовлена печатная плата принципиальная схема, которой представлена на рисунке 3.

На рисунке 4 показан внешний вид платы МСУ. На ней установлена отладочная плата с микроконтроллером и плата радиомодуля.

После подключения внешних проводников была проверена работоспособность стенда в целом. Задание скорости и выбор направления вращения двигателя выполнялись с помощью клавиатуры. Данные с датчиков можно наблюдать в среде разработки и передавать по RS485.

Разработанный стенд позволит обучающимся кафедры Электротехники, электропривода и промышленной электроники приобрести практические навыки программирования микропроцессорной системы управления, изучить особенности работы систем управления ШПУ и научиться задавать диаграммы скорости движения.

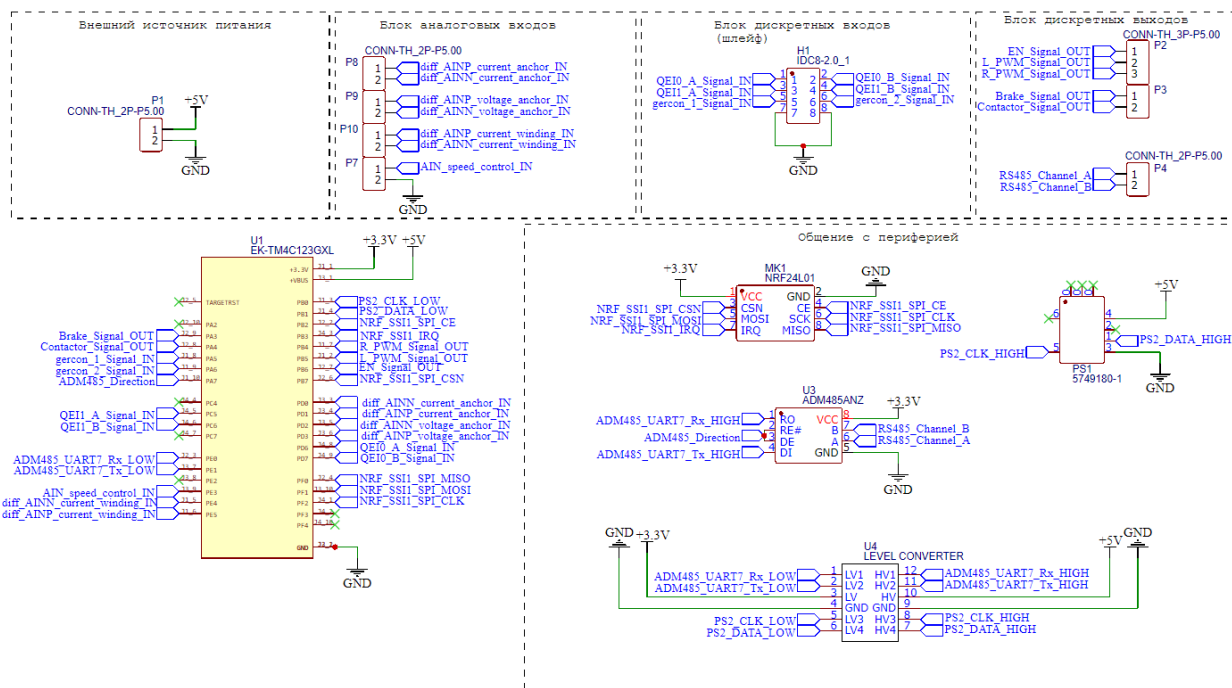


Рисунок 3 – Принципиальная схема МСУ

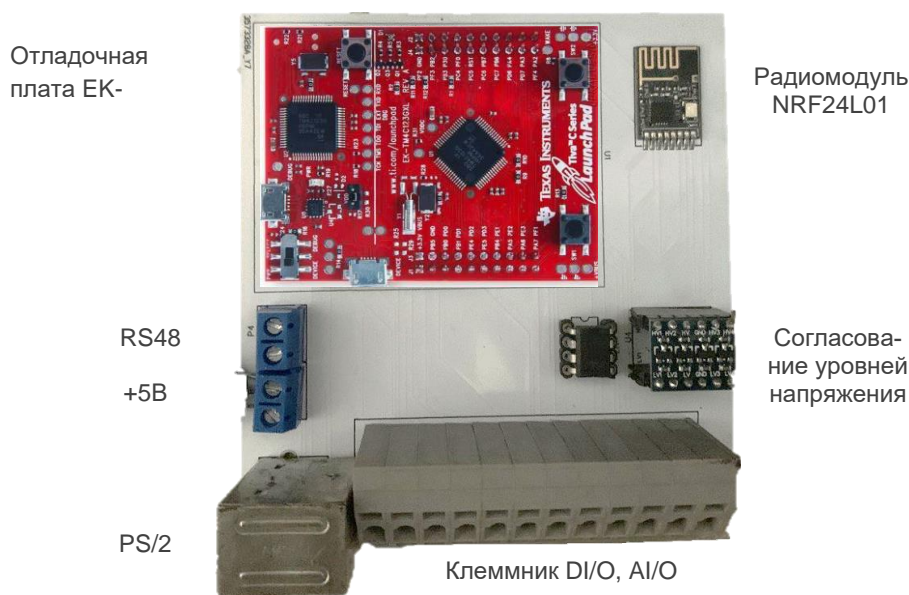


Рисунок 4 – Внешний вид платы управления

### Библиографический список

1. Островлянич В.Ю. Автоматический электропривод постоянного тока горно-металлургического производства. – Томск, изд-во ТГУ, 1997. – 359 с.
2. Киричок Ю.Г. Привод шахтных подъемных установок большой мощности [Текст]/Ю.Г. Киричок, В.М. Чермалых. –М.: Недра, 1972.–256 с.
3. EK-TM4C123GXL Evaluation board [Электронный ресурс] URL: <https://www.ti.com/tool/EK-TM4C123GXL>.

## СПИСОК АВТОРОВ

<b>B</b>		Арбузов И.С.	336
		Асмаатбеков А.К.	599
Bandyopadhyay S.	177	<b>Б</b>	
Banerjee A.	177, 420	Бабушкин С.В.	605
Bhattacharjee S.	177, 420	Бабушкина О.С.	406, 480
Bhattacharyya S.	172	Байдалин А.Д.	247
<b>C</b>		Баловнев Е.А.	20
Chakraborty P.	172, 420	Баркалов С.А.	385, 491
<b>D</b>		Барышникова К.В.	551
Das A.	172	Бегинина А.Г.	413, 417
<b>G</b>		Бедарев М.А.	571
Gusev S.S.	98	Бекирова О.Н.	491
<b>K</b>		Белавенцева Д.Ю.	341
Kukolev A.A.	145	Белов В.М.	513
<b>M</b>		Белоусова О.Н.	276
Misra P.	172	Белый А.М.	155
<b>N</b>		Билецкая Д.А.	152
Neogi B.	172, 177, 420	Блинов Р.В.	542
Nikitenko M.S.	172, 177, 420	Блюмин С.Л.	459
<b>P</b>		Борщинский М.Ю.	608, 616
Pal M.	172, 177, 420	Бочаров Вик.В.	332
Piotrovsky D.L.	145	Бочаров Вяч.В.	332
Podgorny S.A.	145	Буинцев В.Н.	199, 257
<b>R</b>		Бурков В.Н.	9
Roos K.	368	Буркова И.В.	9
Roy M.	420	Бычков А.Г.	453
<b>S</b>		Бычков К.В.	542
Sinha N.	177	<b>В</b>	
Spitsyn V.V.	145	Васянин А.К.	521
<b>Y</b>		Веревкин В.И.	79
Yao Keyu	264	Веревкин С.В.	79
<b>A</b>		Власенко А.Е.	244, 487
Агапитов Е.М.	316	Вторникова Я.А.	491
Александрова М.И.	469	<b>Г</b>	
Амелина К.Е.	464	Гайнутдинов Л.Н.	320
Антонов Е.В.	167	Гасымов Р.Р.	341
		Гатаулина И.М.	240
		Гейль К.Э.	303
		Голиков Д.Ю.	316
		Голодова М.А.	219
		Гольцев В.А.	117
		Гоосен Е.В.	391
		Городнов Я.А.	310
		Гостевская А.Н.	396
		Графкин А.В.	469
		Грачев А.В.	307
		Губанов К.Н.	382
		Губанов Н.В.	212
		Гурин И.А.	3, 56, 61, 167, 348

Гутова С.Г.	279	Кораблина Т.В.	476
Гуторова Е.А.	123	Корнеев В.А.	109
<b>Д</b>		Корнеева Д.И.	109
Дворянчиков М.В.	152	Коровин Е.В.	193
Добронец Б.С.	437, 442	Костылева Л.Ю.	354
Домнышев А.В.	447	Кравцов М.С.	536
Дробышев В.К.	325, 377	Крестелев Д.А.	494
Дудко В.А.	117	Кручинин Д.В.	135
Дурнев А.А.	336	Крюков А.В.	193
<b>Е</b>		Кубарев В.А.	586, 592, 599, 605
Ермакова Л.А.	411	Кузнецова Е.С.	310, 336, 377, 586
Ершов А.К.	117	Кузьмин Д.Е.	542
Ефременкова М.В.	90	Кулаков С.М.	37, 74
<b>Ж</b>		Кулебакин И.И.	109
Жилина Н.М.	15, 244, 487	Куликов Е.С.	113
Жуков П.И.	293	Купчик Б.М.	193
<b>З</b>		Купчик М.Б.	193
Зайцев Н.С.	586	Курмаз Д.А.	533
Затепякин О.А.	447	<b>Л</b>	
Захарова Е.В.	244	Лавров В.В.	3, 56, 61, 348
Зеркаль С.М.	276, 360	Лактионов С.А.	322
Зимин А.В.	528	Леонтъев А.С.	204
Золотов А.В.	139	Ликсонова Д.И.	251
<b>И</b>		Логунов Г.М.	257, 260
Игушев В.Ф.	79	Ложкин А.А.	391
Исаев В.В.	494	Лукоянов А.В.	139
Истомин А.С.	32	<b>М</b>	
<b>К</b>		Мажарова Л.А.	385
Каган Е.С.	391	Маркидонов А.В.	396
Каиркенов Х.К.	528	Мартусевич Е.А.	199
Калашников С.Н.	382, 406, 480, 517, 521	Маршев Д.А.	25, 592
Каменная А.В.	95	Маслова Е.В.	453
Качалкова К.И.	341	Медведев А.В.	251
Кизиллов С.А.	20, 90, 95	Мезенцева А.В.	575
Кипервассер М.В.	555, 571	Михайлов И.С.	345
Киселев Е.В.	117	Михайлова О.В.	132
Киселёва Т.В.	453, 533	Михайлович А.П.	316
Клевцов С.А.	564	Михальченко М.А.	391
Климантова И.П.	244	Модзелевский Д.Е.	564
Климов О.А.	167	<b>Н</b>	
Кожевников А.А.	286	Наджафов Т.И.	299
Койнов Р.С.	74, 494	Никитенко М.С.	20, 90, 95
Колпинская С.А.	391	Нинидзе Д.Л.	499
Колчагов П.О.	608	Новиков А.А.	193
Кольчурина М.А.	272	Новосельцева М.А.	279
Коновалов О.В.	571	Нохрина О.И.	219
		<b>О</b>	
		Островляничик В.Ю.	586, 592

## П

Павлов А.В.	3
Павлова Л.Д.	400
Панкова И.И.	494
Перевалова О.С.	385
Пермякова Е.П.	332
Пестрецов А.Е.	336
Пестунов А.И.	513
Петров В.А.	345
Пешков А.В.	360
Полещенко Д.А.	345
Полосухин А.Е.	336
Попинако Я.В.	20
Попова О.А.	437, 442
Поповян Н.О.	506
Поползин И.Ю.	25, 325, 592
Прокопенко С.С.	578
Прохоров И.М.	132, 161
Пьянова Е.А.	167

## Р

Ренге Л.В.	487
Решитько М.А.	524
Рогачев В.Е.	316
Рогожников И.П.	612, 616
Рожихина И.Д.	219
Романова В.А.	325, 377
Рыбенко И.А.	199, 219, 231, 341, 368
Рыбка А.Д.	513
Рыленков Д.А.	517
Рябов А.В.	365

## С

Сазонова Г.А.	128
Саидмуродов Б.Р.	56
Сарсембин А.О.	599
Сёмина В.В.	372
Сеченов П.А.	225, 231
Симилова А.А.	68
Спиридонов В.В.	132
Спирин Н.А.	3, 32, 61, 348
Стищенко К.П.	555
Сулимова А.А.	68
Суриков К.Э.	193

## Т

Тагильцев-Галета К.В.	322
-----------------------	-----

Тараборина Е.Н.	74
Тарасенко А.А.	547
Таскабулов Г.Р.	155
Темнохудов Д.Р.	37
Титова Т.К.	325
Трофимов В.Б.	42

## У

Усов А.Б.	499, 506, 536
Ушакова Д.Е.	204

## Ф

Фадеев Р.Н.	237
Федоров В.В.	559
Федосова Л.О.	139
Федотов Г.А.	3, 32
Филина О.А.	578
Филипас А.А.	365
Фомин А.В.	293
Фомин В.В.	316
Фрянов В.Н.	400

## Х

Херасков В.Ю.	15
Худоногов Д.Ю.	20, 90, 95

## Ч

Черкасов П.В.	20
Четвертков Е.В.	476
Чеченин Г.И.	15
Чичерин И.В.	68

## Ш

Шабля Ю.В.	135
Шикова А.А.	139
Шломин А.А.	437

## Щ

Щепкин А.В.	464
Щипанов К.А.	32

## Я

Якушева О.Н.	244
Якушенков Д.В.	269

## СОДЕРЖАНИЕ

### ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

*Спирин Н.А., Лавров В.В., Павлов А.В., Гурин И.А., Федотов Г.А.*

**Интегрированная автоматизированная информационно-моделирующая система анализа и прогнозирования параметров работы комплекса доменных печей ..... 3**

*Бурков В.Н., Буркова И.В.*

**Метод сетевого программирования в задачах управления ..... 9**

*Жилина Н.М., Чеченин Г.И., Херасков В.Ю.*

**Медицинская демография в сравнении показателей России и Новокузнецка..... 15**

*Кизилов С.А., Баловнев Е.А., Черкасов П.В., Никитенко М.С., Худогов Д.Ю., Попинако Я.В.*

**Подходы к автоматизированной оценке объема и состава горной массы в процессе выпуска угля на забойный конвейер ..... 20**

*Поползин И.Ю., Маршев Д.А.*

**Анализ режимов работы электропривода подъемной установки, построенного на основе машины двойного питания ..... 25**

### **СЕКЦИЯ 1. Системы автоматизации производственного, исследовательского и учебного назначения**

*Спирин Н.А., Федотов Г.А., Истомин А.С., Щипанов К.А.*

**Количественные критерии и алгоритмы расчета для оценки диагностики режима работы доменной печи ..... 32**

*Темнохудов Д.Р., Кулаков С.М.*

**О формировании оптимальных раскройных планов на участке отделки 25-метровых рельсов..... 37**

*Трофимов В.Б.*

**Распознавание состояния доменной плавки на основе нейросетевых технологий ..... 42**

*Саидмуродов Б.Р., Лавров В.В., Гурин И.А.*

**Проектирование и программная реализация интеллектуальной системы анализа температуры холодильников системы охлаждения доменной печи ..... 56**

*Лавров В.В., Гурин И.А., Спирин Н.А.*

**Применение в образовательной деятельности гибкой методологии разработки программного обеспечения информационных систем..... 61**

*Сулимова А.А., Симилова А.А., Чичерин И.В.*

**Программно-аппаратный комплекс автоматизированной системы управления радиальным сгустителем на основе концепции пространства состояний и вейвлет-преобразований при неполной информации о технологических параметрах..... 68**

*Койнов Р.С., Кулаков С.М., Тараборина Е.Н.*

**О разработке моделирующего комплекса для исследования эффективности механизмов прецедентного управления ..... 74**

<i>Веровкин В.И., Игушев В.Ф., Веровкин С.В.</i>	
<b>Конструкторско-технологические меры повышения стойкости стальных обшивок судов к электрохимической коррозии .....</b>	<b>79</b>
<i>Худоногов Д.Ю., Ефременкова М.В., Никитенко М.С., Кизилов С.А.</i>	
<b>Система контроля качества масла в режиме реального времени эксплуатации агрегатов в полевых и лабораторных условиях .....</b>	<b>90</b>
<i>Каменная А.В., Кизилов С.А., Никитенко М.С., Худоногов Д.Ю.</i>	
<b>Методы экспресс-анализа состава газовой среды при проведении подземной добычи угля.....</b>	<b>95</b>
<i>Gusev S.S.</i>	
<b>Construction of a modified algorithm for identifying a dynamic control object based on experimental data from VVER-440 and VVER-1000 reactor models .....</b>	<b>98</b>
<i>Кулебакин И.И., Корнеева Д.И., Корнеев В.А.</i>	
<b>Анализ существующих экспресс-методов определения прочности горных пород на предмет возможности их применения в роботизированных горных машинах при проведении анкерного крепления выработок .....</b>	<b>109</b>
<i>Куликов Е.С.</i>	
<b>Разработка автоматизированной системы вибродиагностики эксгаустеров агломерационной фабрики.....</b>	<b>113</b>
<i>Гольцев В.А., Киселев Е.В., Дудко В.А., Ершов А.К.</i>	
<b>Моделирование системы принудительного удаления газопылевой смеси из помещения плавильного цеха.....</b>	<b>117</b>
<i>Гуторова Е.А.</i>	
<b>Современные технологии автоматизации в управлении буровзрывными работами.....</b>	<b>123</b>
<i>Сазонова Г.А.</i>	
<b>Стабилизация параметров газовой смеси на отопление нагревательных печей .....</b>	<b>128</b>
<i>Спирidonov В.В., Прохоров И.М., Михайлова О.В.</i>	
<b>Прикладные задачи использования имитационных моделей технологических процессов автоматизированных производств .....</b>	<b>132</b>
<i>Шабля Ю.В., Кручинин Д.В.</i>	
<b>Автоматизация генерации и проверки математических задач с помощью системы STACK в Moodle LMS.....</b>	<b>135</b>
<i>Шикова А.А., Федосова Л.О., Золотов А.В., Лукоянов А.В.</i>	
<b>Моделирование и разработка комплексного программного обеспечения для пневматического стенда под управлением отечественным ПЛК .....</b>	<b>139</b>
<i>Kukolev A.A., Piotrovsky D.L., Podgorny S.A., Spitsyn V.V.</i>	
<b>Particle swarm optimization method software algorithm for complex control system dynamic link approximation with second order aperiodic link .....</b>	<b>145</b>
<i>Билецкая Д.А., Дворянчиков М.В.</i>	
<b>Сентимент-анализ: классификация текстов по эмоциональной окраске .....</b>	<b>152</b>
<i>Таскабулов Г.Р., Белый А.М.</i>	
<b>Разработка автоматизированной online - системы консультирования на базе электронного мессенджера Telegram.....</b>	<b>155</b>



<i>Прохоров И.М.</i>	
<b>Трансформация образовательного процесса на основе цифровых моделей технологических объектов .....</b>	<b>161</b>
<i>Пьянова Е.А., Антонов Е.В., Климов О.А., Гурин И.А.</i>	
<b>Применение Headless CMS Directus при разработке веб-сайтов .....</b>	<b>167</b>
<i>Chakraborty P., Bhattacharyya S., Misra P., Pal M., Neogi B., Nikitenko M.S., Das A.</i>	
<b>A IOT based platform for upper limb rehabilitative services .....</b>	<b>172</b>
<i>Bhattacharjee S., Bandyopadhyay S., Sinha N., Banerjee A., Pal M., Neogi B., Nikitenko M.</i>	
<b>Experimental investigation of inductor topologies: a modification of triangular model .....</b>	<b>177</b>
<i>Крюков А.В., Купчик Б.М., Новиков А.А., Суриков К.Э., Коровин Е.В., Купчик М.Б.</i>	
<b>Автоматизированная система анализа эффективности лекарственных препаратов и принятия решений на базе методологии доказательной медицины.....</b>	<b>193</b>
<b>СЕКЦИЯ 2. Моделирование и наукоемкие информационные технологии в промышленности, науке и образовании</b>	
<i>Мартусевич Е.А., Рыбенко И.А., Буинцев В.Н.</i>	
<b>Программный комплекс «Алюминщик» для моделирования и оптимизации процесса формирования алюминиевого сплава в электрическом миксере сопротивления .....</b>	<b>199</b>
<i>Леонтьев А.С., Ушакова Д.Е.</i>	
<b>Разработка и интеграция модуля «Энергетика» для применения в рамках системы математического моделирования на АО «ЕВРАЗ ЗСМК» .....</b>	<b>204</b>
<i>Губанов Н.В.</i>	
<b>Использование численных методов в алгоритме обратного распространения ошибки на примере использования метода градиентного спуска .....</b>	<b>212</b>
<i>Голодова М.А., Рыбенко И.А., Рожихина И.Д., Нохрина О.И.</i>	
<b>Термодинамическое моделирование процесса восстановления марганца из монофазного материала .....</b>	<b>219</b>
<i>Сеченов П.А.</i>	
<b>Влияние параметра релаксации на скорость сходимости численных методов в программном комплексе T-ENERGY .....</b>	<b>225</b>
<i>Сеченов П.А., Рыбенко И.А.</i>	
<b>Исследование сходимости численных методов при расчете термодинамического равновесия в программном комплексе T-ENERGY .....</b>	<b>231</b>
<i>Фадеев Р.Н.</i>	
<b>Интеллектуальная поддержка принятия решений при управлении технологическими процессами.....</b>	<b>237</b>
<i>Гатауллина И.М.</i>	
<b>Построение математической модели собственных колебаний энергетического трубопровода .....</b>	<b>240</b>
<i>Жилина Н.М., Власенко А.Е., Климантова И.П., Захарова Е.В., Якушева О.Н.</i>	
<b>Современный опыт дистанционного обучения в системе здравоохранения .....</b>	<b>244</b>

<i>Байдалин А.Д.</i>	
<b>Продвинутые алгоритмы машинного обучения для решения задач математического моделирования .....</b>	<b>247</b>
<i>Ликсонова Д.И., Медведев А.В.</i>	
<b>О моделировании лавинообразных процессов.....</b>	<b>251</b>
<i>Буинцев В.Н., Логунов Г.М.</i>	
<b>Автоматизированная обучающая система.....</b>	<b>257</b>
<i>Логунов Г.М.</i>	
<b>Цифровая литература в современном формате .....</b>	<b>260</b>
<i>Yao Keui</i>	
<b>Robust portfolio selection with wasserstein distance .....</b>	<b>264</b>
<i>Якушенков Д.В.</i>	
<b>Роль цифровых средств в анализе и противодействии влиянию добычи полезных ископаемых на экологию .....</b>	<b>269</b>
<i>Кольчурина М.А.</i>	
<b>Разработка прогнозной модели оценки времени разморозки железнорудного сырья .....</b>	<b>272</b>
<i>Белоусова О.Н., Зеркаль С.М.</i>	
<b>Вычислительные алгоритмы палеомагнитной диагностики в случае бимодальной выборки.....</b>	<b>276</b>
<i>Новосельцева М.А., Гутова С.Г.</i>	
<b>Влияние шага дискретизации на точность идентификации мультисинусоидальных сигналов.....</b>	<b>279</b>
<i>Кожевников А.А.</i>	
<b>Моделирование процесса контроля проектной деятельности в сфере дополнительного профессионального образования .....</b>	<b>286</b>
<i>Жуков П.И., Фомин А.В.</i>	
<b>Разработка концепции надсистемы энергоэффективного управления нагревательной печью .....</b>	<b>293</b>
<i>Наджафов Т.И.</i>	
<b>О способах поиска и обнаружения загрязнений окружающей среды на спутниковых снимках средствами искусственных нейронных сетей.....</b>	<b>299</b>
<i>Гейль К.Э.</i>	
<b>О новых путях сбора сведений о ЧС и информировании населения.....</b>	<b>303</b>
<i>Грачев А.В.</i>	
<b>О типах передаваемых данных и оценке их влияния на состояние промежуточного сетевого узла-посредника .....</b>	<b>307</b>
<i>Городнов Я.А., Кузнецова Е.С.</i>	
<b>Исследование математических методов определения объема снижения потребления энергопринимающих устройств в проекте управления спросом на электроэнергию .....</b>	<b>310</b>
<i>Агапитов Е.М., Фомин В.В., Михайлович А.П., Рогачев В.Е., Голиков Д.Ю.</i>	
<b>Аспекты математического анализа статистических данных пробных площадей в качестве определения возрастных интервалов на основе размеров крон лиственницы сибирской (Полярный Урал) .....</b>	<b>316</b>

<i>Гайнутдинов Л.Н.</i>	
<b>Роль и место информационных технологий в инвестициях.....</b>	<b>320</b>
<i>Тагильцев-Галета К.В., Лактионов С.А.</i>	
<b>Цифровая метрология: определение и ее место в моделировании систем.....</b>	<b>322</b>
<i>Романова В.А., Дробышев В.К., Титова Т.К., Поползин И.Ю.</i>	
<b>Исследования влияний молнии на низковольтные системы высоковольтных электрических подстанций 110 кВ.....</b>	<b>325</b>
<i>Пермякова Е.П., Бочаров Вик.В., Бочаров Вяч.В.</i>	
<b>Data Mining в реальном времени .....</b>	<b>332</b>
<i>Кузнецова Е.С., Дурнев А.А., Пестрецов А.Е., Арбузов И.С., Полосухин А.Е.</i>	
<b>Имитационное моделирование подстанции в среде «MATLAB – SIMULINK».....</b>	<b>336</b>
<i>Рыбенко И.А., Белавенцева Д.Ю., Гасымов Р.Р., Качалкова К.И.</i>	
<b>Методика расчёта материального баланса кислородно-конвертерного процесса.....</b>	<b>341</b>
<i>Полеценко Д.А., Петров В.А., Михайлов И.С.</i>	
<b>Использование YOLOv5 для определения густоты всходов подсолнечника.....</b>	<b>345</b>
<i>Гурин И.А., Лавров В.В., Спиринов Н.А.</i>	
<b>Программные средства решения задач оптимизации в информационно-моделирующих системах .....</b>	<b>348</b>
<i>Костылева Л.Ю.</i>	
<b>Моделирование теплового состояния многослойных биметаллических пластин.....</b>	<b>354</b>
<i>Зеркаль С.М., Пешков А.В.</i>	
<b>Численное исследование томографической разрешимости специальной задачи дефектоскопии.....</b>	<b>360</b>
<i>Филипас А.А., Рябов А.В.</i>	
<b>Система технического зрения для условий плохой видимости в воздушной среде .....</b>	<b>365</b>
<i>Рыбенко И.А., Roos К.</i>	
<b>Анализ критериев оптимизации и способов решения оптимизационных задач в металлургии .....</b>	<b>368</b>
<i>Сёмина В.В.</i>	
<b>Декомпозиция и агрегирование слабосвязанных окрестностных систем.....</b>	<b>372</b>
<i>Кузнецова Е.С., Дробышев В.К., Романова В.А.</i>	
<b>Моделирование и оптимизация системы электроснабжения теплосиловой установки с применением альтернативного источника топлива .....</b>	<b>377</b>
<i>Губанов К.Н., Калашиников С.Н.</i>	
<b>Основы алгоритмизации для разработки мобильного приложения с целью распознавания кодов Data Matrix.....</b>	<b>382</b>
<i>Перевалова О.С., Баркалов С.А., Мажарова Л.А.</i>	
<b>Моделирование процесса внедрения системы наставничества в организационных системах.....</b>	<b>385</b>

<i>Каган Е.С., Гоосен Е.В., Колтинская С.А., Ложкин А.А., Михальченко М.А.</i>	
<b>Проблемы и перспективы направления разработки инструментов количественной оценки стрессоустойчивости цепочек добавленной стоимости в угольной отрасли.....</b>	<b>391</b>
<i>Гостевская А.Н., Маркидонов А.В.</i>	
<b>Изменение поверхности ОЦК-кристалла при лазерной абляции .....</b>	<b>396</b>
<i>Павлова Л.Д., Фрянов В.Н.</i>	
<b>Моделирование предразрушения горных пород под влиянием микросейсмических воздействий на геомассив в окрестности подземных горных выработок и угольных целиков.....</b>	<b>400</b>
<i>Бабушкина О.С., Калашиников С.Н.</i>	
<b>Итерационный метод решения уравнений над телом кватернионов .....</b>	<b>406</b>
<i>Ермакова Л.А.</i>	
<b>Опыт разработки плагинов в СУО Moodle для анализа работы пользователей .....</b>	<b>411</b>
<i>Бегина А.Г.</i>	
<b>Информационная система ведения расписания для образовательного центра .....</b>	<b>413</b>
<i>Бегина А.Г.</i>	
<b>Ценность информационных технологий в системах управления .....</b>	<b>417</b>
<i>Bhattacharjee S., Chakraborty P., Roy M., Banerjee A., Pal M., Nikitenko M.S., Neogi B.</i>	
<b>Analytical solution of ‘nonlinearly coupled electromechanical model equations’ of human cardiovascular muscle.....</b>	<b>420</b>
<b>СЕКЦИЯ 3. Информационные технологии в управлении организационными системами</b>	
<i>Добронец Б.С., Попова О.А., Шломин А.А.</i>	
<b>Прогнозная аналитика и большие данные в оценке рисков инвестиционных проектов .....</b>	<b>437</b>
<i>Добронец Б.С., Попова О.А.</i>	
<b>Информационно-аналитические подходы в анализе неструктурированных данных .....</b>	<b>442</b>
<i>Домнышев А.В.2, Затеякин О.А.</i>	
<b>Опережающее развитие персонала как фактор повышения конкурентоспособности персонала и развития бизнеса .....</b>	<b>447</b>
<i>Бычков А.Г., Киселёва Т.В., Маслова Е.В.</i>	
<b>Использование детекции в свёрточных нейронных сетях для повышения точности классификации.....</b>	<b>453</b>
<i>Блюмин С.Л.</i>	
<b>Метаграфы и редукция Крона в моделировании оргсистем.....</b>	<b>459</b>
<i>Щепкин А.В., Амелина К.Е.</i>	
<b>Стимулирование публикационной активности.....</b>	<b>464</b>
<i>Графкин А.В., Александрова М.И.</i>	
<b>Разработка системы реализации алгоритма anti-tailgate для предотвращения несанкционированного прохода.....</b>	<b>469</b>

<i>Четвертков Е.В., Кораблина Т.В.</i>	
<b>Разработка продукционной модели представления знаний системы поддержки принятия решений для формирования учебной нагрузки кафедры.....</b>	<b>476</b>
<i>Бабушкина О.С., Калашиников С.Н.</i>	
<b>Разработка теоретических основ для управления улично-дорожной сетью с целью оптимизации движения транспортного потока.....</b>	<b>480</b>
<i>Власенко А.Е., Жилина Н.М., Ренге Л.В.</i>	
<b>Информационная система поддержки принятия решений для охраны репродуктивного здоровья .....</b>	<b>487</b>
<i>Баркалов С.А., Бекирова О.Н., Вторникова Я.А.</i>	
<b>Определение оптимального состава парка и типа машин с применением современных экономико-математических моделей .....</b>	<b>491</b>
<i>Крестелев Д.А., Панкова И.И., Койнов Р.С., Исаев В.В.</i>	
<b>Разработка сервиса «Ментор Федеральной налоговой службы России».....</b>	<b>494</b>
<i>Нинидзе Д.Л., Усов А.Б.</i>	
<b>Автоматизация внедрения инноваций на предприятии .....</b>	<b>499</b>
<i>Поповян Н.О., Усов А.Б.</i>	
<b>Аналитический блок автоматической системы поддержки решений управления строительной компанией .....</b>	<b>506</b>
<i>Рыбка А.Д., Пестунов А.И., Белов В.М.</i>	
<b>Сравнительный анализ устройств контроля перемещений в производственных помещениях .....</b>	<b>513</b>
<i>Рыленков Д.А., Калашиников С.Н.</i>	
<b>Разработка концепции управления доступом к информационным ресурсам предприятия на основе моделирования бизнес-процессов .....</b>	<b>517</b>
<i>Васянин А.К., Калашиников С.Н.</i>	
<b>Подходы к управлению распределением подвижного состава операторских компаний на железнодорожном транспорте .....</b>	<b>521</b>
<i>Решицько М.А.</i>	
<b>Информационно-аналитическая система управления потреблением водных ресурсов в регионах .....</b>	<b>524</b>
<i>Каиркенов Х.К., Зимин А.В.</i>	
<b>О проблемах, факторах успеха и рисках управления программами развития .....</b>	<b>528</b>
<i>Курмаз Д.А., Киселёва Т.В.</i>	
<b>Анализ недостатков в существующих системах регулирования дорожного движения .....</b>	<b>533</b>
<i>Кравцов М.С., Усов А.Б.</i>	
<b>Моделирование деятельности предприятия по разработке программного обеспечения для медицинских учреждений .....</b>	<b>536</b>
<i>Бычков К.В., Кузьмин Д.Е., Блинов Р.В.</i>	
<b>Сравнение функционального и объектно-ориентированного программирования в наукоёмких технологиях.....</b>	<b>542</b>

*Тарасенко А.А.*

**Применение стемминга для информационного поиска среди медицинского кластера документов ..... 547**

*Рыбка А.Д., Пестунов А.И., Белов В.М.*

**Сессии в ASP.NET или как создать собственный сервис для работы с ними ..... 551**

#### **СЕКЦИЯ 4. Современный автоматизированный электропривод и промышленная электроника**

*Стищенко К.П., Купервассер М.В.*

**Причины и влияние искажений питающего напряжения на функционирование устройств микропроцессорной электрической централизации железнодорожного транспорта ..... 555**

*Федоров В.В.*

**Управление электроприводом постоянного тока с применением регулятора на нечеткой логике ..... 559**

*Клевцов С.А., Модзелевский Д.Е.*

**Исследование системы векторного управления асинхронного многодвигательного электропривода кантования угольного вагоноопрокидывателя «ВРС-93-110М» ..... 564**

*Бедарев М.А., Коновалов О.В., Купервассер М.В.*

**Проблемы применения силовых трансформаторов с группой соединения обмоток Y/Yn-0 в распределительных сетях 0,4 кв. .... 571**

*Мезенцева А.В.*

**Вопросы выбора и применения технических средств регулируемого электропривода буровых установок..... 575**

*Филина О.А., Прокопенко С.С.*

**Линейные модели систем в пространстве состояний ..... 578**

*Островлянчик В.Ю., Кубарев В.А., Зайцев Н.С., Кузнецова Е.С.*

**Имитационное моделирование системы автоуправления с переменной структурой для векторного управления синхронным электродвигателем классической конструкции ..... 586**

*Островлянчик В.Ю., Маршев Д.А., Кубарев В.А., Поползин И.Ю.*

**Синтез адаптивного управления магнитным потоком возбуждения статора асинхронного двигателя с фазным ротором..... 592**

*Сарсембин А.О., Кубарев В.А., Асмаатбеков А.К.*

**Моделирование электропривода переменного тока с вентиляторной нагрузкой ..... 599**

*Бабушкин С.В., Кубарев В.А.*

**Внедрение системы предиктивной аналитики на агрегатах цеха химического улавливания и производства коксохимической продукции АО «ЕВРАЗ ЗСМК» ..... 605**

*Колчагов П.О., Борцинский М.Ю.*

**Разработка регулятора мощности с помощью системы автоматизированного проектирования Proteus..... 608**

*Рогожников И.П.*

**Технология подготовки печатных плат к производству..... 612**

*Рогожников И.П., Борщинский М.Ю.*

<b>Физическая модель ШПУ с микропроцессорной системой управления .....</b>	<b>616</b>
<b>СПИСОК АВТОРОВ.....</b>	<b>620</b>
<b>СОДЕРЖАНИЕ .....</b>	<b>623</b>

Научное издание

**СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ  
(в образовании, науке и производстве)  
AS' 2022**

**ТРУДЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО–ПРАКТИЧЕСКОЙ  
КОНФЕРЕНЦИИ**  
*(с международным участием)*

**15-16 декабря 2022 г.**

Под общей редакцией д.т.н., доц. В.В. Зими́на

Техническое редактирование и компьютерная верстка В.И. Кожемяченко

Подписано в печать 05.12.2022 г.

Формат бумаги 60×84 1/16. Бумага писчая. Печать цифровая.

Усл. печ. л. 37.13. Уч.-изд. л. 40.40. Тираж \_\_\_\_\_ экз. Заказ \_\_\_\_\_.

Сибирский государственный индустриальный университет  
654007, Кемеровская область – Кузбасс, г. Новокузнецк, ул. Кирова, зд. 42.  
Издательский центр СибГИУ