

# ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬНЫХ, СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ



## НАУЧНО - ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

- ИНТЕГРИРОВАННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ
- ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ
- МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
- УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ
- МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ
- ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ
- КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ
- УПРАВЛЕНИЕ В ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ
- ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И КОНФЛИКТОЛОГИЯ
- АКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ И БАЗЫ ДАННЫХ

ВЫПУСК № 2(40), 2026

# **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬНЫХ, СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

**НАУЧНО - ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ**

**Выпуск № 2 (40)**

**Июнь, 2026**

- **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ  
МОДЕЛИРОВАНИЕ**
- **ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И  
МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ**
- **УПРАВЛЕНИЕ В ОРГАНИЗАЦИОННЫХ  
СИСТЕМАХ**
- **АКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ И БАЗЫ ДАННЫХ**

**ВОРОНЕЖ**

# ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬНЫХ, СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

ВЫХОДИТ ЧЕТЫРЕ РАЗА В ГОД

## НАУЧНО - ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

**Учредитель и издатель:** федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный технический университет»  
(394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84)

**Территория распространения** - Российская Федерация

### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ ЖУРНАЛА:

**Главный редактор** - Д.К. Проскурин, канд. физ.-мат. наук, доц.

**Зам. главного редактора** - Т.В. Азарнова, д-р техн. наук, проф.

**Ответственный секретарь** – О.В. Курипта, канд. техн. наук, доц.

### ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

Баркалов С.А., д-р техн. наук, проф. (ВГТУ)  
Бондаренко Ю.В., д-р техн. наук, проф. (ВГУ)  
Воронина И.Е., д-р техн. наук, проф. (ВГУ)  
Горошко И.В., д-р техн. наук, проф. (УП РФ)  
Аснина Н.Г., канд. техн. наук, доц. (ВГТУ)  
Каширина И.Л., д-р техн. наук, проф. (ВГУ)  
Леденева Т.М., д-р техн. наук, проф. (ВГУ)

Ряжских В.И., д-р техн. наук, проф. (ВГТУ)  
Толстых Т.О., д-р экон. наук, проф. (МИСИС)  
Барабанов В.Ф., д-р техн. наук, проф. (ВГТУ)  
Смольянинов А.В., канд. техн. наук, доц. (ВГТУ)  
Угольницкий Г.А., д-р физ.-мат. наук, проф. (ЮФУ)  
Чопоров О.Н., д-р техн. наук, проф. (ВГМУ)

Статьи, поступившие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы публикаций. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов. Перепечатка без разрешения редакции запрещена, ссылки на журнал при цитировании обязательны.

Материалы публикуются в авторской редакции.



© ВГТУ, 2026

Дата выхода в свет 27.05.2026. Объем данных 9,17 Мб  
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»  
394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84

## СОДЕРЖАНИЕ

## УПРАВЛЕНИЕ В ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

<i>Е.М. Кобозева, А.А. Голиков</i> К вопросу об импортозамещении систем автоматизации бизнеса в России..... 7	<i>E.M. Kobozeva, A.A. Golikov</i> On the issue of import substitution of business automation systems in Russia ..... 7
<i>С.В. Чикунов</i> Разработка модуля информационной системы для автоматизации продаж агентства недвижимости .... 12	<i>S.V. Chikunov</i> Development of an information system module for automating of a real estate agency sales..... 13
<i>Е.М. Кобозева, Д.А. Решетов</i> Развитие DevOps-инженерии в администрировании ИТ-инфраструктуры предприятия ..... 18	<i>E.M. Kobozeva, D.A. Reshetov</i> Development of DevOps engineering in enterprise IT infrastructure administration ..... 18
<i>А.А. Кукин, Е.А. Лещева</i> Методология ТРИЗ и ее применение вне инженерных задач..... 23	<i>A.A. Kukin, E.A. Leshcheva</i> TRIZ methodology and its application in non-engineering fields..... 24
<i>Н.С. Сысоева, Е.А. Лещева</i> Разработка критериев и методики оценки эффективности коррекционно-развивающей работы с применением дистанционных технологий ..... 30	<i>N.S. Sysoeva, E.A. Leshcheva</i> Development of criteria and methodology for assessing the effectiveness of corrective and developmental work using remote technologies..... 30
<i>Р.Р. Сагидуллин, В.Д. Сандаков</i> Роль промышленного интернета вещей (IIoT) в цифровой трансформации производства..... 36	<i>R.R. Sagidullin, V.D. Sandakov</i> The role of the industrial internet of things (IIoT) in the digital transformation of manufacturing ..... 36
<i>С.А. Дмитриев, Е.А. Салтанаева</i> Применение технологий больших данных для анализа и прогнозирования успеваемости в системах управления образованием ..... 42	<i>S.A. Dmitriev, E.A. Saltanaeva</i> Application of big data technologies for analysis and prediction of academic performance in educational management systems..... 43
<i>В.Г. Казьмин, С.А. Кириллов</i> Ролевая модель доступа в информационной системе управления заявками ремонтно-механического цеха ..... 48	<i>V.G. Kazmin, S.A. Kirillov</i> Role-based access model in an information system for managing requests of a repair and mechanical workshop ..... 49

## ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ

<i>С.А. Таратухин, А.В. Барабанов</i> Способы автоматизированной генерации оптимальной структуры промпт-запроса ..... 52	<i>S.A. Taratukhin, A.V. Barabanov</i> Optimal structure of a prompt request and methods of its automated generation ..... 53
<i>Е.А. Коновалов, В. Иванченко, В.П. Морозов</i> Генеративное тестирование: применение искусственного интеллекта для выявления скрытых ошибок программного обеспечения ..... 60	<i>E. A. Konovalov, V. Ivanchenko, V.P. Morozov</i> Generative testing: application of artificial intelligence for detecting hidden software errors..... 60
<i>С.Р. Гайфуллин, В.Д. Сандаков</i> Методика адаптивного контроля энергопотребления в здании с использованием IoT – сенсоров и облачного сервиса ..... 65	<i>S.R. Gayfullin, V.D. Sandakov</i> Adaptive energy consumption control method in a building using IoT sensors and a cloud service ..... 66
<i>В.В. Кашко, С.А. Олейникова</i> Экспериментальное обоснование эффективности	<i>V.V. Kashko, S.A. Oleinikova</i> Experimental justification of the developed control system for a walking robot..... 70

разработанной системы управления шагающим роботом.....	70	<i>M.S. Arkhipenko, R.S. Arkhipenko, A.V. Smolianinov</i> Overview of a predictive diagnostics approach for booster pump stations based on the random forest algorithm.....	75
<b><i>М.С. Архипенко, Р.С. Архипенко, А.В. Смольянинов</i></b> Обзор подхода к предиктивной диагностике повысительных насосных станций на базе алгоритма случайный лес.....	75	<i>Y.A. Stukalskaya, N. V. Marchenko, D.V. Kapatsyn</i> Digitalization and the development of big data in agriculture.....	80
<b><i>Ю.А. Стукальская, Н. В. Марченко, Д.В. Капацын</i></b> Цифровизация и развитие больших данных в сельском хозяйстве.....	80	<b><i>I.I. Kashcheev, I.V. Zamyatin</i></b> Vocal note annotation generation using a transformer-based neural network.....	85
<b><i>И.И. Кащеев, И.В. Замятин</i></b> Генерация разметки нот вокала с помощью нейронной сети на базе архитектуры Transformer...	85	<b><i>M.S. Arkhipenko, R.S. Arkhipenko, A.V. Smolianinov</i></b> Overview of digital twin technology for virtual commissioning of booster pump station control systems.....	94
<b><i>М.С. Архипенко, Р.С. Архипенко, А.В. Смольянинов</i></b> Обзор технологии цифровых двойников для виртуальной пусконаладки систем управления повысительными насосными станциями.....	93	<b><i>I.Yu. Melnikova, A.V. Smolyaninov</i></b> An intelligent lighting module based on STM32/ESP32 microcontrollers.....	99
<b><i>И.Ю. Мельникова, А.В. Смольянинов</i></b> Интеллектуальный модуль освещения на базе микроконтроллеров STM32/ESP32.....	99	<b><i>Yu.A. Shutova, S.M. Kutsenko</i></b> Implementation of ai-based chatbots in corporate employee training.....	103
<b><i>Ю.А. Шутова, С.М. Куценко</i></b> Внедрение чат-ботов на основе искусственного интеллекта в корпоративное обучение сотрудников.....	103	<b><i>N.Y. Efremov, V.F. Barabanov</i></b> Analysis of the possibilities of intelligent forecasting of wear of technical facilities based on visual data.....	109
<b><i>Н.Ю. Ефремов, В.Ф. Барабанов</i></b> Анализ возможностей интеллектуального прогнозирования износа технических объектов на основе визуальных данных.....	108	<b><i>N.V. Chupakhin, V.F. Barabanov</i></b> Comparative analysis and prospects of artificial intelligence methods application in recommendation systems.....	113
<b><i>Н.В. Чупахин, В.Ф. Барабанов</i></b> Сравнительный анализ применения методов искусственного интеллекта в рекомендательных системах.....	113	<b><i>N.Y. Vytovtova, N.A. Ryndin</i></b> Intelligent orthophoto processing methods for automated identification of flood-prone zones.....	119
<b><i>Н.Ю. Вытовтова, Н.А. Рындин</i></b> Методы интеллектуальной обработки ортофотопланов для автоматизированного выявления зон паводкового подтопления.....	118		

## АКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ И БАЗЫ ДАННЫХ

<b><i>Т.В. Гладких</i></b> Разработка программного приложения для автоматизации работы автосервиса логистической компании.....	123	<b><i>T.V. Gladkikh</i></b> Development of a software application for automating the auto-service work of a logistics company.....	123
<b><i>И.Р. Асадуллин, В.Д. Сандаков</i></b> Алгоритм предиктивного управления насосной станцией на основе данных с вибрационных датчиков и облачной платформы.....	129	<b><i>I.R. Asadullin, V.D. Sandakov</i></b> Predictive control algorithm for a pumping station based on data from vibration sensors and a cloud platform..	129
		<b><i>R.R. Sagidullin, E.A. Saltanaeva</i></b> Designing of an information and analytical system for small businesses.....	134

<i>Р.Р. Сагидуллин, Е.А. Салтанаева</i> Проектирование информационно-аналитической системы для малого бизнеса ..... 134	<i>M.R. Khuzin, E.A. Saltanaeva</i> Automatic detection of dead code in CI/CD using AST and call graph ..... 141
<i>М.Р. Хузин, Е.А. Салтанаева</i> Автоматическое определение мертвого кода в CI/CD с помощью AST и графа вызовов ..... 141	<i>M.V. Matyushevskiy, E.A. Saltanaeva</i> Development of a car sales accounting information system with analytical reports in PostgreSQL ..... 148
<i>М.В. Матюшевский, Е.А. Салтанаева</i> Разработка информационной системы учета продаж автомобилей с аналитическими отчетами в PostgreSQL ..... 148	<i>A.A. Oleynikov, E.A. Saltanaeva</i> Design of an information system for air quality monitoring in residential premises ..... 155
<i>А.А. Олейников, Е.А. Салтанаева</i> Проектирование информационной системы мониторинга качества воздуха в жилых помещениях ..... 155	<i>A.N. Pavlov, E.A. Saltanaeva</i> Designing a system for incremental data loading from REST APIs of payment gateways and banking services into a Data Lake ..... 162
<i>А.Н. Павлов, Е.А. Салтанаева</i> Проектирование системы для инкрементальной загрузки данных из REST API платежных шлюзов и банковских сервисов в Data Lake ..... 162	<i>S.A. Baushov, V.A. Klyuchkina, S.V. Igrunova</i> Development of an information system for a dental clinic ..... 167
<i>С.А. Баушов, В.А. Ключкина, С.В. Игрунова</i> Разработка информационной системы для стоматологической клиники ..... 167	<i>K.S. Usmanov, E.A. Saltanaeva</i> On the development of an OLAP module for logistics business processes analysis based on PostgreSQL and Pandas ..... 174
<i>Х.Ш. Усманов, Е.А. Салтанаева</i> Разработка OLAP-модуля для анализа логистических бизнес-процессов на основе PostgreSQL и Pandas. 174	<i>S.A. Kirillov, V.G. Kazmin</i> Server architecture of the information system for accounting parts and applications of the repair and mechanical workshop ..... 181
<i>С.А. Кириллов, В.Г. Казьмин</i> Серверная архитектура информационной системы учета деталей и заявок ремонтно-механического цеха ..... 181	<i>O.V. Kuripta, D.V. Lobanov, S.A. Dobrovolsky</i> Software module for calculating the concentration of harmful substances removed by the ventilation system ..... 186
<i>О.В. Курипта, Д.В. Лобанов, С.А. Добровольский</i> Программный модуль расчета концентрации вредного вещества, удаляемого системой вентиляции ..... 186	<i>K.A. Makoviy, D.S. Sentsov</i> Minimization memory allocations when parsing large JSON responses ..... 192
<i>К.А. Маковий, Д.С. Сенцов</i> Минимизация аллокаций памяти при парсинге больших JSON-ответов ..... 192	

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

<i>А.А. Хвостов, А.А. Журавлев, Н.Е. Красова</i> Оценка влияния диаметра нагревательного элемента на температурную погрешность моделирования нестационарного теплового режима ..... 199	<i>A.A. Khvostov, A.A. Zhuravlev, N.E. Krasova</i> Assessment of the influence of the diameter on the heating element on the temperature error of the simulation non-stationary thermal regime ..... 199
<i>С.В. Глущенко</i> О модели конфликта с экспоненциальными показателями эффективности ..... 204	<i>S.V. Glushchenko</i> About the conflict model with exponential performance indicators ..... 204
<i>Т.В. Азарнова, Б.А. Аникеев</i> Автоматизация распределения задач проекта по	<i>T.V. Azarnova, B.A. Anikeev</i> Automation of project task assignment to executors based on multi-criteria evolutionary modeling ..... 208

исполнителям на основе многокритериального эволюционного моделирования .....	207	<i>М.А. Кривоченко, С.И. Поляков</i> Automatic control system for the speed of welding wire in a robotized complex.....	213
<b><i>М.А. Кривоченко, С.И. Поляков</i></b> Система автоматического регулирования скорости подачи сварочной проволоки в роботизированном комплексе .....	213	<i>В.И. Акимов, А.В. Полуказаков, И.А. Ряска</i> Research of quasi-uniform distribution for statistical models in automation tasks .....	218
<b><i>В.И. Акимов, А.В. Полуказаков, И.А. Ряска</i></b> Исследование квазиравномерного распределения статистических моделей в задачах автоматизации	218	<b><i>А.И. Габдрахманов, В.Д. Сандаков</i></b> Application of quantum key distribution for protection of telecommunication channels in information and control systems .....	226
<b><i>А.И. Габдрахманов, В.Д. Сандаков</i></b> Применение квантового распределения ключей для защиты телекоммуникационных каналов в информационно-управляющих системах .....	225	<b><i>И.А. Бельх, С.И. Поляков</i></b> Automation of the protective gas supply process for welding in a robotized complex .....	231
<b><i>И.А. Бельх, С.И. Поляков</i></b> Автоматизация процесса подачи защитного газа для сварки в роботизированном комплексе .....	231		

УДК 004.9:658.5

## К ВОПРОСУ ОБ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИИ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ БИЗНЕСА В РОССИИ

Е.М. Кобозева<sup>1</sup>, А.А. Голиков<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Финансовый университет при правительстве Российской Федерации*

**Аннотация:** Статья посвящена исследованию трансформации российского рынка ИТ и систем автоматизации бизнеса в период с 2021 по 2025 годы, вызванная уходом иностранных вендоров программного обеспечения и санкционным давлением. Основное внимание уделено процессу импортозамещения. Подчеркнуто, что стимуляция рынка со стороны государственной политики и вызовы начального периода способствовали развитию отечественных систем автоматизации бизнеса. Отмечена ключевая роль в этом процессе российских платформ «1С: Предприятие 8» и «Галактика ERP». Сделан вывод о том, что, несмотря на трудности, в 2025 году российский рынок автоматизации бизнеса демонстрирует качественный скачок: от экстренного замещения к развитию конкурентоспособных отечественных решений, что свидетельствует о формировании экспортно ориентированной ИТ-индустрии.

**Ключевые слова:** автоматизация бизнеса, импортозамещение, ERP, BPM, CRM, отечественное программное обеспечение, 1С, Галактика, российский ИТ-рынок, развитие ПО, информационный суверенитет, интеграция

## ON THE ISSUE OF IMPORT SUBSTITUTION OF BUSINESS AUTOMATION SYSTEMS IN RUSSIA

E.M. Kobozeva<sup>1</sup>, A.A. Golikov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Financial University under the Government of the Russian Federation*

**Abstract:** This article examines the transformation of the Russian IT and business automation systems market from 2021 to 2025, caused by the departure of foreign software vendors and sanctions pressure. The focus is on the import substitution process. It is emphasized that market stimulation by government policy and the challenges of the initial period contributed to the development of domestic business automation systems. The key role of the Russian platforms 1С:Enterprise 8 and Galaktika ERP in this process is noted. It is concluded that, despite the difficulties, the Russian business automation market will demonstrate a qualitative leap in 2025: from emergency substitution to the development of competitive domestic solutions, indicating the emergence of an export-oriented IT industry.

**Keywords:** business automation, import substitution, ERP, BPM, CRM, domestic software, 1C, Galaktika, Russian IT market, software development, information sovereignty, integration

Введение. В наши дни сложно представить какую-либо сферу деятельности человека, в которой бы не использовались системы автоматизации. Для повышения конкурентоспособности и эффективности внутренних бизнес-процессов компании постоянно внедряют новые программные продукты и формируют обширные информационные экосистемы. Разработчики

подобного программного обеспечения, в свою очередь, совершенствуют свои продукты в отдельных предметных областях и продвигают новые. Рынок постоянно развивается и меняется согласно запросам конечных потребителей [1,2].

До 2022 года российский рынок был насыщен как западными системами автоматизации, так и отечественным

программным обеспечением. Условия постоянной конкуренции тормозили развитие новых российских систем, так как многие иностранные программные продукты уже уверенно закрепились в своих сегментах и попытки позиционирования в новых отраслях грозили большими потерями и трудностями российским интеграторам [3].

Введение санкций и выход иностранных программных продуктов резко изменил общую картину рынка: многие ниши опустели, и появилась острая необходимость в замещении ушедших систем автоматизации. Отечественные разработчики получили большие перспективы для развития, но вместе с ними и значительное количество проблем и вызовов.

Анализ текущего состояния рынка IT-автоматизации. Уход крупных западных вендоров, таких как «SAP» и «Oracle», под давлением санкций создал вакуум в сфере

программного обеспечения для бизнес-автоматизации. В ответ на это ключевым двигателем развития стал курс на импортозамещение, где центральное место заняли отечественные решения. Платформы «1С: Предприятие 8» и «Галактика ERP» вышли в лидеры по автоматизации бизнес-процессов. К 2025 году доля «1С» на российском рынке ERP-систем, по разным оценкам, приблизилась к 80%, что подчеркивает ее критическую роль в обеспечении технологической независимости страны [4].

По данным Минцифры, к 2025 году доля отечественного программного обеспечения в госсекторе превысила 70%, а в коммерческом сегменте достигла примерно 55% [5].

В таблицах 1 и 2 приведена статистика использования систем автоматизации на российском рынке за 2021 и 2025 годы.

Таблица 1 Статистика по доле рынка среди систем автоматизации бизнеса в 2021 году [6,7]

Место	Название системы	Тип системы
1	1С: ERP	ERP
2	System Analysis and Program Development (SAP)	ERP
3	Галактика ERP	ERP
4	Business Central by Navicon	ERP
5	amoCRM	CRM

Таблица 1 демонстрирует, что до 2022 года картина была иной: в ERP доминировали «1С: ERP» и немецкий «SAP», в CRM – «amoCRM». Большое количество представителей ERP-систем обусловлено тем, что они традиционно считались более значимыми из-за своей комплексности. Значительную долю рейтинга занимали иностранные программные продукты, например «System Analysis and Program Development» от «SAP SE». Исходя из данных, представленных в таблице 2, можно сделать вывод, что уход иностранных

игроков дал мощный импульс развитию российских BPM-платформ, таких как «ELMA365» и «Comindware», и массовому переходу на импортозамещение. Стоит заметить, что «Галактика ERP» сохранила сильные позиции в промышленности, а «1С» не только укрепила лидерство в ERP-сегменте, но и активно развивалась в других направлениях автоматизации. На рынке CRM также появились новые игроки, например, «Лига Цифровой Экономики». Программное обеспечение «1С» превратилось в основной инструмент и для малого,

среднего, и для крупного бизнеса.

Таблица 2 Статистика по доле рынка среди систем автоматизации бизнеса в 2025 году [6,7].

Место	Название системы	Тип системы
1	1С: ERP	ERP
2	ELMA365	BPM/ERP
3	Comindware Platform	BPM
4	Галактика ERP	ERP
5	Лига Цифровой Экономики	CRM

По оценкам АНО «Национальный центр компетенций», в 2023-2024 годах около 80% внедряемых в России ERP были основаны на решениях «1С» [8]. Этому способствовала быстрая адаптация и доработка функционала платформы, позволившая закрыть многие пробелы после ухода западных аналогов.

Успех отечественных систем во многом обеспечен активной господдержкой ИТ-сектора. Были введены льготные ставки по налогу на прибыль для разработчиков российского программного обеспечения и налоговые льготы для ИТ-специалистов. С 2023 года действуют квоты на обязательное использование российских программных продуктов в ключевых отраслях, особенно на госпредприятиях. Данное решение позволило добиться устойчивого спроса на отечественные ERP, CRM и BPM - системы. Особого внимания со стороны малого и среднего сектора бизнеса достигли low-code и no-code платформы, такие как «ELMA365» и «Comindware». Данные платформы привлекли внимание пользователей высокой скоростью автоматизации бизнес-процессов и низкими ценами на внедрение по сравнению с продуктами других разработчиков. Как итог, своевременные меры поддержки отечественных разработчиков ускорили появление конкурентоспособных решений, учитывающих российскую специфику бизнеса [7].

Ключевые вызовы и проблемы. Намеченная стратегия импортозамещения столкнулась с перечнем серьёзных препятствий. По данным на 2022 год, российское ПО закрывало более 70% функций замещаемых западных продуктов в менее чем 10 % случаев использования. Наиболее неблагоприятная ситуация наблюдалась в области сложных ERP-систем, ориентированных на крупный бизнес. Несмотря на то, что решения от таких вендоров как «1С», «Галактика» и «Компас», в полной мере отвечали потребностям малых и средних предприятий, для крупных холдингов они изначально не могли стать равноценной заменой «SAP» или «Oracle», так как еще не были способны удовлетворить все потребности многоуровневой международной логистики и распределённой дистрибуции, также необходимость в интеграции с MES-системами [7].

Ещё одной проблемой стала сохранявшаяся привязка к импортному оборудованию. Порядка 70 % российского программного обеспечения продолжало функционировать на процессорах «Intel» и «AMD», что создавало дополнительные уязвимости. Переход на отечественные чипы требовал дорогостоящего и трудоёмкого процесса портирования, который был доступен лишь небольшому числу потенциальных потребителей систем [5]. Проблемы были не только техническими, но и

кадровыми. Отток высококвалифицированных ИТ-специалистов после 2022 года привел к острому дефициту. Госкомпании и крупные проекты, предлагая высокие зарплаты и соцпакеты, переманивали лучших специалистов, истощая кадровый рынок для коммерческого сектора и малого и среднего бизнеса. Требовалось не просто переобучить людей под новые программные продукты, но и изменить инженерное мышление, привыкшее к западным экосистемам. Нехватка качественных учебных материалов, курсов, сертификаций и сообществ по новым российским платформам замедляла этот процесс.

Финансовая сторона также оставалась сложной. Создание полноценных аналогов сложного западного программного обеспечения требовало миллиардных инвестиций. При этом затраты бизнеса на миграцию (замену ПО, переобучение, интеграцию) зачастую превышали штрафы за использование старых «нелегальных» иностранных решений, что снижало мотивацию к переходу у части крупных предприятий.

Текущие достижения и тренды. Вопреки все еще сохранявшимся сложностям, к 2025 году отечественный разработчик значительно усилил свои позиции в глазах потребителя – ИТ-рынок России перешел от стратегии тактического импортозамещения к планомерному укреплению технологического суверенитета. Сегодня такие платформы как «ELMA365» способны автоматизировать до 80% рутинных операций без участия программистов. «1С» и «Галактика» активно внедряют технологии ИИ в свои флагманские ERP и MES-системы для предиктивного обслуживания, анализа производственных отклонений и оптимизации логистики [4].

Прогноз дальнейшего развития в этом

десятилетии. На основе всего вышесказанного уместно предположить, что развитие отечественного ПО для автоматизации бизнеса будет идти по нескольким основным направлениям, которые в совокупности позволят достичь полной технологической независимости страны и расширения влияния отечественных разработчиков не только на внутреннем рынке, но и в масштабах мирового сектора ИТ-технологий. Ожидается, что к 2030 году произойдет увеличение использования искусственного интеллекта и предиктивной аналитики. Отечественные ERP и MES-системы, такие как «1С» и «Галактика», перейдут от базовых функций к созданию комплексных «цифровых двойников» предприятий. Это позволит не просто прогнозировать сбои, но и моделировать оптимизацию всей цепочки бизнес-процессов, автоматически генерируя сценарии управления рисками и адаптируя процессы в реальном времени на основе больших данных. BPM-платформы, такие как «ELMA365» и «Comindware», ожидаемо начнут интеграцию генеративного ИИ, которая позволит пользователям создавать сложные рабочие процессы и документы с помощью текстовых запросов [6].

Предполагается массовый переход на российские процессоры и операционные системы, сопровождаемый глубокой оптимизацией ресурсоемких систем автоматизации, особенно ERP и MES, под отечественные платформы. Параллельно ожидается развитие мощных, высоконагруженных облачных экосистем от ведущих игроков на рынке, адаптированных специально для работы российского бизнес-ПО с полной локализацией данных и сервисов [6].

Наблюдаемое слияние платформ усилится, размывая границы между ERP, CRM,

ВРМ и MES. Ведущие решения могут трансформироваться в экосистемы «единого окна», где ядро в виде ERP-системы будет бесшовно интегрироваться с CRM, электронным документооборотом, кадровыми системами, BI и ВРМ-инструментами. Стандартизация и открытость API станут нормой, упрощая интеграцию разнородных систем и разработку комплексных решений под уникальные задачи бизнеса.

Отечественные разработчики окончательно закроют «функциональный разрыв» для крупного бизнеса. ERP-системы достигнут уровня, достаточного для полноценной замены ушедших западных аналогов в крупнейших холдингах. Ожидается появление более специализированные, глубоко проработанные отечественные отраслевые решения для ранее игнорируемых сегментов бизнеса (топливно-энергетической промышленности, металлургии, машиностроения, логистики).

Опыт прошедших 3 лет показывает, что успех в сфере информационных технологий невозможен без развития внутреннего кадрового потенциала. В недалеком будущем будет сформирована сеть сертифицированных учебных центров и программ в высших учебных заведениях, целенаправленно готовящих специалистов под российские платформы при активном участии вендоров. Параллельно вырастет слой высококвалифицированных российских ИТ-интеграторов и консультантов, специализирующихся на комплексной цифровизации [9].

На наш взгляд, очевидно, что российские платформы, включая «1С», ВРМ-решения и нишевые отраслевые продукты, начнут активную экспортную экспансию на рынки дружественных стран, предлагая конкурентоспособную по цене и

функционалу альтернативу, адаптированную под схожие бизнес-среды.

Государственная политика в области информационных систем скорее всего продолжит движение в сторону ужесточения регуляции со стороны государства. Ожидается повышение квот на использование российского программного обеспечения до 90-95 % в госсекторе и критической инфраструктуре, введение строгих стандартов кибербезопасности и требований к использованию отечественного «железа». Крупные государственные проекты и инициативы будут стимулировать разработку прорывных технологий для их последующего внедрения в коммерции [6].

Как итог к концу третьего десятилетия 21 века российский рынок программного обеспечения для автоматизации бизнеса совершит переход от обеспечения суверенитета к заявке на технологическое лидерство в ключевых нишах. Отечественные решения не только полностью удовлетворят внутренние потребности всех сегментов бизнеса, но и могут сформировать мощную экспортноориентированную ИТ-индустрию. Уже сейчас фокус смещается с импортозамещения на генерацию инноваций – создание уникальных технологий и бизнес-моделей на базе зрелых российских платформ, интегрированных в безопасную национальную ИТ-инфраструктуру. Достижение полного цикла разработки и развертывания программного обеспечения на отечественной элементной базе станет ключевым маркером успеха.

#### Библиографический список

1. Автоматизация бизнес-систем: ВРМ, CRM, ERP: учебное пособие / А.А. Тарасьев, Г.А. Агарков, В.М. Лаптев, К.С. Половнев, П.А. Кровякова, В.Ф. Турыгина;

под общ. ред. В.М. Лаптева; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский федеральный университет. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2024. – 152 с.: ил. – Библиограф.: с. 150. – 30 экз. – ISBN 978-5-7996-3885-6.

2. Бизнес-процессы промышленного предприятия: учебное пособие / Н.Р. Кельчевская, С.А. Сироткин, И.С. Пельмская [и др.]; [под общей редакцией Н.Р. Кельчевской]; Министерство образования и науки Российской Федерации, Уральский федеральный университет. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016. – 339 с. – ISBN 978-5-7996-1824-7.

3. Отчет ИСИЭЗ НИУ ВШЭ "Вопреки санкциям: почему растет оборот российской ИТ-отрасли" URL: <https://www.hse.ru/news/expertise/878390280.html> (дата обращения 18.05.2025).

4. Новостное издание в сфере высоких технологий в России и странах СНГ URL: <https://www.cnews.ru/> (дата обращения:

20.05.2025).

5. Официальный сайт Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации URL: <https://digital.gov.ru/> (дата обращения: 23.12.2025)

6. Сайт проекта по исследованию рынка CRM в России URL: <https://crmrating.ru/> (дата обращения: 20.11.2025).

7. Портал с базой знаний о том, как устроено государство и бизнес, а также об информационных технологиях в их работе URL: <https://www.tadviser.ru/> (дата обращения: 20.11.2025).

8. Официальный сайт Национального научного центра компетенций URL: <https://nnck.gov.ru/> (дата обращения: 26.11.2025).

9. Информационный ресурс о планах развития страны URL: <https://национальныепроекты.рф> (дата обращения: 30.12.2025).

#### Информация об авторах

**Кобозева Елена Михайловна** – кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры математики и информатики, Финансовый университет при правительстве Российской Федерации (350051, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. Шоссе Нефтяников, д. 32), e-mail: [alena.cobozeva@yandex.ru](mailto:alena.cobozeva@yandex.ru), тел. 8-918-446-9449

**Голиков Александр Анатольевич** – студент, кафедра математики и информатики, Финансовый университет при правительстве Российской Федерации (350051, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. Шоссе Нефтяников, д. 32), e-mail: [golikov2000@list.ru](mailto:golikov2000@list.ru), телефон 8-928-664-2799

#### Information about the author

**Kobozeva Elena Mikhailovna** – candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Mathematics and Computer Science, Financial University under the Government of the Russian Federation (350051, Krasnodar Territory, Krasnodar, Highway Neftyanikov, 32), e-mail: [alena.cobozeva@yandex.ru](mailto:alena.cobozeva@yandex.ru), tel. 8-918-446-9449

**Golikov Alexander Anatolyevich** – student, Department of Mathematics and Computer Science, Financial University under the Government of the Russian Federation (350051, Krasnodar Territory, Krasnodar, Highway Neftyanikov, 32), e-mail: [golikov2000@list.ru](mailto:golikov2000@list.ru), phone 8-928-664-2799

УДК 004.45

## РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОДАЖ АГЕНТСТВА НЕДВИЖИМОСТИ

**С.В. Чикунов**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Воронежский государственный университет инженерных технологий*

**Аннотация:** Статья посвящена реализации модуля информационной системы для поддержки продаж агентства недвижимости на основе интеграции веб-приложения и CRM-системы.

**Ключевые слова:** агентство недвижимости, управление клиентами, автоматизация продаж, CRM-система.

## DEVELOPMENT OF AN INFORMATION SYSTEM MODULE FOR AUTOMATING OF A REAL ESTATE AGENCY SALES

S.V. Chikunov <sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Voronezh State University of Engineering Technologies*

**Abstract:** The article is devoted to the implementation of an information system module for real estate agency sales support based on the integration of a web-application and a CRM-system.

**Keywords:** real estate agency, customer management, sales automation, CRM-system.

Для компаний, работающих в сфере недвижимости, наличие профессионального веб-сайта перестало быть дополнительным преимуществом и превратилось в необходимость. Сайт выполняет функцию круглосуточной витрины услуг, формирует доверие к бренду и служит основным каналом для привлечения новых клиентов. Однако сам по себе факт наличия сайта не гарантирует коммерческого успеха. Его эффективность напрямую зависит от того, насколько грамотно выстроены процессы обработки входящих обращений.

Критически важный для риелторской деятельности процесс управления клиентами и сделками в агентстве недвижимости до настоящего времени не был автоматизирован с помощью специализированной CRM-системы [1]. Работа с клиентской базой и учёт объектов недвижимости ведутся разрозненно. Информация об объектах фиксируется в общей таблице Excel, чья актуальность зависит от своевременности ручного обновления. Входящие заявки с сайта или по телефону регистрируются менеджерами в персональных блокнотах или электронных файлах, после чего вручную производится поиск подходящих вариантов в основной таблице. История взаимодействий с клиентами хранится у персонального менеджера, что создаёт риски потери информации и затрудняет командную работу.

Такой метод работы напрямую влияет на качество сервиса, скорость сделок и общую прибыль агентства, что обуславливает актуальность внедрения интегрированного решения в виде модуля ИС, которое совместит в себе публичный каталог объектов на сайте и автоматизированную систему управления взаимоотношениями с клиентами (CRM) для внутренней работы [1, 2].

Разрабатываемое решение основывается на классической трёхуровневой веб-архитектуре: клиентский уровень включает пользовательский интерфейс, серверный уровень (бизнес-логика) обеспечивает обработку запросов пользователя, работу с внутренней базой данных объектов и взаимодействие со сторонним API для передачи заявок, уровень данных включает в себя реляционную базу данных для хранения информации об объектах недвижимости и внешний облачный сервис как систему хранения и управления клиентскими данными.

Для наглядного представления последовательности взаимодействия компонентов системы разработана детальная схема серверной обработки заявок (рисунок 1). Концепция системы предполагает, что весь процесс от обращения клиента до постановки задачи менеджеру в CRM является автоматизированным. Клиентский функционал ограничен просмотром каталога и отправкой заявок, в то время как менеджер работает в интерфейсе CRM-системы с уже

готовыми, автоматически созданными заявками. Такой подход полностью исключает этапы ручного ввода данных между сайтом

и CRM, решая ключевую задачу проекта.

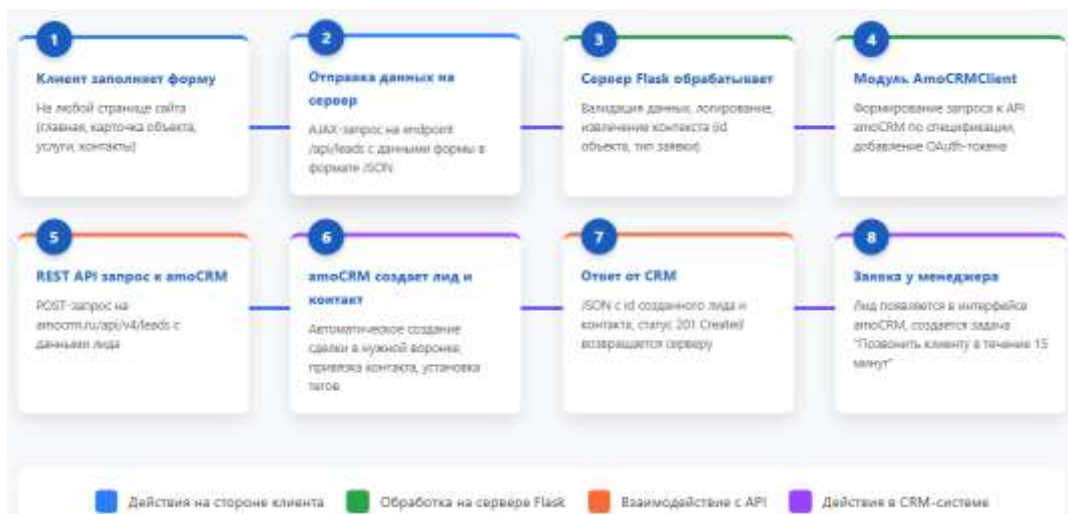


Рис. 1. Архитектура интеграции системы

Клиентская часть реализована с помощью стандартных веб-технологий: HTML5 для разметки структуры страниц, CSS3 для стилизации и обеспечения адаптивного дизайна, и JavaScript (ES6+) для интерактивности (работа форм, динамическая фильтрация).

Серверная часть разработана на языке Python с использованием микрофреймворка Flask [3]. Для хранения данных каталога объектов выбрана реляционная система управления базами данных MySQL. Взаимодействие с БД будет осуществляться через SQLAlchemy с драйвером PyMySQL, что повышает безопасность за счёт использования параметризованных запросов и ускоряет разработку.

Интеграционный компонент – ключевой модуль системы, будет взаимодействовать с CRM amoCRM через её публичное REST API с использованием протокола OAuth 2.0 или API-ключей для аутентификации. Для выполнения HTTP-запросов к API применена библиотека requests. В соответствии с выбранной архитектурой,

система использует два независимых хранилища: внутреннюю базу данных для каталога объектов и внешнюю CRM amoCRM для работы с клиентами.

Разработанный веб-ориентированный модуль ИС предоставляет пользователям публичный интерфейс для ознакомления с услугами агентства и объектами недвижимости. Система состоит из пяти основных страниц: главная страница, каталог объектов, детальная страница объекта, страница услуг и страница контактов. Каждая страница имеет специализированный функционал, соответствующий задачам риелторского агентства. Структура веб-сайта является многостраничной. Все страницы объединены единым навигационным меню и оформлением, что обеспечивает целостность восприятия [4, 5].

Главная страница выполняет функцию визитной карточки агентства и основного навигационного узла (рисунок 2). Страница разделена на три ключевых блока. Первый блок – поиск объектов по фильтрам, является одним из наиболее

важных элементов для всего проекта. Он расположен в верхней части страницы и представлен в виде карточки с формой, содержащей семь полей для фильтрации. При нажатии кнопки «Найти недвижимость» данные из формы отправляются на серверный API-эндпоинт с соответствующими параметрами запроса. Серверная часть на

Flask обрабатывает эти параметры, формирует SQL-запрос к базе данных с учетом фильтров и возвращает отфильтрованный список объектов в формате JSON. Реализация фильтрации в коде сервера предусматривает проверку наличия каждого параметра и его корректности перед добавлением в SQL-запрос.

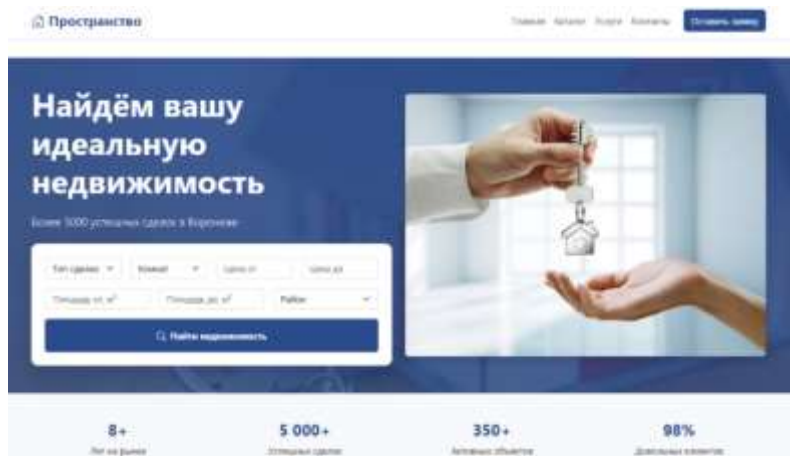


Рис. 2. Поиск объектов по фильтрам на главной странице

Второй блок – лучшие предложения, располагается ниже формы поиска и динамически загружает шесть последних добавленных объектов из базы данных. Каждое предложение отображается в виде карточки, содержащей фотографию объекта, название, цену, количество комнат, район, общую площадь и тип сделки.

Третий блок – форма заявки на подбор объекта (рисунок 3), расположен в нижней части страницы. Форма содержит четыре поля. При отправке формы JavaScript-скрипт собирает данные и отправляет POST-запрос на API-эндпоинт. Сервер принимает данные, валидирует обязательные поля, сохраняет информацию в журнал и через интегрированный модуль AmoCRMClient передает заявку в CRM-систему. Пользователь получает визуальное подтверждение об успешной отправке.

Страница услуг (рисунок 4)

структурирована как каталог услуг агентства с возможностью оставить заявку на консультацию.

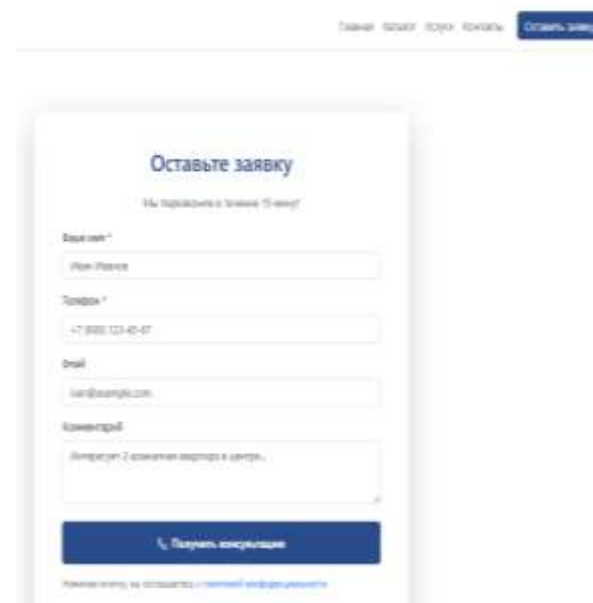


Рис. 3. Форма заявки на главной странице

Для автоматизации обработки клиентских заявок и управления взаимоотношениями с клиентами в проекте реализована интеграция веб-сайта с облачной CRM-системой amoCRM. Интеграция обеспечивает бесшовную передачу данных из форм сайта в карточки лидов CRM, что позволяет менеджерам оперативно работать с входящими запросами. Решение построено по архитектуре разделения интерфейсов: клиентская часть реализована как самостоятельный веб-сайт, а интерфейс менеджера – через готовую CRM-систему, настроенную под

специфику риелторского бизнеса.

Основная воронка «Покупка недвижимости» (рисунок 5) содержит шесть этапов: новая заявка, первичный контакт, поиск объектов, проведение показов, согласование условий и завершение сделки. Аналогичные воронки созданы для операций покупки недвижимости и аренды. Для дополнительных услуг (ипотечное сопровождение, юридические услуги, оценка) создана отдельная воронка с этапами, соответствующими специфике этих услуг.

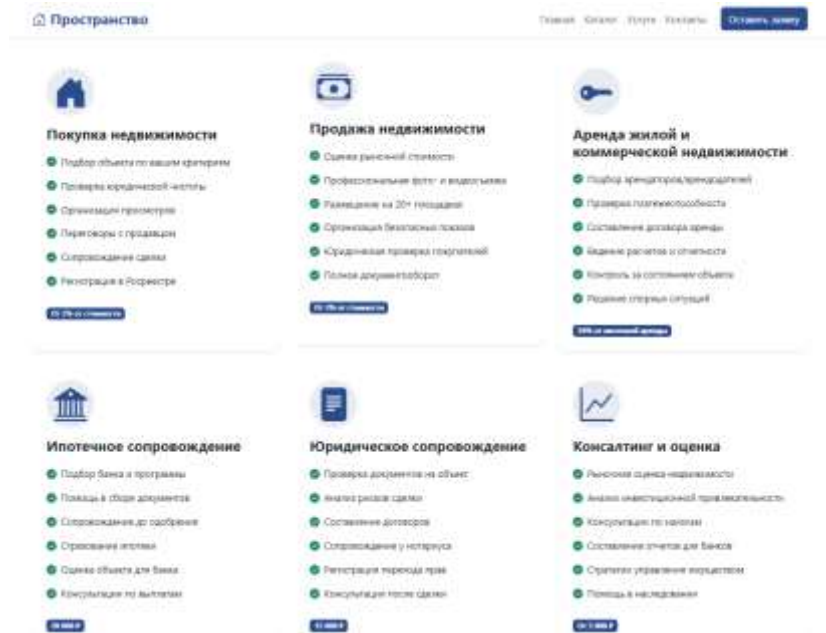


Рис. 4. Раздел «Услуги»

Для менеджеров агентства в amoCRM настроен раздел аналитики, который отображает ключевые метрики эффективности: количество новых заявок за выбранный период, количество заявок на каждом из этапов воронки, среднее время обработки заявки на разных этапах, аналитика по менеджерам и сделкам, а также эффективность разных типов заявок (рисунок 6). Эти данные позволяют оценивать результативность сайта и оперативно вносить коррективы в работу с входящими запросами.

Для оперативного управления текущими задачами и контроля эффективности работы в amoCRM реализован специализированный рабочий стол менеджера. Рабочий стол (рисунок 7) представляет собой дашборд с ключевыми показателями и инструментами быстрого доступа. Рабочий стол и аналитические инструменты в amoCRM обеспечивают работников всеми необходимыми данными для эффективной работы.

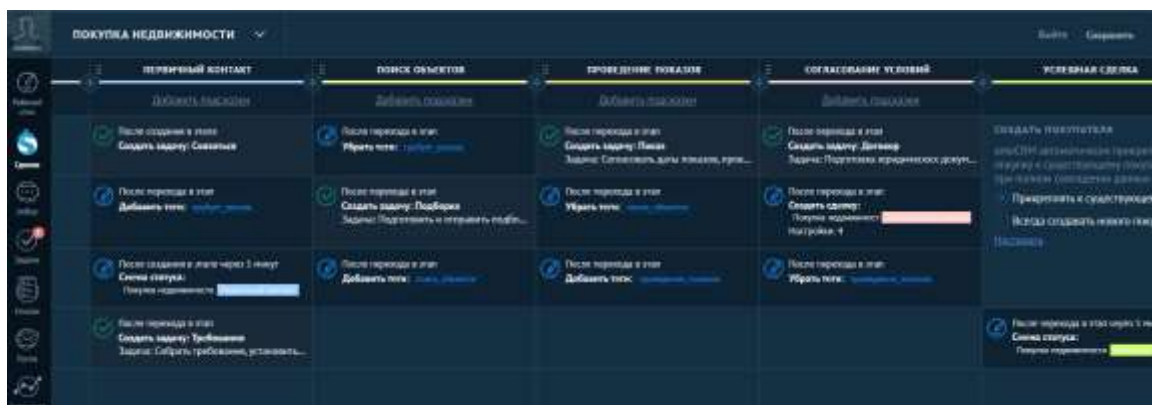


Рис. 5. Настройки воронки продаж «Покупка недвижимости» в AmoCRM

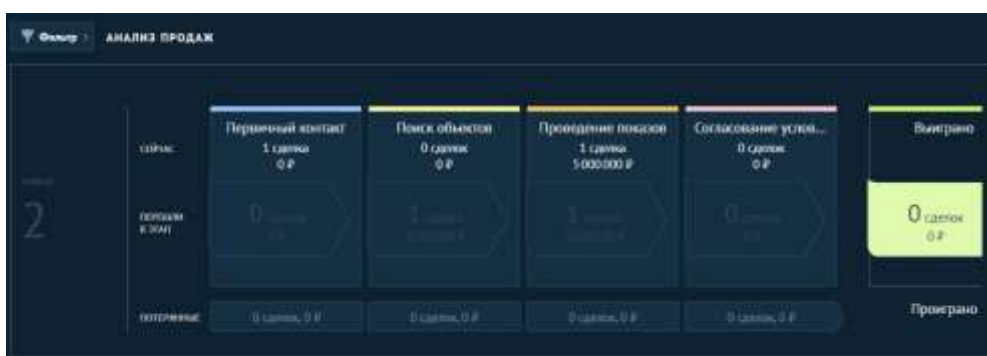


Рис. 6. Анализ продаж в AmoCRM

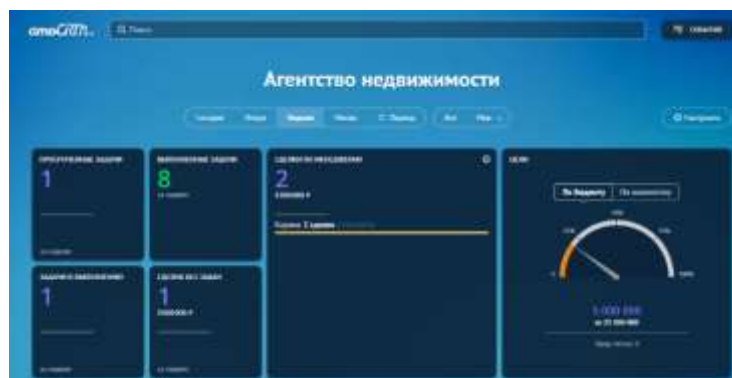


Рис. 7. Рабочий стол в AmoCRM

Таким образом, разработанный модуль информационной поддержки продаж автоматизирует рутинные операции и предоставляет менеджерам агентства аналитику для принятия обоснованных решений, контроля качества обслуживания клиентов и достижения бизнес-целей агентства недвижимости.

**Библиографический список**

1. Гагарина, Л. Г. Разработка и эксплуатация автоматизированных информационных систем / Л. Г. Гагарина. – Москва: Форум, 2021. – 384 с.
2. Бугаев, Ю. В. Задача о назначениях при управлении проектами / Ю. В. Бугаев, Л. А. Коробова, С. В. Чикунев, Н. Ю. Юдина // Моделирование систем и процессов. – 2023. – Т. 16, № 4. – С. 15-23. – DOI

10.12737/2219-0767-2023-16-4-15-23. – EDN HTKZOU

3. Фаррелл, Дуг. Python. Как стать профессионалом: разработка приложений с Python и Flask / Дуг Фаррелл. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2024. – 348 с.

4. Громов, С. А. Веб-ориентированные системы мониторинга и управления в

промышленности / С. А. Громов, И. И. Кузнецов // Автоматизация в промышленности. – 2021. – № 3. – С. 15-22.

5. Чернякова, Е. И. Исследование микросервисной архитектуры для веб-приложения / Е. И. Чернякова // Вестник магистратуры. – 2022. – № 12 (6). – С.16-32.

#### Информация об авторах

**Чикунев Сергей Владимирович** – кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий, моделирования и управления, Воронежский государственный университет инженерных технологий (394036, Россия, г. Воронеж, проспект Революции, д. 19), e-mail: chiksv@rambler.ru

#### Information about the author

**Sergey V. Chikunov** – candidate of technical Sciences, associate Professor of the Department of Information technology, modeling and management, Voronezh state University of engineering Technologies (394036, Russia, Voronezh, Revolution Avenue, 19), e-mail: chiksv@rambler.ru

УДК 004.75:658.5:004.9

## РАЗВИТИЕ DEVOPS-ИНЖЕНЕРИИ В АДМИНИСТРИРОВАНИИ ИТ-ИНФРАСТРУКТУРЫ ПРЕДПРИЯТИЯ

**Е.М. Кобозева<sup>1</sup>, Д.А. Решетов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Финансовый университет при правительстве Российской Федерации*

**Аннотация:** В статье исследуется DevOps-инженерия как ключевой инструмент трансформации корпоративной ИТ-инфраструктуры в условиях цифровой перестройки российской экономики. На основе данных ежегодного исследования «Состояние DevOps в России» (Экспресс 42, 2024) выявлены ключевые тенденции рынка: рост числа вакансий на 30% в I квартале 2024 года по сравнению с аналогичным периодом 2023 года, медианная заработная плата DevOps-инженера 234 400 рублей в месяц. Приведена сравнительная характеристика традиционной и DevOps-модели администрирования. Обоснована экономическая целесообразность перехода с позиций сокращения операционных затрат, снижения среднего времени восстановления (MTTR) после инцидентов и устранения лицензионных рисков.

**Ключевые слова:** DevOps, ИТ-инфраструктура, импортозамещение, Kubernetes, непрерывная поставка, инфраструктура как код, DORA-метрики.

## DEVELOPMENT OF DEVOPS ENGINEERING IN ENTERPRISE IT INFRASTRUCTURE ADMINISTRATION

**E.M. Kobozeva<sup>1</sup>, D.A. Reshetov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Financial University under the Government of the Russian Federation*

**Abstract:** The article studies DevOps engineering as a key instrument for transforming corporate IT infrastructure in the context of digital restructuring of the Russian economy. Based on data from the annual survey “The State of DevOps in Russia” (Express 42, 2024), key market trends are identified: a 30% growth in vacancies in Q1 2024 compared to the same period of 2023, and a median DevOps engineer salary of 234,400 roubles per month. A comparative characterisation of the traditional and DevOps administration model is provided. The economic feasibility of transition is substantiated from the perspectives of operational cost reduction, MTTR minimisation, and elimination of licensing risks.

**Keywords:** DevOps, IT infrastructure, import substitution, Kubernetes, continuous delivery, infrastructure as code, DORA metrics.

Расширение цифровой повестки в корпоративной среде формирует устойчивый запрос на пересмотр сложившихся моделей управления ИТ-инфраструктурой. Архитектура современного предприятия включает сотни независимо обновляемых микросервисов, мультиоблачные окружения с программируемым выделением ресурсов и требования к непрерывной доступности продуктов. В данных условиях традиционная операционная модель, при которой разработчики передают артефакт эксплуатационной команде посредством формального процесса согласования, систематически не соответствует темпам изменений, что обуславливает необходимость её принципиального пересмотра.

Для российских организаций ситуация существенно осложнилась в период 2022-2024 годов: массовый уход зарубежных программных вендоров поставил предприятия перед необходимостью срочного пересмотра технологического стека. Согласно исследованию «Состояние DevOps в России» агентства «Экспресс 42» [1], проведённому при участии более 4 000 ИТ-специалистов, доля российских решений в корпоративной разработке выросла с 54 % в 2022 году до 77 % в 2023 году. Открытые DevOps-инструменты, независимые от отдельного поставщика и допускающие изолированное развёртывание, оказались наиболее органичным ответом на требования технологического суверенитета.

Целью настоящей работы является исследование архитектуры DevOps-инженерии применительно к задачам управления корпоративной ИТ-инфраструктурой, а также оценка её практической ценности для российских предприятий в условиях политики импортозамещения. Объект исследования – процессы

администрирования корпоративной ИТ-инфраструктуры; предмет – DevOps-методики и программные инструменты, применимые в правовых и технологических условиях Российской Федерации.

В исследовании применяются аналитический, сравнительный и монографический методы научного познания. Информационную базу составили: ежегодные отчёты «Состояние DevOps в России» агентства «Экспресс 42» за 2023–2024 годы [1], исследование Russia DevOps Report 2023 платформы «Сфера» (Холдинг Т1) [4], публикации из научных электронных библиотек [2], официальная документация рассматриваемых программных продуктов. Анализируемый период охватывает 2021–2024 годы; для прогнозных оценок использована динамика, опубликованная в отраслевых исследованиях до 2025 года.

*Сущность DevOps-инженерии и её роль в корпоративном ИТ-управлении*

Согласно отечественной академической традиции, DevOps трактуется как организационно-технологическая концепция интеграции процессов создания и сопровождения программных систем в непрерывный автоматизированный поток [3]. Концептуальная модель CALMS структурирует это определение через пять измерений, каждое из которых описывает самостоятельный аспект зрелости DevOps-практики (таблица 1).

Носителем DevOps-практик в организационной структуре предприятия является DevOps-инженер – специалист, отвечающий за проектирование и поддержку инфраструктурной платформы на всём жизненном цикле программного продукта. По данным исследования «Состояние DevOps в России 2024», медианная заработная плата DevOps-инженера в России по итогам

октября 2024 года составила 234 400 рублей в месяц – наивысший показатель среди всех ИТ-специальностей [1]. Ежегодно в период 2019-2024 годов число вакансий для данной

профессии неуклонно возрастало: только в первом квартале 2024 года объём новых предложений превысил аналогичный период 2023 года на 30 % [1].

Таблица 1 Операциональные измерения модели CALMS и их корпоративное содержание

Измерение	Компонент	Практическое содержание в корпоративном ИТ
Culture	Культура	Переход от силосной передачи ответственности к совместному владению конечным результатом командами разработки и эксплуатации
Automation	Автоматизация	Замена ручных операций сборки, тестирования и развёртывания воспроизводимыми конвейерами CI/CD; устранение человеческого фактора на рутинных этапах
Lean	Бережливость	Сокращение незавершённого производства в потоке поставки ценности по аналогии с принципами Toyota Production System
Measurement	Измеримость	Управление инфраструктурными решениями через метрики DORA: частота развёртываний (DF), время восстановления (MTTR), доля неудачных изменений (CFR)
Sharing	Обмен знаниями	Документирование решений в общедоступных репозиториях; горизонтальный трансфер практик между функциональными ролями через runbook и базы знаний

Указ Президента Российской Федерации № 250 от 01.05.2022 о дополнительных мерах по обеспечению информационной безопасности существенно изменил приоритеты корпоративного ИТ-управления. Субъекты критической информационной инфраструктуры в соответствии с Федеральным законом № 187-ФЗ обязаны применять сертифицированные средства защиты и последовательно переходить на отечественное программное обеспечение. DevOps-инженерия, опирающаяся на открытые инструменты – GitLab CE, Docker, Kubernetes и OpenTofu, – органично соответствует данным требованиям, поскольку указанные продукты не подпадают под санкционные ограничения и могут развёртываться в изолированном периметре предприятия. Российские облачные провайдеры – Yandex Cloud, VK Cloud, Selectel и Cloud.ru – публикуют официальные провайдеры для OpenTofu, обеспечивая

декларативное управление всей облачной инфраструктурой из единого кодового репозитория [5].

*Технологический стек DevOps: инструменты, доступные в условиях российской юрисдикции*

По данным исследования «Состояние DevOps в России 2024», тройка наиболее востребованных в вакансиях навыков включает: Linux (45 %), Docker (37 %) и Kubernetes (35 %) [1]. Указанные данные свидетельствуют о том, что именно контейнеризация и оркестрация занимают центральное место в современном DevOps-стеке. Систематизация инструментов по функциональным уровням с указанием российских альтернатив представлена в таблице 2.

Следует подчеркнуть, что доля Terraform в российских DevOps-проектах планомерно сокращается после смены лицензии на проприетарную BUSL-1.1 в 2023

году [5]. На его место приходит OpenTofu – открытый форк, полностью совместимый с существующими модулями, что особенно

актуально на фоне реализуемой политики импортозамещения.

Таблица 2 Технологический стек DevOps-администрирования для российских предприятий

Уровень	Инструмент (лицензия)	Российская альтернатива	Статус / примечание
Управление кодом и CI/CD	GitLab CE (MIT)	GitFlic	GitFlic включена в реестр Минцифры
Контейнеризация	Docker (Apache 2.0)	–	Используется в 37 % вакансий [1]
Оркестрация контейнеров	Kubernetes (Apache 2.0)	Deckhouse КР	Deckhouse: рост с 9,9 до 12,3 % [1]
Инфраструктура как код (IaC)	OpenTofu (MPL-2.0)	–	Форк Terraform; нет ограничений BUSL-1.1
Управление конфигурацией	Ansible (GPLv3)	–	Агентов не требует; отсутствуют лицензионные риски
Мониторинг / наблюдаемость	Prometheus + Grafana + Loki	Monq	Monq включён в реестр Минцифры; поддержка AIOps
Безопасность (DevSecOps)	Trivy / GitLab SAST (MIT / CE-free)	Astral Security	Интеграция в CI/CD на этапе merge request

*Анализ тенденций развития DevOps на российском рынке труда и в отраслевом разрезе*

По данным исследования «Состояние DevOps в России 2024», DevOps-специалисты занимают второе место по востребованности среди всех ИТ-профессий, уступая лишь разработчикам: 27,6 % против 40,6 %

от общего объема опубликованных вакансий [1]. Число предложений работы на hh.ru стабильно увеличивалось на протяжении 2019-2024 годов. Для иллюстрации динамики рынка труда на рисунке 1 приведены индексированные данные о росте числа вакансий и медианной заработной плате.

Таблица 3 Сравнительная характеристика традиционной и DevOps-модели администрирования

Параметр	Традиционное ИТ-управление	DevOps-модель
Периодичность релизов	Ежеквартально или реже	Несколько раз в сутки (CI/CD)
Конфигурация серверов	Ручная настройка по регламентам	IaC: OpenTofu + Ansible
Управление кодом	Отсутствует или формальная VCS	GitLab CE / GitFlic
Наблюдаемость	Реактивный контроль по жалобам	Prometheus + Grafana + Loki
Облачная среда (РФ)	On-premise, устаревший хостинг	Yandex Cloud, Selectel, VK Cloud
Безопасность	Постфактум (после инцидента)	DevSecOps: SAST в CI/CD-конвейере

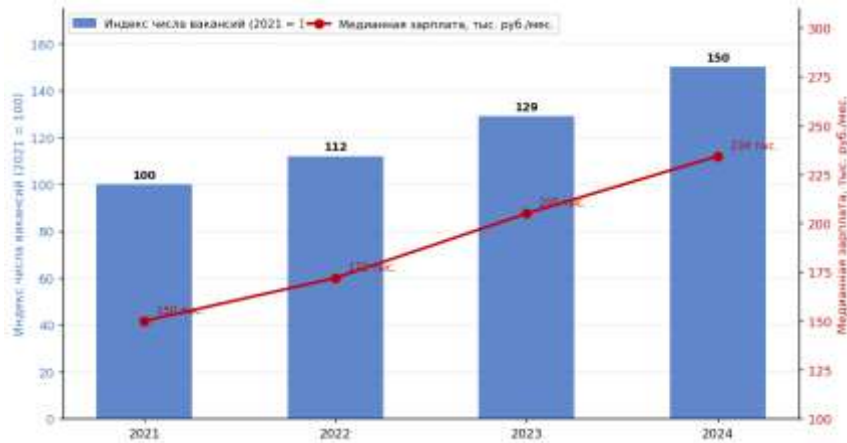


Рис. 1. Динамика рынка труда DevOps-специалистов в России, 2021-2024 гг.

### Заключение

По результатам проведенного исследования сформулированы следующие выводы. В организационном измерении DevOps-трансформация требует прежде всего культурного сдвига – перехода от функциональной изолированности к совместной ответственности за конечный результат. Технологические инструменты способны ускорить и закрепить этот сдвиг, однако не могут его заменить.

В технологическом измерении российские предприятия располагают полным и верифицированным набором открытых DevOps-инструментов, не зависящих от зарубежных лицензионных ограничений: GitLab CE – для управления кодом и конвейерами; OpenTofu – для декларативного описания инфраструктуры в облаках Yandex Cloud, Selectel и VK Cloud; Ansible – для управления конфигурацией операционных систем; Kubernetes и Deckhouse Kubernetes Platform – для оркестрации контейнерных нагрузок; Prometheus с Grafana и Loki – для обеспечения наблюдаемости.

В кадровом измерении рынок DevOps-специалистов характеризуется устойчивым структурным дефицитом: число вакансий в первом квартале 2024

года выросло на 30 % к аналогичному периоду 2023 года, при этом на одну позицию Senior DevOps приходится всего 1,2 активных резюме. Медианная заработная плата DevOps-инженера по итогам 2024 года составляет 234 400 рублей в месяц – наивысший показатель среди ИТ-специализаций по данным исследования «Экспресс 42» [1].

В экономическом измерении совокупный эффект трансформации складывается из четырех составляющих: снижения прямых операционных затрат через автоматизацию; сокращения потерь от инцидентов через проактивный мониторинг; устранения лицензионных рисков при переходе на открытое программное обеспечение; уменьшения технического долга через кодификацию состояния инфраструктуры. Перспективным направлением дальнейших исследований является разработка отраслевых моделей оценки DevOps-зрелости с учетом требований Банка России и ФСТЭК к управлению ИТ-рисками.

### Библиографический список

1. Экспресс 42 при поддержке Deckhouse, Yandex Cloud, HeadHunter и др. Состояние DevOps в России 2024: результаты ежегодного исследования [Электронный ресурс]. – URL:

[https://cnews.ru/news/line/2024-09-10\\_opublikovany\\_dannye\\_issledovaniya](https://cnews.ru/news/line/2024-09-10_opublikovany_dannye_issledovaniya) (дата обращения: 15.03.2026).

2. Лотов К.А., Андиева Е.Ю. Эволюция DevOps: роль CI/CD в ускорении цикла разработки программного обеспечения [Электронный ресурс] // КиберЛенинка. – 2025. – URL:

<https://cyberleninka.ru/article/n/evolyutsiya-devops-rol-ci-cd-v-uskorenii-tsikla-razrabotki-programmnogo-obespecheniya> (дата обращения: 15.03.2026).

3. Серегин К.С. Практики DevOps для ускорения разработки и внедрения современных приложений и оптимизации процессов доставки программного обеспечения [Электронный ресурс] // КиберЛенинка. – 2025. – URL:

<https://cyberleninka.ru/article/n/praktiki-devops-dlya-uskoreniya-razrabotki> (дата обращения: 15.03.2026).

4. Платформа «Сфера» (Холдинг Т1). Russia DevOps Report 2023: рынок готов к принятию отечественного ПО [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.cnews.ru/news/line/2024-04-10\\_russia\\_devops\\_report\\_2023\\_rynok\\_gotov](https://www.cnews.ru/news/line/2024-04-10_russia_devops_report_2023_rynok_gotov) (дата обращения: 15.03.2026).

5. Флант (Экспресс 42). ИТ-инфраструктура в российских компаниях в 2023 году: импортозамещение, CI/CD, управление инфраструктурой и мониторинг [Электронный ресурс]. – URL: <https://habr.com/ru/companies/flant/articles/755038/> (дата обращения: 15.03.2026).

#### Информация об авторах

**Кобозева Елена Михайловна** – кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры математики и информатики, Финансовый университет при правительстве Российской Федерации (350051, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. Шоссе Нефтяников, д. 32), e-mail: [alena.cobozeva@yandex.ru](mailto:alena.cobozeva@yandex.ru), тел. 8-918-446-9449

**Решетов Дмитрий Анатольевич** – студент, кафедра математики и информатики, Финансовый университет при правительстве Российской Федерации (350051, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. Шоссе Нефтяников, д. 32), e-mail: [100dot13sl230166@edu.fa.ru](mailto:100dot13sl230166@edu.fa.ru)

#### Information about the author

**Kobozeva Elena Mikhailovna** – candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Mathematics and Computer Science, Financial University under the Government of the Russian Federation (350051, Krasnodar Territory, Krasnodar, Highway Neftyanikov, 32), e-mail: [alena.cobozeva@yandex.ru](mailto:alena.cobozeva@yandex.ru), tel. 8-918-446-9449

**Reshetov Dmitry Anatolyevich** – student, Department of Mathematics and Computer Science, Financial University under the Government of the Russian Federation (350051, Krasnodar Territory, Krasnodar, Highway Neftyanikov, 32), e-mail: [100dot13sl230166@edu.fa.ru](mailto:100dot13sl230166@edu.fa.ru)

УДК 005.8

## МЕТОДОЛОГИЯ ТРИЗ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ ВНЕ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧ

А.А. Кукин<sup>1</sup>, Е.А. Лещева<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Воронежский государственный технический университет

**Аннотация:** статья посвящена методологии теории решения изобретательских задач (ТРИЗ) и возможностям ее применения в нетехнических сферах. Рассматриваются основные понятия и инструменты ТРИЗ, включая противоречие, идеальный конечный результат, ресурсы, таблица 40 приемов, вепольный анализ и алгоритм решения изобретательских задач (АРИЗ). На примерах из маркетинга, управления и разработки корпоративных информационных систем показано, как классические инструменты ТРИЗ адаптируются для решения задач, выходящих за пределы инженерной деятельности.

**Ключевые слова:** ТРИЗ, противоречие, идеальный конечный результат, вепольный анализ, элеполь, АРИЗ, бизнес-ТРИЗ, маркетинг, корпоративные информационные системы, MES-системы.

## TRIZ METHODOLOGY AND ITS APPLICATION IN NON-ENGINEERING FIELDS

A.A. Kukin <sup>1</sup>, E.A. Leshcheva <sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Voronezh state technical University*

**Abstract:** The article is devoted to the methodology of the theory of inventive problem solving (TRIZ) and its application in non-engineering fields. It considers the main concepts and tools of TRIZ, including contradiction, ideal final result, resources, the table of 40 inventive principles, substance-field analysis (su-field), and the algorithm for inventive problem solving (ARIZ). Using examples from marketing, management, and corporate information systems development, it is shown how classical TRIZ tools can be adapted to solve problems beyond engineering.

**Keywords:** TRIZ, contradiction, ideal final result, su-field analysis, TRIZ, ARIZ, business TRIZ, marketing, corporate information systems, MES systems.

В условиях все большего технологического развития и усложнения организационных процессов возрастает необходимость в применении системных методов поиска инновационных решений. Часто подходы к решению проблем такого рода основываются на интуиции или накопленном опыте специалистов. Такие методы не всегда позволяют находить действительно новые и эффективные решения. В этой связи интерес представляет теория решения изобретательских задач (ТРИЗ), разработанная в середине XX века советским исследователем Генрихом Сауловичем Альтшуллером.

ТРИЗ отличается от традиционного метода «проб и ошибок», который долгое время оставался основным инструментом изобретательства [2]. В рамках данного метода поиск решения ведется хаотично, перебор вариантов происходит без заданного направления поиска, а успех во многом зависит от случайности, настойчивости или особой интуиции изобретателя. Такой подход, хотя и дал миру немало открытий, характеризуется высокой ресурсоемкостью и непредсказуемостью результата.

В поисках более надежных способов активизации творческого мышления обрело популярность направление эвристики,

предлагавшее набор эвристических приемов, которые направляют поиск в вероятную сторону. Эвристические методы, такие как мозговой штурм, синектика или морфологический анализ, значительно продвинули практику решения нестандартных задач. Однако их возможности оказались ограниченными по причине того, что они дают толчок к генерации идей, но не предоставляют инструментов для анализа структуры задачи, выявления причин проблемы и прогнозирования путей ее решения [1]. По сути, эвристика помогает обойти психологическую инерцию, но не делает из процесса поиска решения строгую технологию.

ТРИЗ пытается решить эту задачу, опираясь на существующие закономерности в сфере изобретательства. В ходе анализа десятков тысяч патентных документов Альтшуллер установил, что технические системы не возникают случайно и не развиваются хаотично. Они подчиняются определенным закономерностям, а изобретения часто основываются на ограниченном наборе типовых принципов. Таким образом, ТРИЗ выводит производство новых идей из разряда искусства, где мастерство доступно лишь одаренным от рождения изобретателям, в науку со своими принципами, инструментами и методиками,

которыми можно обучить для применения в практической деятельности [1, 3].

Общая логика решения изобретательских задач в ТРИЗ в основном строится вокруг трех ключевых понятий: противоречия, идеального конечного результата и ресурсов. Их соединение и последующее устранение противоречия определяет, как именно следует подходить к поиску решений сложных задач.

В любой нестандартной задаче всегда присутствует противоречие: при улучшении одного параметра системы, ухудшается другой. Например, повышая скорость движения комбайна, чтобы увеличить производительность уборки, конструктору приходится столкнуться с возрастающей потерей зерна из-за неполной очистки поля. В таких случаях традиционный подход ищет компромисс. ТРИЗ же направлена на выявление и устранение противоречия, то есть на улучшение обоих параметров одновременно без компромисса [3].

Ориентиром в этом поиске служит идеальный конечный результат (ИКР). ИКР описывает состояние, при котором желаемая функция выполняется без затрат ресурсов и без нежелательных эффектов, при этом сама система может отсутствовать физически. Формулировка ИКР позволяет направить мысль не на улучшение существующего, а на поиск принципиально иного способа достижения требуемого эффекта [4].

Третьим элементом являются ресурсы, то есть имеющиеся в системе или вокруг нее различного рода средства, которые могут быть использованы для решения задачи без привлечения дополнительных затрат. Сильное решение, как правило, опирается именно на то, что уже доступно, а не на введение новых элементов [1].

Соединить выявленное противоречие, сформулированный ИКР и доступные ресурсы позволяет совокупность инструментов, разработанных в ТРИЗ. Однако каждый из них эффективен для определенного класса задач. Основные инструменты можно охарактеризовать следующим образом.

Одним из наиболее известных и популярных инструментов ТРИЗ является таблица выбора приемов устранения технических противоречий. В ее основе лежат выделенные Альтшуллером 40 типовых приемов, наиболее часто используемых изобретателями для преодоления противоречий [1]. Матрица представляет собой таблицу, в которой по вертикали расположены параметры, требующие улучшения, а по горизонтали – параметры, которые недопустимо ухудшаются. На пересечении соответствующих строки и столбца указываются номера приемов, с наибольшей вероятностью ведущих к решению. При этом сами 40 приемов могут применяться как в составе матрицы, так и самостоятельно, когда противоречие уже выявлено и требуется найти направление для решения, не обращаясь к таблице. Приемы сформулированы преимущественно в технических терминах, однако при решении задач в нетехнических областях они могут быть адаптированы применительно к конкретной ситуации. Пример фрагмента матрицы приведен на рис. 1, а с полной версией можно ознакомиться на сайте Официального Фонда Г. С. Альтшуллера [5].

Другим важным инструментом ТРИЗ является вепольный анализ (сокращение от «вещество» и «поле»). В его основе лежит представление о том, что любую систему можно описать через структуру, состоящую из двух взаимодействующих объектов и

поля, через которое это взаимодействие осуществляется [7]. В классическом инженерном применении объектами выступают вещества (детали, материалы, среда), а полем – физическое поле (механическое, тепловое, магнитное и т.д.). Анализ начинается с построения вепольной модели, которая показывает, какие элементы участвуют во взаимодействии и достаточно ли их для выполнения требуемой функции. Если в системе обнаруживается недостающий элемент или вредное взаимодействие, используется разработанная Альтшуллером система из 76 стандартов, в которой приводятся типовые преобразования, позволяющие достроить недостающие элементы или устранить нежелательные связи [1].

Что нужно изменить	Что недопустимо ухудшается				
	1. Вес подвижного объекта	...	9. Скорость	10. Сила	...
1. Вес подвижного объекта		...	2, 8, 15, 38	8, 10, 18, 37	...
...	...				...
9. Скорость	2, 28, 13, 38	...		13, 28, 15, 19	...
10. Сила					...
...	...	...		...	

Рис. 1. Фрагмент таблицы выбора приемов устранения технических противоречий [6]

Первоначально вепольный анализ был разработан для технических систем, однако его логика оказалась универсальной. Для применения в нетехнических сферах, где вместо веществ фигурируют социальные, организационные или информационные элементы, начиная с 2010 года М.С. Рубиным было введено понятие элеполя (сокращение от «элемент» и «поле») [8]. В отличие от классического веполя, в элеполе поле воздействует на оба элемента, а сами

элементы и поля могут быть как материальными, так и нематериальными. Полная структура элеполя включает четыре составляющих: два элемента, действие одного элемента на другой и поле, которое обеспечивает это действие. Для понимания рассмотрим конфликт между строительной компанией (первый элемент) и местными жителями (второй элемент). Действие компании на жителей выражается в создании шума и пыли, а поле, через которое это действие осуществляется, – экологическое состояние окружающей среды. Вместо того чтобы решать сложную задачу полного подавления шума, можно преобразовать структуру элеполя, введя дополнительный элемент. Например, установка информационных щитов с графиком самых шумных работ и телефона для обратной связи создает новое информационное поле, которое не устранил физический шум, но переведет конфликт в управляемое русло. Для элепольного анализа М.С. Рубиным отдельно разработана универсальная система стандартов, предназначенная для применения не только в технике, но и в областях от разработки программного обеспечения до бизнес-моделей [8].

Когда другие инструменты по отдельности не позволяют найти приемлемое решение, в ТРИЗ разработан алгоритм решения изобретательских задач (АРИЗ), представляющий собой комплексную программу алгоритмического типа, задающую нужную последовательность шагов. Она проводит мысль решателя от расплывчатой проблемной ситуации к четко сформулированному противоречию, затем к идеальному конечному результату, выявлению ресурсов и в итоге к разрешению противоречия. В структуре АРИЗ выделяют три составляющие [9]:

– программу как последовательность операций по выявлению и разрешению противоречий, анализу исходной ситуации, синтезу и выбору решения;

– информационное обеспечение, включающее систему стандартов, приемы устранения противоречий и технологические эффекты;

– методы управления психологическими факторами, позволяющие преодолевать инерцию мышления и развивать творческое воображение.

В упрощенном виде алгоритм включает пять этапов: определение типа задачи, формулировка противоречий и ИКР, выявление ресурсов, применение приемов (40 приемов, оператор РВС, вепольный анализ) и анализ полученных решений с позиции идеальности [9].

Начиная с первой версии 1956 года, Альтшуллер постоянно совершенствовал алгоритм, опираясь на исследование больших массивов патентной информации по изобретениям и проверяя каждую модификацию на практике. Наиболее известными стали версии АРИЗ-71, АРИЗ-77 и АРИЗ-85-В, каждая из которых учитывала накопленный опыт решения все более сложных задач [9].

Описание инструментов, приведенное выше, относится к классической ТРИЗ. На их основе в последние десятилетия сформировались адаптированные направления, такие как бизнес-ТРИЗ и социальная ТРИЗ, где те же принципы и приемы применяются к управленческим, маркетинговым и организационным задачам.

Как упоминалось ранее, первоначально методы ТРИЗ применялись в основном в инженерной деятельности. Поэтому для понимания работы методологии стоит начать с классического примера. В

машиностроении часто возникает противоречие между прочностью конструкции и её массой [3]. Например, фюзеляж самолёта (рис. 2) должен быть прочным (выдерживать давление на высоте) и лёгким (для экономии топлива). Однако увеличение толщины стенок ведёт к увеличению массы. Принципы ТРИЗ позволяют находить решения, повышающие прочность без её существенного увеличения. Одним из распространённых решений является применение новых структурных форм, например, продольных и кольцевых рёбер жесткости для распределения нагрузки и предотвращения потери устойчивости при сохранении её массы [3].

Сегодня ТРИЗ используют в таких компаниях, как «Росатом», «Газпром-нефть», а также в зарубежных корпорациях Samsung, Boeing, Ford и многих других [12, 13].

Инструменты ТРИЗ могут использоваться в маркетинге для решения нестандартных задач, когда привычные способы перестают работать. Один из показательных примеров рассматривается в рамках направления бизнес-ТРИЗ. В нем адаптированы классические инструменты Альтшуллера (40 приемов, законов развития систем, анализа противоречий) для решения управленческих и маркетинговых задач [10]. Рассмотрим случай компании, которая столкнулась с низкой конверсией на сайте. Команда выяснила, что клиенты не завершают оформление заказа из-за слишком длинной формы, требующей много личной информации. Однако руководство запретило сокращать количество полей, настаивая на сборе всех возможных данных. В результате возникло классическое противоречие: форма должна быть максимально быстрой, чтобы клиент не передумал и дошел до

оплаты, и одновременно максимально долгой, чтобы собрать всю необходимую информацию [10].

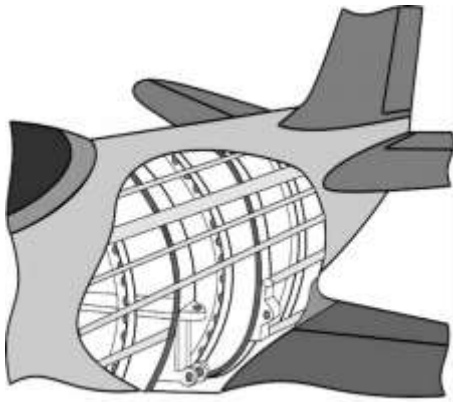


Рис. 2. Пример фюзеляжа самолета



Рис. 3. Пример воронки продаж на сайте

Для разрешения противоречия команда использовала несколько приемов из списка 40. Прием «Сделать наоборот» подсказал решение о переносе оплаты в начало процесса с последующим сбором данных. Теперь даже если клиент бросит заполнение формы, заказ уже будет оформлен и оплачен. Прием «Использовать посредника» позволил привлечь к сбору данных сейлз-менеджеров, которые обзванивают клиентов после оплаты и задают вопросы, ранее присутствовавшие в форме. Прием «Перейти в надсистему» помог начать

сбирать часть данных о пользователях на этапах регистрации, в процессе поиска товаров, автоматически по геопозиции, что позволило распределить нагрузку по всей воронке продаж. В результате противоречие было устранено, конверсия выросла, а компания продолжила собирать полные данные о клиентах [10].

В сфере информационных технологий и корпоративных систем ТРИЗ также находит применение. Рассмотрим опыт немецкой компании BDE-Engineering, производителя программно-аппаратных комплексов PROefficient, относящихся к классу MES-систем (Manufacturing Execution System – производственные исполнительные системы). Разработчик системы Андрей Толмачев в своей статье [11] делится опытом, как принципы ТРИЗ помогли разрешить возникшее на рынке противоречие. Оно заключалось в том, что отраслевой стандарт MESA International определял MES-систему как комплекс, выполняющий все выделенные 11 функций сразу. Это означало, что система должна быть дорогой и сложной, но именно это делало её недоступной для средних и малых предприятий. Сформулировав противоречие, компания применила принципы «Дробления» и «Объединения»: система была разбита на отдельные подсистемы, из которых для каждого заказчика собирался только необходимый набор MES-приложений. Такой подход позволил сократить сроки внедрения с нескольких лет до нескольких дней, а стоимость решения снизилась в десятки раз по сравнению с универсальными системами [11].

Другой пример связан с разработкой собственного терминала сбора данных PROtouch. При создании его корпуса возникло противоречие: оборудование должно работать в агрессивных производственных

средах, поэтому для защиты требовался дополнительный шкаф, что удорожало решение. Идеальный конечный результат заключался в том, чтобы защитный шкаф выполнял свою функцию, но при этом отсутствовал как отдельный элемент, не увеличивая стоимость. Решение было найдено через принцип «Свертывания», благодаря которому корпус терминала спроектировали так, что он сам стал выполнять функцию защитного шкафа. В результате терминалы PROtouch получили сертификацию по нормам пыле- и водонепроницаемости, что позволило отказаться от дополнительного оборудования [11]. Толмачев подчеркивает, что знание основ и принципов ТРИЗ способно многократно повысить творческий потенциал специалистов в области информационных технологий, поскольку методология дает возможность мыслить организовано и системно, находить нестандартные решения там, где традиционные методы предлагают лишь компромисс [11].

Можно с уверенностью сказать, что ТРИЗ сегодня применима в самых разных направлениях. Приведённые примеры дали представление о том, как инструменты методологии адаптировались к сфере маркетинга, управления, разработки корпоративных ИС и даже разрешению социальных конфликтов. Практика компаний из разных отраслей подтвердила, что использование инструментов ТРИЗ способствует росту качества решений и стимулирует инновационное развитие. Однако считать ТРИЗ универсальным и легким способом решить любые задачи было бы заблуждением, ведь этот инструмент не так прост и требует освоения. Но даже овладение базовым инструментарием меняет сам подход к поиску решений. И этого уже достаточно, чтобы находить ранее неочевидные и

эффективные решения. В современном мире эту логику полезно знать не только инженеру, но и любому, кто принимает решения.

### Библиографический список

1. Альтшуллер Г. С. Найти идею: Введение в ТРИЗ – теорию решения изобретательских задач / Г. С. Альтшуллер // Альпина Паблишер. – 2014. – №7
2. Андреева О. Инструменты ТРИЗ: идеальный конечный результат [Электронный ресурс]. – 2022. – URL: <https://kachestvo.pro/kachestvo-upravleniya/instrumenty-menedzhmenta/instrumenty-triz-idealnyy-konechnyy-rezultat/>
3. Альтшуллер Г. С. Таблица применения приемов разрешения технических противоречий [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.altshuller.ru/triz/technique2.asp>
4. Петров В. И. Основы теории решения изобретательских задач [Электронный ресурс]. – 2002. – URL: <http://www.triz.natm.ru/articles/petrov/6.1.0.htm>
5. Крутько С., Буянов Е. Методы анализа ТРИЗ [Электронный ресурс]. – URL: <https://4brain.ru/triz/analiz.php>
6. Рубин М. С. Универсальная система стандартов на решение изобретательских задач [Электронный ресурс]. – 2010-2012, 2017. – URL: [https://r1.nubex.ru/s828-c8b/f2907\\_c0/Стандарты-2010-2012-5.pdf](https://r1.nubex.ru/s828-c8b/f2907_c0/Стандарты-2010-2012-5.pdf)
7. Буянов Е., Крутько С. Алгоритмы решения изобретательских задач – АРИЗ [Электронный ресурс]. – URL: <https://4brain.ru/triz/ariz.php>
8. Unisender. ТРИЗ: зачем теорию советского инженера используют в маркетинге [Электронный ресурс]. – 2025. – URL: [29](https://www.unisender.com/ru/glossary/chto-</a></li></ol></div><div data-bbox=)

takoe-triz/#anchor-1

9. Толмачев А. А. Использование принципов ТРИЗ в информационных технологиях на примере MES-системы PROefficient [Электронный ресурс]. – 2011. – URL: [https://r1.nubex.ru/s828-c8b/f1857\\_d3/TRIZ\\_and\\_MES\\_V2.pdf](https://r1.nubex.ru/s828-c8b/f1857_d3/TRIZ_and_MES_V2.pdf)

10. Новости Томского государственного университета. Инновации – по алгоритму: ФИТ организовал круглый стол с

партнерами [Электронный ресурс]. – 2025. – URL: <https://news.tsu.ru/projects/university-in-details/innovatsii-po-algoritmu-fit-organizoval-kruglyy-stol-s-partnerami/>

11. Медиа Нетологии. Как быстро решать нестандартные бизнес-задачи при помощи ТРИЗ [Электронный ресурс]. – 2022. – URL: <https://netology.ru/blog/07-2022-triz-for-business>

#### Информация об авторах

**Кукин Артемий Алексеевич** – студент кафедры систем управления и информационных технологий в строительстве, Воронежский государственный технический университет (394006 Россия, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84), e-mail: [artemiykukin@mail.ru](mailto:artemiykukin@mail.ru)

**Лещева Екатерина Александровна** – ассистент кафедры систем управления и информационных технологий в строительстве, Воронежский государственный технический университет (394006 Россия, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84), e-mail: [elecheva@cchgeu.ru](mailto:elecheva@cchgeu.ru)

#### Information about the author

**Artemiy A. Kukin** – student of the Department of Management Systems and Information Technologies in Construction, Voronezh State Technical University (20-letiya Oktyabrya St., 84, 394006 Voronezh, Russian Federation), e-mail: [artemiykukin@mail.ru](mailto:artemiykukin@mail.ru)

**Ekaterina A. Leshcheva** – assistant of the Department of Management Systems and Information Technologies in Construction, Voronezh State Technical University (20-letiya Oktyabrya St., 84, 394006 Voronezh, Russian Federation), e-mail: [elecheva@cchgeu.ru](mailto:elecheva@cchgeu.ru)

УДК 005.8

## РАЗРАБОТКА КРИТЕРИЕВ И МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОРРЕКЦИОННО-РАЗВИВАЮЩЕЙ РАБОТЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДИСТАНЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Н.С. Сыsoева<sup>1</sup>, Е.А. Лещева<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Воронежский государственный технический университет

**Аннотация:** В статье представлен комплексный анализ методологии оценки эффективности коррекционно-развивающей работы (КРР) с использованием дистанционных технологий. Рассматриваются теоретические основы, практические аспекты внедрения и современные тенденции цифровой трансформации специального образования. Особое внимание уделено вопросам стандартизации критериев оценки, учёту роли родителей как посредников и адаптации диагностического инструментария к онлайн-среде. На основе анализа более 30 реализованных дистанционных программ сопровождения детей с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) демонстрируется экономическая и педагогическая эффективность предлагаемой модели, включая сокращение временных затрат специалиста на 35–50% и расширение охвата семей на 60–80% по сравнению с исключительно очным форматом.

**Ключевые слова:** коррекционно-развивающая работа, дистанционные технологии, оценка эффективности, критерии, цифровая образовательная среда, инклюзивное образование, психолого-педагогическое сопровождение, родитель-посредник.

## DEVELOPMENT OF CRITERIA AND METHODOLOGY FOR ASSESSING THE EFFECTIVENESS OF CORRECTIVE AND DEVELOPMENTAL WORK USING REMOTE TECHNOLOGIES

N.S. Sysoeva<sup>1</sup>, E.A. Leshcheva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Voronezh state technical University

**Abstract:** This article presents a comprehensive analysis of the methodology for assessing the effectiveness of special education interventions (SEIs) using remote technologies. It examines the theoretical foundations, practical aspects of implementation, and current trends in the digital transformation of special education. Particular attention is paid to standardizing assessment criteria, taking into account the role of parents as intermediaries, and adapting diagnostic tools to the online environment. Based on an analysis of more than 30 implemented distance support programs for children with disabilities, the economic and pedagogical effectiveness of the proposed model is demonstrated, including a 35–50% reduction in specialist time spent and an increase in family coverage by 60–80% compared to an exclusively in-person format.

**Keywords:** correctional and developmental work, distance learning technologies, effectiveness assessment, criteria, digital educational environment, inclusive education, psychological and pedagogical support, parent-intermediary.

В условиях цифровой трансформации системы образования и социальной защиты проблема эффективного применения дистанционных технологий в коррекционно-развивающей работе приобретает особую актуальность. По данным исследований Института коррекционной педагогики РАО (2023), более 60% специалистов (логопедов, дефектологов, психологов) используют в своей практике онлайн-форматы, однако до 45% из них отмечают отсутствие чётких методик оценки результативности такой работы [1]. Схожая ситуация наблюдается и в зарубежной практике: по данным Европейской ассоциации специального образования (EASSE, 2022), лишь 38% специалистов применяют формализованные критерии для оценки эффективности дистанционного сопровождения [2].

Дистанционная коррекционно-развивающая работа — это целенаправленный процесс психолого-педагогического воздействия на ребёнка с ОВЗ, осуществляемый с использованием цифровых каналов коммуникации (видеоконференция, чат, специализированные приложения) при обязательном участии родителя или иного значимого взрослого в качестве активного посредника.

Ключевая особенность такого формата заключается в том, что традиционные критерии эффективности (динамика по стандартизированным шкалам, экспертная

оценка в очном режиме) не могут быть механически перенесены в цифровую среду. Как подчёркивает Б.Б. Айсмонтас (2022), психолого-педагогическая диагностика в онлайн-формате требует не только адаптации инструментария, но и разработки новых критериев, учитывающих технические условия, компетентность родителя-посредника и специфику опосредованного взаимодействия [3].

Применение обоснованных критериев и методик оценки позволяет:

- повысить объективность мониторинга динамики развития ребёнка;
- выявлять «узкие места» в организации дистанционного процесса;
- обоснованно выбирать формат (очный, дистанционный, смешанный) для конкретного случая;
- оптимизировать временные и финансовые затраты всех участников.

Теоретической основой разработки критериев и методики служит системный анализ цифровой образовательной среды, включающий:

1. Идентификацию ключевых факторов успешности дистанционного взаимодействия.
2. Формализацию требований к компетенциям родителя-посредника.
3. Адаптацию диагностических и коррекционных методик к онлайн-

предъявлению.

Ключевые принципы, на которых строится предлагаемая система оценки:

– Стандартизация — использование единых подходов к оценке результативности, позволяющих сравнивать данные разных специалистов и учреждений.

– Модульность — декомпозиция оценки на независимые блоки: технологический, процессуальный, результативный.

– Учёт посреднической роли родителя — введение показателей, характеризующих уровень вовлечённости и компетентности взрослого.

– Адаптивность — возможность гибкой настройки критериев под нозологию, возраст и индивидуальные особенности ребёнка.

Современные дистанционные решения, используемые в коррекционно-развивающей работе, могут быть классифицированы по уровню интерактивности и функциональному назначению (таблица 1).

Достоинства и недостатки ТПР представлены в таблице 2.

Для комплексной оценки эффективности предлагается использовать трехуровневую модель, включающую:

1. Оценку технологической готовности (на старте и в процессе).

2. Мониторинг процессуальных показателей (на каждом занятии).

3. Анализ результативности (по завершении цикла и в отсроченный период).

Для каждой дистанционной программы определяется интегральный показатель соответствия (ИС):

$$ИС = \frac{\sum_{i=1}^n K_i \cdot w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \cdot 100\%$$

где  $K_i$  — оценка соответствия  $i$ -му критерию (в баллах от 0 до 1),

$w_i$  — весовой коэффициент значимости критерия.

Оптимальным для продолжения работы в чисто дистанционном формате считается уровень 60–85%. При  $ИС < 40\%$  рекомендуется переход на очный или смешанный формат, при  $ИС > 85\%$  — высокая эффективность с возможностью масштабирования.

Таблица 1. Классификация современных дистанционных решений

Тип технологии	Примеры	Назначение	Уровень интерактивности
Средства видеокommуникации	Zoom, Skype	Проведение индивидуальных и групповых занятий в реальном времени	Высокий (синхронный)
Специализированные платформы	Яндекс.Телемост, Mind, логопедические онлайн-кабинеты	Проведение структурированных занятий с демонстрацией материалов, использование встроенных инструментов	Высокий (синхронный)
Цифровые дидактические материалы	Интерактивные презентации, онлайн-тренажёры (Mersibo, ЛогоСайт)	Отработка навыков в игровой форме, самопроверка	Средний (гибридный)
Средства асинхронной коммуникации	Электронная почта, мессенджеры, облачные хранилища	Обмен домашними заданиями, видеотчётами, консультации родителей	Низкий (асинхронный)
Специализированное ПО для детей с сенсорными нарушениями	Программы экранного доступа, брайлевские дисплеи, звуковые визуализаторы	Компенсация сенсорных дефицитов, обеспечение доступности	Вариативный

Таблица 2. Достоинства и недостатки ТПР

Аспект	Достоинства	Недостатки/риски
Доступность	Возможность охвата семей из удалённых и труднодоступных территорий; снижение временных и транспортных затрат	Неравенство доступа (наличие техники, интернета); зависимость от цифровой грамотности семьи
Роль родителя	Формирование у родителя компетенций «со-терапевта»; закрепление навыков в естественной среде	Риск искажения методики из-за недостаточной подготовки родителя; эмоциональное выгорание взрослого
Гибкость организации	Возможность подбора удобного времени; быстрая замена материалов; запись занятий для анализа	Жёсткая привязка к технической стабильности; ограниченный невербальный контакт
Диагностический потенциал	Видеозапись позволяет детально проанализировать поведение ребёнка; возможность использования цифровых стимулов	Сложность проведения стандартизированных проб (особенно для детей с нарушением слуха, зрения, РАС)
Мотивация ребенка	Использование интерактивных элементов повышает интерес у многих детей	Эффект «цифрового пресыщения»; трудности удержания внимания при слабом техническом сигнале

Эффективность дистанционного формата может быть оценена через сравнение с альтернативным сценарием (только очная работа):

$$\mathcal{E} = (T_{\text{оч}} - T_{\text{дист}}) \cdot C_{\text{спец}} + (N_{\text{сем}} \cdot \Delta t_{\text{сем}}) \cdot C_{\text{сем}} + \Delta D_{\text{охват}}$$

где  $T_{\text{оч}}$ ,  $T_{\text{дист}}$  — временные затраты специалиста на один цикл работы (в часах);

$C_{\text{спец}}$  — стоимость часа работы специалиста;

$N_{\text{сем}}$  — количество семей в программе;

$\Delta t_{\text{сем}}$  — экономия времени семьи (транспорт, ожидание);

$C_{\text{сем}}$  — условная стоимость часа времени семьи;

$\Delta D_{\text{охват}}$  — дополнительный социально-экономический эффект от увеличения охвата (расширение доступа к услугам).

При внедрении дистанционной КРР необходимо учитывать следующие группы рисков:

1. Технические: нестабильность связи, несовместимость оборудования, отсутствие

у семьи необходимых устройств.

2. Методические: невозможность применения некоторых очных методик, искажение техник родителем, отсутствие тактильного контакта.

3. Организационные: снижение мотивации специалиста, сложности в формировании рабочего альянса с семьёй.

4. Этические и правовые: нарушение конфиденциальности, отсутствие регламентов для онлайн-консультирования.

*Сравнение эффективности очного и дистанционного форматов КРР*

**Задача:** Специалист (логопед-дефектолог) проводит коррекционно-развивающую работу с детьми с задержкой речевого развития (ЗРР) в двух форматах: очном и дистанционном.

**Параметры очного формата:**

– Продолжительность одного занятия: 45 минут.

– Подготовка и дорога к месту проведения (среднее): 90 минут на занятие.

– Частота: 2 занятия в неделю.

– Количество детей в графике: 10.

– Годовые затраты времени

специалиста (рабочие часы):  
 $10 \times 2 \times 52 \times (0,75 + 1,5) = 2340$

– Годовые затраты семей (транспорт, ожидание): в расчёт не включены, но существенны.

**Параметры дистанционного формата:**

– Продолжительность онлайн-занятия: 30 минут (за счёт более высокой плотности и отсутствия организационных пауз).

– Подготовка: 15 минут на занятие.

– Частота: 3 занятия в неделю (интенсификация возможна).

– Количество детей в графике: 15 (за счёт сокращения «окон» между занятиями).

– Годовые затраты времени специалиста:  $15 \times 3 \times 52 \times (0,5 + 0,25) = 1755$  часов.

**Расчёт экономии ресурсов:**

1. **Экономия рабочего времени специалиста** (при сохранении общего бюджета времени):

$$\Delta T_{\text{спец}} = 2340 - 1755 = 585 \text{ часов/год}$$

При средней стоимости часа работы специалиста 1000 руб. экономия на оплате труда (без учёта накладных расходов) составит 585 000 руб./год.

2. **Экономия времени семей** (из

расчёта на 15 семей, экономия 1,5 часа на каждое занятие за счёт отсутствия дороги):

$$\Delta T_{\text{сем}} = 15 \times 3 \times 52 \times 1,5 = 3510 \text{ часов/год}$$

При условной цене времени семьи 300 руб./час дополнительный эффект — 1 053 000 руб./год

3. **Увеличение охвата:** количество обслуживаемых детей выросло с 10 до 15 (+50%) без увеличения фонда рабочего времени специалиста, что повышает доступность помощи.

Выводы по таблице:

1. Дистанционный формат позволяет существенно сократить временные затраты специалиста и семей при сохранении сопоставимой педагогической эффективности (разница в динамике менее 3%).

2. Увеличение охвата семей делает этот формат предпочтительным для обеспечения доступности помощи при ограниченных кадровых ресурсах.

3. Для детей со сложными нарушениями, требующими тактильного контакта или высокого контроля со стороны специалиста, предпочтительным остаётся очный или смешанный формат.

Таблица 3. Сравнительная таблица

Критерий	Очный формат	Дистанционный формат	Изменение
Длительность одного контакта с ребёнком	45 мин	30 мин	-33%
Частота занятий	2 раза/нед	3 раза/нед	+50%
Общее время специалиста на одного ребёнка в год (включая подготовку)	234 ч	117 ч	- 50%
Количество детей в графике (при 40-часовой неделе)	10	15	+ 50%
Годовые затраты времени семей (на 1 ребёнка)	156 ч (дорога)	0 ч	- 100%
Удовлетворённость семей (по опросу)	88%	91%	+ 3 п.п.
Динамика речевого развития (средний прирост баллов по методике)	+ 32%	+29%	- 3 п.п.

Предложенная в статье система критериев и методика оценки эффективности

дистанционной коррекционно-развивающей работы позволяет не только

констатировать результативность, но и выявлять узкие места в организации процесса, обоснованно выбирать формат сопровождения и оптимизировать использование ресурсов специалистов и семей.

Типовые подходы к оценке, основанные на стандартизированных критериях, модульности и учёте посреднической роли родителя, создают основу для широкого внедрения дистанционных технологий в практику работы логопедов, дефектологов и психологов.

Перспективные направления развития методологии включают:

1. Создание отраслевых стандартов (адаптированных для разных нозологических групп) оценки эффективности дистанционной КРР.

2. Разработку цифровых диагностических инструментов с валидированными нормами для онлайн-предъявления.

3. Внедрение гибридных моделей (очные диагностические сессии + дистанционная коррекция) с использованием единой системы мониторинга.

4. Применение технологий искусственного интеллекта для автоматической оценки речевых и поведенческих параметров по видеозаписям занятий.

5. Дальнейшие исследования должны быть направлены на создание адаптивных методик, учитывающих индивидуальные особенности детей с разными типами дизонтогенеза в условиях цифровой образовательной среды.

### Библиографический список

1. Институт коррекционной педагогики РАО. Аналитический отчёт «Цифровая трансформация специального образования» / под ред. Т.А. Соловьёвой. — М.: ФГБНУ «ИКП РАО», 2023. — 112 с.

2. European Association of Special Social Education (EASSE). Digital Practices in

Special Needs Education: Survey Report. — Brussels, 2022. — 45 p.

3. Айсмонтас, Б. Б. Психолого-педагогическая диагностика в цифровой среде: учебное пособие / Б. Б. Айсмонтас. — Москва: МГППУ, 2022. — 156 с.

4. Богданова, Т. Г. Инклюзивное обучение лиц с сенсорными нарушениями: учебник для вузов / Т. Г. Богданова, Н. М. Назарова. — Москва: Издательство Юрайт, 2026. — 224 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-14619-6. — Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/588863> (дата обращения: 20.03.2026).

5. Морозова, Е. И. Роль родителя как посредника в дистанционном коррекционно-развивающем процессе / Е. И. Морозова, Т. Ю. Хабарова // Психологическая наука и образование. — 2021. — Т. 26, № 4. — С. 87–97.

6. Федеральный ресурсный центр по организации комплексного сопровождения детей с расстройствами аутистического спектра МГППУ [Электронный ресурс]: официальный сайт. — URL: <https://autism-frc.ru> (дата обращения: 20.03.2026).

7. Хаустова, А. В. Применение дистанционных технологий в работе психолога с детьми с расстройствами аутистического спектра / А. В. Хаустова // Аутизм и нарушения развития. — 2021. — Т. 19, № 1. — С. 3–11.

8. Венгер, А. Л. Цифровые инструменты в работе специального психолога: методические рекомендации / А. Л. Венгер, Е. И. Морозова. — М.: МГППУ, 2023. — 88 с.

9. Инденбаум, Е. Л. Проблема оценки эффективности психолого-педагогического сопровождения в цифровой образовательной среде / Е. Л. Инденбаум, И. А.

Коробейников // Дефектология. – 2022. – № 5. – С. 3–13.

10. Приказ Министерства просвещения РФ от 31 августа 2021 г. № 586 «Об

утверждении Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по основным общеобразовательным программам» (с изм. и доп.)

#### Информация об авторах

**Сысоева Надежда Сергеевна** – студент кафедры систем управления и информационных технологий в строительстве, Воронежский государственный технический университет (394006 Россия, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84), e-mail: nadiy2004.sisoeva@yandex.ru

**Лешева Екатерина Александровна** – ассистент кафедры систем управления и информационных технологий в строительстве, Воронежский государственный технический университет (394006 Россия, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84), e-mail: elecheva@cchgeu.ru

#### Information about the author

**Nadezhda S. Sysoeva** – student of the Department of Management Systems and Information Technologies in Construction, Voronezh State Technical University (20-letiya Oktyabrya St., 84, 394006 Voronezh, Russian Federation), e-mail: nadiy2004.sisoeva@yandex.ru

**Ekaterina A. Leshcheva** – assistant of the Department of Management Systems and Information Technologies in Construction, Voronezh State Technical University (20-letiya Oktyabrya St., 84, 394006 Voronezh, Russian Federation), e-mail: elecheva@cchgeu.ru

УДК 004.9:658.5

## РОЛЬ ПРОМЫШЛЕННОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ (ПОТ) В ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА

Р.Р. Сагидуллин<sup>1</sup>, В.Д. Сандаков<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Казанский государственный энергетический университет*

**Аннотация:** Статья посвящена анализу роли промышленного интернета вещей в цифровой трансформации производства. Рассмотрены технологическая сущность IIoT, отраслевой спрос в российской промышленности, влияние на производственные процессы и ограничения внедрения.

**Ключевые слова:** промышленный интернет вещей, IIoT, цифровая трансформация, цифровое производство, предиктивное обслуживание, производственная аналитика, управление данными.

## THE ROLE OF THE INDUSTRIAL INTERNET OF THINGS (IIOT) IN THE DIGITAL TRANSFORMATION OF MANUFACTURING

R.R. Sagidullin<sup>1</sup>, V.D. Sandakov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Kazan State Power Engineering University*

**Abstract:** The article analyzes the role of the Industrial Internet of Things in the digital transformation of manufacturing. The technological essence of IIoT, sectoral demand in Russian industry, its impact on production processes, and implementation limitations are considered.

**Keywords:** Industrial Internet of Things, IIoT, digital transformation, digital manufacturing, predictive maintenance, production analytics, data management.

Цифровая трансформация производства обычно начинается не с внедрения новых программных платформ, а с более простой и практической проблемы: предприятие не видит собственный производственный процесс в реальном времени. Данные о работе оборудования, простоях,

энергопотреблении, качестве продукции и движении ресурсов часто существуют отдельно друг от друга. Часть сведений фиксируется в АСУ ТП (автоматизированная система управления технологическим процессом), часть данных попадает в ERP (Enterprise Resource Planning,

планирование ресурсов предприятия), другая может оказаться в MES (Manufacturing Execution System, система управления производственными процессами), часть остаётся в журналах технического обслуживания. В результате управленческое решение принимается с задержкой, когда отклонение уже привело к срыву сроков, росту брака или внеплановой остановке оборудования.

Промышленный интернет вещей в этой ситуации выступает не просто дополнительной технологией автоматизации, а связующим слоем между физическим производственным контуром и цифровой системой управления. Его задача состоит в том, чтобы превратить параметры работы оборудования в поток данных, пригодный для анализа и дальнейшего управленческого действия. ПоТ (Industrial Internet of Things, промышленный интернет вещей) рассматривается как один из механизмов цифровой трансформации производства, поскольку он обеспечивает переход от фрагментарной автоматизации к управлению на основе данных [1].

Актуальность темы подтверждается и динамикой российского рынка. По данным Tadviser, к концу 2024 году промышленный интернет вещей в России применяли 5649 предприятий. При этом с 2020 г. растут как число пользователей, так и объём рынка: в 2023 году рынок увеличился на 5% и достиг примерно 145 млрд руб., а к 2026 году, по прогнозам, может превысить 189 млрд руб [2]. Однако количественный рост не означает автоматического перехода предприятий к цифровому производству.

### **Технологическая сущность промышленного интернета вещей**

С технической точки зрения ПоТ представляет собой многоуровневую

инфраструктуру. В неё входят датчики, контроллеры, исполнительные устройства, промышленные сети, шлюзы передачи данных, платформы хранения, аналитические модули и интерфейсы визуализации. Однако простое перечисление компонентов не раскрывает сущность технологии. Важно другое: ПоТ создаёт непрерывную цепочку от измерения параметра до принятия решения.

На производственной площадке данные поступают от станков, линий, счётчиков, систем контроля и отдельных датчиков. Далее они передаются через промышленную сеть, проходят первичную обработку, синхронизируются по времени и связываются с контекстом: номером партии, производственным заданием, режимом работы оборудования, историей ремонтов и показателями качества. Только после этого отдельный технологический сигнал превращается в значимую информацию, необходимую для управления предприятием.

В российских условиях промышленный интернет вещей приобретает не только техническое, но и экономическое значение, поскольку влияет на организацию производства, ремонта и сервисного обслуживания [3]. Если предприятие видит только факт поломки, оно действует реактивно. Если же оно фиксирует устойчивое отклонение параметров до отказа, появляется возможность заранее подготовить ремонт, заказать комплектующие и выбрать удобное технологическое окно. Именно в этом заключается отличие цифрового производства от традиционной автоматизации.

Промышленный контур предъявляет к IoT-решениям более жёсткие требования, чем бытовая среда. На многих предприятиях одновременно эксплуатируются современные станки с цифровыми

интерфейсами и оборудование, которое изначально не было рассчитано на передачу данных. Поэтому внедрение ПоТ часто начинается не с аналитики, а с решения базовых инженерных задач: как снять данные, как передать их без потери, как обеспечить безопасность и как связать новый контур с действующими АСУ ТП [4].

Здесь принципиально важно не переоценивать сам факт подключения оборудования. Большое количество датчиков не делает предприятие цифровым. Ценность появляется только тогда, когда определены правила работы с данными: какие параметры собираются, с какой частотой, кто отвечает за их достоверность, где они хранятся и какие решения принимаются на их основе.

#### **Отраслевой спрос на ПоТ в российской промышленности**

Российский спрос на ПоТ формируется неравномерно. Быстрее всего технология закрепляется там, где простой оборудования имеет прямую финансовую цену, а производственные объекты территориально распределены. Для энергетики это подстанции, котельные, сетевое оборудование и распределённая инфраструктура. Для нефтегазового и добывающего сектора — насосные станции, трубопроводы, удалённые площадки и техника, работающая вне постоянного присутствия персонала.

В металлургии и машиностроении основной интерес связан с контролем состояния станков, агрегатов, производственных линий и снижением внеплановых остановок. В этих отраслях даже непродолжительный простой может нарушить производственный график, увеличить себестоимость и привести к невыполнению заказа. Поэтому ПоТ внедряется прежде всего в тех точках, где его эффект можно выразить

через снижение простоев, рост загрузки оборудования или сокращение аварийных ремонтов.

Отдельный сегмент образуют транспорт, логистика, склады и распределительные центры. Здесь ПоТ решает не только задачу технической диагностики, но и задачу прозрачности: где находится техника, как перемещаются партии сырья, насколько эффективно используется складское оборудование, где возникают задержки. В этих сферах востребованы трекинг активов, телеметрия, контроль маршрутов и аналитика загрузки [5].

#### **Влияние ПоТ на производственные процессы**

Главный производственный сдвиг, связанный с ПоТ, заключается в переходе от реактивного управления к проактивному. В реактивной модели предприятие реагирует на уже произошедшую аварию, брак или задержку. В проактивной модели признаки отклонения фиксируются заранее: растёт вибрация, меняется токовая нагрузка, увеличивается время цикла, нарушается температурный режим, учащаются микропростои. Эти сигналы позволяют увидеть проблему до того, как она станет критической.

Наиболее показательной областью применения ПоТ является техническое обслуживание оборудования. Традиционно предприятие выбирает между двумя неидеальными подходами: ремонтировать оборудование после отказа или проводить плановое обслуживание по календарю. Первый вариант приводит к аварийным простоям, второй — к избыточным затратам, когда оборудование обслуживается раньше фактической необходимости. ПоТ позволяет перейти к обслуживанию по состоянию. Если профиль работы оборудования

известен, устойчивое отклонение параметров можно рассматривать как ранний признак будущего отказа.

Как пример, внедрение системы цифрового мониторинга на предприятиях Объединённой двигателестроительной корпорации. На одиннадцати предприятиях ОДК развёрнут комплекс IoT на базе российской системы «Диспетчер». Система контролирует 2500 станков в режиме реального времени и, по данным Ростеха, позволила сократить время нерегламентированных простоев в среднем на треть. На отдельных участках снижение простоев достигает 10–30% при росте загрузки оборудования [6].

Сходную логику демонстрирует компания ЕКФ, внедрившая при поддержке Фонда развития промышленности облачную IoT-платформу ЕКФ Connect Industry. Платформа объединила 58 единиц оборудования, включая линии поверхностного монтажа и конвейеры. По данным Минпромторга России, коэффициент использования оборудования вырос на 15–20%, а затраты на энергопотребление в первый год сократились на 10–15% [7]. Здесь IoT проявляется не только как инструмент технического контроля, но и как средство повышения операционной эффективности.

Вторым направлением является управление качеством. Для многих предприятий проблема заключается не в том, что дефект невозможно обнаружить, а в том, что он обнаруживается слишком поздно. IoT позволяет связать параметры технологического режима с характеристиками готовой продукции. Например, отклонение температуры, давления, влажности или скорости подачи может быть сопоставлено с ростом брака в конкретной партии.

Третье направление -

производственное планирование. При интеграции IoT с MES- и ERP-системами предприятие получает более точное представление о фактической загрузке оборудования, длительности операций, доступности ресурсов и причинах отклонений от графика. Планирование становится менее формальным: оно опирается не только на нормативы, но и на статистику конкретных участков.

### **Организационно-экономические эффекты**

Экономический эффект от IoT возникает не в момент установки датчиков, а тогда, когда собранные данные начинают менять управленческие действия. Если показатели оборудования просто отображаются на экране, предприятие получает наблюдение. Если на их основе пересматриваются регламенты ремонта, нормы энергопотребления, графики загрузки, требования к качеству и порядок реагирования на отклонения, можно говорить о цифровой трансформации.

На практике IoT даёт несколько групп эффектов:

1. Первая связана с сокращением простоев и аварийных остановок.
2. Вторая группа связана со снижением затрат на техническое обслуживание за счёт отказа от избыточных регламентных ремонтов.
3. Третья - с повышением качества продукции через раннее выявление отклонений технологического режима и др [8].

Ниже приведена обобщённая связь между типовыми задачами предприятия, IoT-решениями и ожидаемыми результатами [5].

Таблица показывает, что IoT не имеет универсального эффекта вне производственной задачи. Один и тот же

технологический инструмент может быть полезен в разных контурах, но экономический результат возникает только при привязке к измеримому показателю: простоям, энергозатратам, браку, загрузке оборудования, числу выездов или скорости диагностики.

**Риски и ограничения внедрения**

Главное техническое ограничение связано с наследуемой инфраструктурой. На многих заводах одновременно работают новые цифровые линии и оборудование, рассчитанное на автономную эксплуатацию. Подключение таких активов требует дополнительных датчиков, промышленных шлюзов, преобразователей протоколов и настройки обмена с действующими АСУ ТП. Если этот процесс вести без общей

архитектуры, предприятие получает не единый цифровой контур, а набор разрозненных пилотных решений.

Второй блок рисков связан с информационной безопасностью. Подключение технологического оборудования к корпоративным и внешним сетям расширяет поверхность атаки. Для промышленного предприятия киберинцидент опасен не только потерей данных. Он может привести к остановке линии, нарушению технологического режима или повреждению оборудования. Поэтому развитие ИИТ требует сетевой сегментации, контроля доступа, мониторинга аномалий, управления обновлениями и регламентов реагирования на инциденты [9, 10].

Таблица 1 Связь производственных задач, ИИТ-решений и ожидаемых эффектов

Задача предприятия	Какие решения обычно внедряются	Практический результат
Сократить внеплановые простои	Датчики состояния оборудования, мониторинг вибрации, температуры и нагрузки, анализ отклонений	Аварийные остановки выявляются раньше, ремонтная служба быстрее определяет причину сбоя
Снизить энергозатраты	Интеллектуальные счётчики, контроль режимов работы, аналитика потребления электроэнергии, воды, газа и сжатого воздуха	Видны пики нагрузки, утечки и участки, где ресурс расходуется непродуктивно
Контролировать удалённые объекты	Телеметрия, удалённый доступ, видеоконтроль, промышленные каналы связи	Сокращается число выездов, быстрее фиксируются отклонения и аварийные ситуации
Сделать логистику прозрачнее	Трекинг транспорта, спецтехники, контейнеров, партий сырья и складских активов	Уменьшаются потери, проще контролировать перемещение ресурсов и загрузку техники
Перейти к ремонту по состоянию	Накопление истории параметров, модели аномалий, аналитика технического состояния	Ремонты планируются точнее, снижается риск аварий и избыточного обслуживания

Третья трудность - экономическое обоснование проекта. Руководители промышленных предприятий ожидают измеримого результата, однако эффект от ИИТ

часто распределяется между разными подразделениями. Часть результата проявляется в ремонтах, часть в снижении брака, часть в планировании и т.д. Поэтому

сначала необходимо определить производственную проблему, затем выбрать показатель результата, после этого описать необходимые данные и только потом подбирать техническое решение [11].

Условия результативного внедрения ИИТ

Практика показывает, что успешное внедрение ИИТ требует поэтапного подхода. На первом этапе проводится аудит процессов: выявляются критические активы, зоны простоев, параметры, которые уже измеряются, и участки, где данных не хватает. Это позволяет выделять ресурсы только на то оборудование, которое имеет наибольший потенциал.

На втором этапе целесообразно запускать ограниченный пилотный проект с понятной метрикой. Такой метрикой может быть снижение внеплановых простоев, уменьшение брака, рост загрузки оборудования, сокращение энергопотребления или ускорение диагностики. Пилотный проект должен проверять не только работоспособность датчиков и платформы, но и способность предприятия действовать на основе новых данных.

На третьем этапе ИИТ-решения масштабируются и интегрируются с другими информационными системами. Именно на этом уровне появляется возможность не только видеть текущее состояние оборудования, но и прогнозировать его поведение. Интеллектуальные информационно-измерительные системы на основе цифровых двойников рассматриваются как перспективное направление предиктивного обслуживания промышленного оборудования [12]. Таким образом, ИИТ следует внедрять не как самостоятельный технологический проект, а как часть производственной стратегии.

Заключение

Промышленный интернет вещей является одной из ключевых технологий цифровой трансформации производства, однако его роль не сводится к установке датчиков и подключению оборудования к сети. ИИТ формирует инфраструктурный слой, который связывает физический производственный контур с информационными системами и аналитикой. Благодаря этому предприятие получает возможность видеть состояние оборудования, ресурсов и процессов в более точной и оперативной форме.

Следовательно, ИИТ следует рассматривать как организационно-технологическую основу цифрового производства. Его эффективность определяется не числом подключённых объектов, а способностью предприятия превращать производственные данные в управленческие решения. Без изменения регламентов, ответственности за данные и межфункционального взаимодействия даже масштабное оснащение датчиками не приводит к полноценной цифровой трансформации.

#### Библиографический список

1. Толкачев С.А., Михайлова П.Ю., Нартова Е.Н. Цифровая трансформация производства на основе промышленного интернета вещей // Экономическое возрождение России. – 2017. – № 3 (53). – 79 – 89 с.
2. Tadviser. Промышленный интернет вещей в России // 2025
3. Городнова Н.В. Индустриальный интернет вещей в России: сущность и перспективы // Вопросы инновационной экономики. – 2022. – Т. 12, № 3. – 1503 – 1522 с.
4. Черепанов Н.В. Промышленный

«Интернет вещей» на предприятии // Инновации и инвестиции. – 2019. – № 10. – 151 – 154 с.

5. SAS. Промышленный IoT в России: почему в 2026 году рынок растёт уже не на словах // 2026

6. Ростех. ОДК повысила эффективность использования станков с помощью системы цифрового мониторинга [Электронный ресурс] // 2026. URL: <https://www.rostec.ru/media/news/odk-povysila-effektivnost-ispolzovaniya-stankov-s-pomoshchyu-sistemy-tsifrovogo-monitoringa/>

7. Минпромторг России. ЕКФ при поддержке ФРП внедрил промышленный интернет вещей на собственном производстве [Электронный ресурс] // 2024. URL: [https://minpromtorg.gov.ru/presscentre/news/ekf\\_pri\\_podderzhke\\_frp\\_vnedril\\_promyshlennyy\\_internet\\_veshchei\\_na\\_sobstvennom\\_proizvodstve\\_elektrotekhnicheskoi\\_produktsii](https://minpromtorg.gov.ru/presscentre/news/ekf_pri_podderzhke_frp_vnedril_promyshlennyy_internet_veshchei_na_sobstvennom_proizvodstve_elektrotekhnicheskoi_produktsii)

8. Жмудь В.А., Ляпидевский А.В., Аврамчук В.С., Стукач О.В., Рот Г. Технологии промышленного интернета вещей:

возможные барьеры и пути их преодоления // Автоматика и программная инженерия. – 2019. – № 2 (28). – 50 – 61 с.

9. Гринева Н.В., Абдикеев Н.М. Промышленный интернет вещей как основа интеллектуального производства // Computational Nanotechnology. – 2025. – Т. 12, № 3. – 96 – 104 с.

10. Сексембаева М.А. Особенности обеспечения безопасности в промышленном интернете вещей // E-Scio. – 2019. – № 5. – 382 – 394 с.

11. Городнова Н.В., Шаблова Е.Г. Развитие промышленного интернета вещей в России: экономический анализ и правовые аспекты // Экономика, предпринимательство и право. – 2024. – Т. 14, № 6. – 2753 – 2772 с.

12. Звягин Л.С. Интеллектуальные информационно-измерительные системы на основе цифровых двойников для предиктивного обслуживания промышленного оборудования // Computational Nanotechnology. – 2025. – Т. 12, № 4. – 51 – 60 с.

#### Информация об авторах

**Сагидуллин Роберт Рафаилович** – студент, Казанский Государственный Энергетический Университет (420066, Россия, г. Казань, ул. Красносельская, 51), тел.: 8-960-046-5296, e-mail: sagrobert111@gmail.com

**Сандаков Виталий Дмитриевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры электроэнергетических систем и сетей, Казанский Государственный Энергетический Университет (420066, Россия, г. Казань, ул. Красносельская, 51), email: vitalysandakov@gmail.com

#### Information about the author

**Sagidullin Robert Rafailevich** – student, Kazan State Power Engineering University (51 Krasnoselskaya str., Kazan, 420066, Russia), ph.: 8-960-046-5296, e-mail: sagrobert111@gmail.com

**Sandakov Vitaly Dmitrievich** – candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electric Power Systems and Networks, Kazan State Power Engineering University (420066, Russia, Kazan, Krasnoselskaya St., 51), email: vitalysandakov@gmail.com

УДК 004.9: 378.14

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ БОЛЬШИХ ДАННЫХ ДЛЯ АНАЛИЗА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УСПЕВАЕМОСТИ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЕМ

С.А. Дмитриев<sup>1</sup>, Е.А. Салтанаева<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Казанский государственный энергетический университет

**Аннотация:** В статье рассматриваются возможности применения технологий больших данных (Big Data) в системах управления образовательным процессом. Проведён сравнительный анализ методов машинного обучения для прогнозирования успеваемости студентов. Разработанная четырёхуровневая архитектура обеспечивает агрегацию данных из LMS, систем контроля доступа и электронных журналов для формирования опережающих рекомендаций преподавателям.

**Ключевые слова:** большие данные, Big Data, образовательный процесс, машинное обучение, прогнозирование успеваемости, Learning Analytics, информационные системы.

## APPLICATION OF BIG DATA TECHNOLOGIES FOR ANALYSIS AND PREDICTION OF ACADEMIC PERFORMANCE IN EDUCATIONAL MANAGEMENT SYSTEMS

S.A. Dmitriev <sup>1</sup>, E.A. Saltanaeva <sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Kazan State Power Engineering University*

**Abstract:** The article examines the possibilities of applying Big Data technologies in educational process management systems. A comparative analysis of machine learning methods for predicting student academic performance is carried out. The developed four-layer architecture aggregates data from LMS, access control systems, and digital journals to provide instructors with proactive recommendations.

**Keywords:** big data, Big Data, educational process, machine learning, academic performance prediction, Learning Analytics, information systems.

Современные вузы накапливают значительные объёмы цифровых данных в ходе повседневной учебной деятельности: журналы активности в LMS, результаты аттестаций, сведения о посещаемости, записи работы с электронными материалами [1, 2]. Их обработка классическими инструментальными средствами неэффективна из-за высокой скорости обновления и структурной сложности. Без применения специализированных аналитических контуров эти массивы не конвертируются в управленческие решения, оставаясь невостребованным цифровым активом [3]. В связи с этим интеллектуальные платформы рассматриваются как базовый инструмент для преобразования накопленных образовательных массивов в структурированные аналитические выводы [4].

В основе концепции Big Data лежит триада параметров: масштаб хранимой информации (Volume), интенсивность её генерации (Velocity) и неоднородность структур источников (Variety) [5]. В

образовательной среде к таким данным относятся: журналы активности в LMS (Moodle, 1С:Университет), результаты тестирований, данные о посещаемости, записи видеолекций, результаты анкетирования и опросов.

На практике управление учебным процессом в российских вузах нередко ведётся без систематического использования накопленных данных об успеваемости и активности студентов [6]. Преподаватели и деканаты не располагают инструментами раннего выявления студентов с риском академической неуспеваемости, что снижает оперативность принятия корректирующих мер. Действующие информационные системы вузов, как правило, ограничиваются хранением и отображением данных, не предоставляя аналитических функций.

Исходя из обозначенных ограничений, исследование направлено на оценку потенциала Big Data-инструментов в задачах предиктивной учебной аналитики и проектирование соответствующей

информационной архитектуры.

При проектировании системы прогнозирования успеваемости на основе технологий больших данных следует провести следующие виды работ:

1. проанализировать основные направления применения технологий Big Data в образовательных системах;
2. провести сравнительный анализ методов машинного обучения для прогнозирования академической успеваемости;
3. разработать архитектуру системы обработки образовательных данных;
4. определить основные барьеры внедрения и пути их преодоления;
5. оценить перспективы применения предложенного подхода в российских вузах.

Анализ отечественных исследований позволяет выделить четыре ключевых направления применения технологий больших данных в образовательных системах [7].

Прогнозирование академической успеваемости. Построение предиктивных моделей позволяет заблаговременно выявлять студентов, находящихся в зоне риска академической неуспеваемости или отчисления. Исследования показывают, что на основе совокупности показателей — результатов текущего контроля, посещаемости и активности в электронной среде — можно предсказывать итоговый балл по семестру с высокой точностью [3]. Своевременное выявление таких студентов позволяет преподавателям принять корректирующие меры до наступления критической ситуации.

Персонализация образовательного процесса. Анализ больших данных позволяет формировать индивидуальные образовательные траектории для каждого

студента с учётом его темпа усвоения материала и имеющихся пробелов в знаниях [8]. LMS Moodle фиксирует широкий спектр событий — входы в систему, просмотр материалов, попытки тестов, сдачу заданий, — и эти данные образуют основу «цифрового следа» студента, на основе которого строятся рекомендательные системы [9].

Управление учебными ресурсами. Анализ данных о загруженности аудиторного фонда и использовании лабораторного оборудования позволяет оптимизировать расписание и распределение ресурсов образовательного учреждения. Для хранения и обработки таких данных применяются многоуровневые архитектуры информационных систем, включающие модули сбора, хранения и аналитической обработки [9].

Оценка качества преподавания. Сопоставление данных об успеваемости студентов в разрезе дисциплин и преподавателей, а также результатов анкетирования даёт возможность объективно оценивать эффективность педагогической деятельности [10].

Практическое внедрение прогнозных моделей базируется на различных алгоритмах машинного обучения. Сравнительные характеристики рассматриваемых методов, включая точность и интерпретируемость, сведены в таблицу 1.

Сравнительные данные (табл. 1) указывают на превосходство нейросетевых моделей и градиентного бустинга в метриках точности, однако их внутренняя логика остаётся трудноверифицируемой для конечных пользователей. В условиях вузовской среды, где требуется прозрачное обоснование каждого прогноза, приоритет смещается в сторону алгоритмов, сочетающих надёжность с объяснимостью [11, 12].

Таблица 1 Сравнительный анализ методов машинного обучения для прогнозирования успеваемости

Алгоритм	Метрика точности	Прозрачность выводов	Входные требования	Целевой сценарий
Логистическая регрессия (LogReg)	~65–75%	Высокая (линейная интерпретация)	Минимальные	Бинарная классификация (сдаст/не сдаст)
Дерево решений (J48)	~68–78%	Высокая (правила «если-то»)	Низкие	Выявление ключевых факторов риска
Ансамбль деревьев (Random Forest)	~82–90%	Средняя (feature importance)	Умеренные	Многоклассовая классификация
Градиентный бустинг (GBM)	~85–93%	Низкая (сложная нелинейность)	Средние	Точное прогнозирование оценок
Рекуррентная сеть LSTM	~90–96%	Низкая	Высокие (длинные последовательности)	Анализ временных рядов успеваемости

Рекуррентные архитектуры (LSTM) действительно эффективны при работе с протяжёнными временными последовательностями академических показателей [13], но для оперативной аналитики и формирования понятных рекомендаций преподавателям оптимальным решением выступают ансамблевые методы на базе деревьев. Для практического применения в образовательных системах оптимальным является случайный лес, обеспечивающий баланс между точностью и возможностью объяснить результат преподавателю [11].

Разработанная модель обработки образовательных данных построена на четырёх функциональных слоях (рис. 1). Первый слой агрегирует потоки из LMS, систем контроля доступа и электронных журналов. Второй отвечает за распределённое хранение через HDFS и гибридные СУБД. Третий реализует вычислительную логику на базе Apache Spark с подключёнными модулями машинного обучения. Четвёртый —

интерактивные дашборды для преподавателей и администрации, визуализирующие прогнозы и рекомендации.

Ключевым элементом архитектуры является модуль машинного обучения, который на основе исторических данных строит предиктивную модель и формирует еженедельные отчёты для преподавателей о студентах, находящихся в зоне риска. Применение градиентного бустинга в качестве основного алгоритма прогнозирования обеспечивает высокую точность при умеренных требованиях к объёму обучающей выборки. Исследования показывают, что точность модели прогнозирования на основе данных LMS достигает 92,6% к концу семестра, а уже с 7-й недели обучения обеспечивается точность не ниже 85% [15].

Вместе с тем внедрение Big Data в образовательные системы сопряжено с рядом ограничений, систематизированных в таблице 2.

Отдельный барьер — недоверие

преподавателей к алгоритмическим рекомендациям. Погодин и Садыхбеков [11] фиксируют аналогичную проблему в смежных задачах интеллектуального анализа данных: без прозрачного объяснения

логики работы системы и предварительного обучения персонала внедрение таких инструментов встречает сопротивление.



Рис. 1. Архитектура системы обработки образовательных данных

Таблица 2 Барьеры внедрения Big Data в образовательных учреждениях

Категория ограничения	Содержательная характеристика	Механизмы минимизации
Правовое регулирование ПДн	Необходимость соблюдения 152-ФЗ: обезличивание, разграничение прав доступа	Внедрение процедур деперсонализации, ролевая модель доступа
Качество исходных данных	Фрагментарность, несогласованность и ошибки ввода искажают прогнозные модели	Валидация на этапе сбора, автоматизированные скрипты очистки
Объяснимость алгоритмов	Скепсис педагогов к моделям с непрозрачной логикой принятия решений	Интеграция интерпретируемых методов (SHAP, LIME), визуализация весов признаков
Кадровый потенциал	Дефицит специалистов с компетенциями в области Data Science и ML	Партнёрство с промышленными игроками, программы повышения квалификации
Инфраструктурная нагрузка	Высокие требования к вычислительным мощностям и хранилищам	Миграция в облачные среды (Яндекс.Облако, SberCloud), гибридные архитектуры

В настоящее время ряд ведущих российских университетов реализует проекты по внедрению аналитики образовательных данных. Развитие цифровой образовательной среды в рамках национального проекта «Образование» создаёт необходимую инфраструктурную основу [14].

Практическое масштабирование

рассматриваемого подхода опирается на несколько стратегических направлений. К ним относятся бесшовная интеграция аналитических модулей в развёрнутые LMS (Moodle, 1С: Университет ПРОФ) и выработка единых стандартов формализации учебных данных на уровне Минобрнауки РФ. Одновременно целесообразно

развивать защищённые межвузовые репозитории для обмена агрегированными датасетами и переходить к локальному развёртыванию предиктивных моделей, что исключает вынос персональных сведений за контур университета. Параллельное совершенствование нейросетевых подходов формирует технологический фундамент для полной автоматизации аналитических контуров в образовательной среде [15].

Проведённый анализ показывает, что технологии больших данных меняют логику управления учебным процессом: вместо реагирования на уже возникшие проблемы появляется возможность их предупреждения. Среди рассмотренных алгоритмов машинного обучения случайный лес демонстрирует наилучшее соотношение точности и интерпретируемости для задач прогнозирования успеваемости. Практическое внедрение таких систем в российских вузах опирается в три ключевых ограничения: требования ФЗ-152, нехватку специалистов по анализу данных и низкое качество исходных образовательных датасетов.

### Библиографический список

1. Ачмизова, С. Я. Цифровизация учебного процесса: перспективы и вызовы внедрения современных образовательных технологий в вузах / С. Я. Ачмизова, А. В. Натальсон, Ю. А. Вафина // Научное обозрение. Серия 2: Гуманитарные науки. – 2024. – № 4. – С. 24-31. – DOI 10.26653/2076-4685-2024-04-02. – EDN XXYDOA.
2. Минниханова, Р. Р. Интеллектуальные системы и Большие данные: технологии обработки и применения в различных отраслях / Р. Р. Минниханова, Е. А. Салтанова // Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. – 2025. – № 2(36). – С. 129-133. – EDN RXRCHT.
3. Шухман А.Е., Парфенов Д.И., Легашев Л.В., Гришина Л.С. Анализ и прогнозирование успеваемости обучающихся при использовании цифровой образовательной среды // Высшее образование в России. — 2021. — № 8-9. — С. 125–133. — DOI: 10.31992/0869-3617-2021-30-8-9-125-133.
4. Гимаева, А. Р. Возможности использования систем искусственного интеллекта в образовании / А. Р. Гимаева // Цифровые системы и модели: теория и практика проектирования, разработки и применения : Материалы национальной (с международным участием) научно-практической конференции, Казань, 10–11 апреля 2024 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2024. – С. 1440-1443. – EDN SQEGPO.
5. Фиофанова О.А. Управление на основе больших данных в сфере образования // Государственная служба. — 2021. — Т. 23. — № 3. — С. 86–91. — DOI: 10.22394/2070-8378-2021-23-3-86-91.
6. Сиразева, А. Л. Анализ образовательных данных: направление и перспективы применения / А. Л. Сиразева // Социальная онтология России: Сборник научных статей по докладам XVII Всероссийских Копыловских чтений, Новосибирск, 01–31 марта 2023 года. – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2024. – С. 222-225. – EDN MGOMMB.
7. Малеванов Ю.В., Доздиков А.В., Иванов А.С. Анализ механизмов управления качеством образования в Российской Федерации на основе больших данных // Государственное управление. — 2021. — № 87. — С. 112–119.
8. Тербушева Е.А., Пиотровская К.Р. Аналитический потенциал платформы

Moodle для мониторинга качества персонализированного обучения // Общество. Коммуникация. Образование. — 2021. — Т. 12. — № 4. — С. 19–34. — DOI: 10.18721/JHSS.12402.

9. Бойко А.Э., Савицкая Т.В., Лопаткин Д.С. Применение инструментов интеллектуального анализа образовательных данных при работе с системами управления обучением в организациях высшего образования // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. — 2023. — № 46. — С. 151–177. — DOI: 10.15593/2224-9397/2023.2.07.

10. Салтанаева, Е. А. Актуальные вопросы востребованности молодых специалистов в современных рыночных условиях / Е. А. Салтанаева, Р. И. Эшелиоглу // Экономика и предпринимательство. — 2024. — № 4(165). — С. 420–422. — DOI: 10.34925/EIP.2024.165.4.082. — EDN CFKDWG.

11. Погодин И.М., Садыхбеков А.Д. Анализ больших данных для прогнозирования факторов успешной адаптации

иностранных студентов // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. — 2025. — № 4(85). — С. 39–45.

12. Куценко, С. М. Выбор инструментов построения нейронной сети / С. М. Куценко, Е. А. Салтанаева // Научно-технический вестник Поволжья. — 2023. — № 12. — С. 313–315. — EDN AWNBLJ.

13. Субботин Д.А. Использование нейросетевых технологий для анализа и прогнозирования эффективности образовательных программ // Вестник Таганрогского института управления и экономики. — 2025. — № 1. — С. 45–52.

14. Паспорт национального проекта «Образование» (утв. президиумом Совета при Президенте РФ по стратегическому развитию и национальным проектам, протокол от 24.12.2018 № 16). — М., 2018.

15. Озерова Г.П., Павленко Г.Ф. Прогнозирование успешности студентов при смешанном обучении с использованием данных учебной аналитики // Science for Education Today. — 2019. — Т. 9. — № 6. — С. 62–87. — DOI: 10.15293/2658-6762.1906.05.

#### Информация об авторах

Дмитриев Станислав Андреевич – студент кафедры информационных технологий и интеллектуальных систем, Казанский государственный энергетический университет (420066, Россия, г. Казань, ул. Красносельская, 51), e-mail: stanislavdmitrie6877@gmail.com

Салтанаева Елена Андреевна – кандидат технических наук, Доцент кафедры информационных технологий и интеллектуальных систем, Казанский государственный энергетический университет (420066, Россия, г. Казань, ул. Красносельская, 51), e-mail: elena\_maister@mail.ru

#### Information about the author

Stanislav A. Dmitriev – student of the Department of Information Technology and Intelligent Systems, Kazan State Power Engineering University (420066, Russia, Kazan, Krasnoselskaya St., 51), e-mail: stanislavdmitrie6877@gmail.com

Elena A. Saltanaeva – candidate of technical sciences, Associate professor of the department of information technologies and intelligent systems, Kazan state power engineering University (51 Krasnoselskaya str., Kazan, 420066, Russia), e-mail: elena\_maister@mail.ru

УДК 004.056.5

## РОЛЕВАЯ МОДЕЛЬ ДОСТУПА В ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ЗАЯВКАМИ РЕМОНТНО-МЕХАНИЧЕСКОГО ЦЕХА

В.Г. Казьмин<sup>1</sup>, С.А. Кириллов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Воронежский государственный технический университет

**Аннотация:** В статье рассматривается реализация ролевой модели доступа в информационной системе управления заявками ремонтно-механического цеха. Система предназначена для учета оборудования, деталей, складских остатков, производственных заявок, заявок на исправление брака, пользователей, уведомлений и отчетности. Основное внимание уделено разграничению прав между участниками производственного процесса: администратором, мастерами, кладовщиком и исполнителями. Показано, как ролевая модель реализована на уровне серверного API, клиентского WPF-приложения и бизнес-логики обработки заявок.

**Ключевые слова:** ролевая модель доступа, RBAC, информационная система, ремонтно-механический цех, управление заявками, ASP.NET Core, JWT, WPF, складской учет.

## ROLE-BASED ACCESS MODEL IN AN INFORMATION SYSTEM FOR MANAGING REQUESTS OF A REPAIR AND MECHANICAL WORKSHOP

В.Г. Казьмин<sup>1</sup>, С.А. Кириллов V.G. Kazmin<sup>1</sup>, S.A. Kirillov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Voronezh State Technical University

**Abstract:** The article considers the implementation of a role-based access model in an information system for managing requests of a repair and mechanical workshop. The system is designed to keep records of equipment, parts, warehouse stock, production requests, defect repair requests, users, notifications, and reporting. The main attention is paid to the separation of permissions between participants of the production process: administrator, masters, storekeeper, and executors. The article shows how the role-based model is implemented at the level of the server API, the WPF client application, and the business logic of request processing.

**Keywords:** role-based access model, RBAC, information system, repair and mechanical workshop, request management, ASP.NET Core, JWT, WPF, warehouse accounting.

В ремонтно-механическом цехе (РМЦ) информационная система должна не только хранить информацию о деталях, оборудовании или заявках, но и обеспечивать разно уровневый доступ к этой информации. Разные сотрудники учувствуют во всех этапах производственного процесса: мастер формирует заявки, токарь, используя чертежи, изготавливает детали, кладовщик работает над учетом запчастей на складе, а администратор управляет правильной работой системы и правами пользователей.

Если не разграничить права пользователей, то возникнет риск ошибок с данными, лишних или не правильных заявок, некорректного управления остатками на складе или несанкционированного управления пользователями. Поэтому необходима ролевая модель доступа, при которой доступные функции пользователя определяется его ролью.

Рассматриваемая информационная система состоит из серверной и клиентской частей. Серверная часть реализована на ASP.NET Core Web API [1] с использованием Entity Framework Core [2] для работы с базой данных. Клиентская часть представляет собой WPF-приложение, которое взаимодействует с сервером через HTTP-запросы. Для оперативного обновления данных и доставки уведомлений используется SignalR.

Основным объектом предметной области является заявка. Она проходит жизненный цикл от создания до завершения: новая, в процессе, изготовлено, завершено. В случае возникновения брака предусмотрен отдельный сценарий: после обнаружения дефектных деталей может создаваться заявка на их доработку.

Данная структура отражает реальное разделение обязанностей в РМЦ. Мастера отвечают за управление производственным

процессом, кладовщик - за учет запчастей, исполнители - за выполнение работ, администратор - за обслуживание системы.

После запуска в системы пользователь проходит аутентификацию с помощью логина и пароля. При успешном входе

Таблица 1 Основные роли

Роль	Назначение
Администратор	Полный контроль над системой, управление пользователями
Дежурный мастер	Работа с слесарями, оформление заявок на изготовление
Мастер цеха РМЦ	Принятие заявок на изготовление, назначение токарей, перевод заявок в работу и в статус изготовления
Кладовщик	Работа со складом, количеством деталей, списаниями, завершением изготовленных заявок
Токарь	Исполнитель заявок на производство деталей или исправления брака
Слесарь	Использование изготовленных деталей для ремонта оборудования
Гость	Состояние пользователя без активной авторизации

На сервере роль используется в атрибутах авторизации. Например, доступ к методам управления заявками ограничивается через `Authorize(Roles = ...)`. Это позволяет не полагаться только на интерфейс клиента: даже если пользователь попытается вызвать запрещенный API-метод напрямую, сервер проверит его роль и отклонит действие.

В проекте роли имеют в отдельный класс «Roles», где описаны как одиночные роли, так и групповые наборы ролей:

- AdminAndMasters;
- AdminAndWorkshopMaster;
- AdminAndStorekeeper;
- AdminWorkshopMasterAndStorekeeper;
- AdminMastersAndStorekeeper.

Также используются вспомогательные методы: `IsAdmin`, `IsMaster`, `IsStorekeeper`, `IsInventoryRole`, `CanManageRequests`, `CanRunProductionRequests`. Это упрощает проверку прав.

Наиболее важная часть ролевой

сервер формирует JWT-токен. В токен включаются идентификатор пользователя, ФИО и роль. После клиентское приложение передает этот токен в заголовке запросов к серверу.

модели связана с обработкой заявок(рис.1).

Дежурный мастер создает заявки, основываясь на том, какие запчасти в данный момент необходимы слесарям для ремонта оборудования.

Мастер РМЦ принимает заявки, назначает исполнителя и переводит заявку в статус «В процессе». Исполнителем обычной производственной заявки должен быть пользователь с ролью «Токарь». После выполнения работы мастер проверяет изготовленную деталь и переводит заявку в статус «Изготовлено» или отдает на доработку.

Кладовщик отвечает за складской этап. Он принимает изготовленные детали, выбирает складскую ячейку и завершить заявку. При завершении заявки количество деталей увеличивается на складе. Если обнаружен брак, кладовщик может указать количество бракованных изделий. В этом случае система создает заявку на доработку брака.

Заявки на исправление брака

обрабатываются отдельно. Для них исполнителем является токарь, а управление

статусами доступно мастеру цеха РМЦ.



Рис. 1. Ролевая модель РМЦ

Складские операции выделены в отдельную область ответственности. Кладовщик может менять количество деталей, управлять складскими ячейками и удалять детали при отсутствии связанных заявок.

Мастера имеют доступ к технической информации о деталях: названием, артикулом, привязкой к оборудованию и чертежами.

Такой подход удобен, потому что одна и та же карточка детали содержит данные разных типов. Мастер отвечает за производственную и техническую часть, а кладовщик за количество, минимальный остаток и место хранения.

При списании детали система проверяет остаток. Если количество становится меньше минимального запаса, автоматически создается автозаявка на изготовление. Уведомление об автозаявке отправляется мастеру цеха РМЦ.

Клиентское WPF-приложение также учитывает роль текущего пользователя.

Интерфейс скрывает недоступные кнопки, вкладки и фильтры. Например, вкладка заявок на исправление брака отображается только для ролей, которые могут управлять производственным процессом. Кладовщик видит заявки в статусе «Изготовлено» и действия, связанные с приемкой на склад. Мастер цеха видит заявки, которые нужно запустить или перевести в следующий производственный статус.

Важно, что клиентская проверка не является единственным механизмом защиты. Она повышает удобство работы пользователя, но окончательное решение о доступе принимает сервер.

Ролевая модель доступа в системе дает несколько практических преимуществ:

- снижает риск ошибочного изменения данных;
- разделяет производственные и складские обязанности;
- защищает административные функции;

– упрощает интерфейс для каждого пользователя;

– позволяет отправлять уведомления нужным участникам процесса;

– отражает реальную организационную структуру РМЦ.

В разработанной информационной системе управления заявками РМЦ ролевая модель доступа является одним из ключевых механизмов обеспечения надежности и управляемости. Она реализована на нескольких уровнях: в модели пользователя, JWT-авторизации, серверных контроллерах, логике смены статусов и клиентском интерфейсе.

Одним из наиболее важного является то, что роли соответствуют реальным обязанностям сотрудников. Мастер управляет

производством, кладовщик отвечает за склад, исполнитель выполняет работы, а администратор обслуживает систему. Такое распределение делает работу с заявками более безопасной, прозрачной и удобной для пользователей.

### Библиографический список

1. Microsoft. ASP.NET Core Documentation. URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/aspnet/core/?view=aspnetcore-10.0>

2. Microsoft. Entity Framework Core Documentation. URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/ef/core/>

3. Microsoft JWT ASP.NET Core <https://learn.microsoft.com/ru-ru/aspnet/core/security/authentication/configure-jwt-bearer-authentication?view=aspnetcore-10.0>

### Информация об авторах

**Казмин Владислав Геннадьевич** – студент кафедры компьютерных интеллектуальных технологий проектирования, Воронежский государственный технический университет (394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20 лет Октября, 84), e-mail: vlad.kazmin.2001@mail.ru

**Кириллов Сергей Алексеевич** – студент кафедры компьютерных интеллектуальных технологий проектирования, Воронежский государственный технический университет (394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20 лет Октября, 84), e-mail: sershgik@yandex.ru

### Information about the author

**Vladislav G. Kazmin** – student of the Department of Computer Intelligent Design Technologies, Voronezh State Technical University (84, 20 let Oktyabrya str., Voronezh, 394006, Russia), e-mail: vlad.kazmin.2001@mail.ru

**Sergey A. Kirillov** – student of the Department of Computer Intelligent Design Technologies, Voronezh State Technical University (84, 20 let Oktyabrya str., Voronezh, 394006, Russia), e-mail: sershgik@yandex.ru

## ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ

УДК 004.032

### СПОСОБЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ГЕНЕРАЦИИ ОПТИМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ПРОМПТ-ЗАПРОСА

С.А. Таратухин<sup>1</sup>, А.В. Барабанов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Воронежский государственный технический университет

**Аннотация:** Статья посвящена определению оптимальной структуры промпт-запроса для больших языковых моделей и способам её автоматизированной генерации. Рассмотрены модульные компоненты промпта и методы их комбинирования. Проанализированы подходы к автоматическому построению промптов. Представлены основы каждого метода, их преимущества и ограничения. Приведены результаты сравнительного анализа по ключевым критериям качества и эффективности.

**Ключевые слова:** промпт-запрос, оптимальная структура промпта, автоматизированная генерация промптов, мета-промптинг, RAG, большие языковые модели.

## OPTIMAL STRUCTURE OF A PROMPT REQUEST AND METHODS OF ITS AUTOMATED GENERATION

S.A. Taratukhin <sup>1</sup>, A.V. Barabanov <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Voronezh State Technical University

**Abstract:** The article is devoted to determining the optimal prompt structure for large language models and methods of its automated generation. The modular components of the prompt and methods of their combination are considered. Approaches to the automatic construction of prompts are analyzed. The foundations of each method, their advantages and limitations are presented. The results of a comparative analysis based on key quality and efficiency criteria are provided.

**Keywords:** prompt-request, optimal prompt structure, automated prompt generation, meta-prompting, RAG, large language models.

### *Введение*

Современные большие языковые модели (LLM) показывают высокую эффективность в генерации текста, ответах на вопросы, решении логических и творческих задач. Интерфейсом взаимодействия с ними является промпт-запрос: инструкция, написанная на естественном языке и подаваемая на вход LLM. Именно качество запроса и его соответствие оптимальной структуре являются ключевыми факторами, влияющими на точность, релевантность и полноту ответа нейросети.

Ключевая особенность эффективного промпта – четко заданные контекст, формат, ограничения ответа и, как следствие, минимизация нежелательных вариантов ответа [1]. Проблема заключается в том, что создание оптимального промпта требует от пользователя не только знания своей персональной задачи, но и интуитивного понимания особенностей взаимодействия LLM. Данный нюанс в виду большого разнообразия задач делает процесс ручного составления запросов излишне вариативным, трудозатратным и малопригодным для неопытных пользователей.

В качестве решения этой задачи возникло новое множество практических подходов - автоматизированная генерация и

оптимизация промптов. Их общая направленность сводится к минимизации ручного подбора формулировок и предположение им в качестве альтернативы алгоритмических методов, которые реализуют наилучшую структура промпта. К таким методам относятся шаблонизация с подстановкой, мета-промптинг (когда одна LLM генерирует промпт для другой), а также ретривер-усиленные подходы, динамически подбирающие релевантные примеры из внешней базы знаний.

### *Оптимальная структура промпт-запроса для LLM*

Как уже было сказано, промпт может быть составлен в свободной форме, однако качество ответа нейросетевой модели напрямую зависит от качества составленного запроса. В настоящее время существует несколько подходов к написанию промптов, доказавших свою эффективность. Самой популярной является концепция CO-STAR. Она была реализована в одноименном фреймворке, победила в сингапурском конкурсе GPT-4 Prompt Engineering Competition и легла в основу множества обучающих статей [2, 3]. Другими известными подходами являются RTF (Role-Task-Format), упрощающий структуру до трёх компонентов, и RODES (Role, Objective,

Details, Examples, Sense), добавляющий проверку понимания задачи через примеры.

Несмотря на различие в деталях, все перечисленные методики опираются на одни и те же фундаментальные модули, которые можно свести к пяти универсальным блокам: роль (R), контекст (C), задача (T), ограничения (или формат F) и примеры (E). В отличие от CO-STAR, где «тон» и «стиль» часто смешаны с ролью, а также от RTF, не выделяющего контекст и ограничения, предлагаемая структура явно специфицирует каждый аспект, что делает её удобной для формального анализа и автоматической генерации.

Компоненты структуры промпта различаются по степени важности (рисунок 1).

Задача - ключевой и обязательный элемент. Она формулируется в виде чёткой инструкции, задающей конкретное действие. Например, «переведи», «классифицируй», «преобразуй в таблицу» или «объясни». Формулировать задачу следует так, чтобы она была однозначной и исчерпывающей.

Контекст и ограничения - вспомогательные компоненты. Они дополняют основную задачу. Контекст помогает уточнить условия выполнения задания. Он может включать исходные данные, описание ситуации, конкретные требования к действиям и ожидаемый итог. Ограничения, в свою очередь, содержат требования к формату вывода, длине ответа, стилю текста и запреты.

Роль и примеры относятся к дополнительным компонентам. Они повышают качество ответа, но не являются обязательными. Роль позволяет указать, с позиции какого специалиста должна быть выполнена задача. Выбор влияет на использование терминов, логику рассуждений и стиль

изложения. Примеры иллюстрируют необходимую структуру ответа и логику рассуждений. Их использование очень желательно, когда требуется решить нетипичную задачу или получить ответ в специфической форме.



Рис. 1. Оптимальная структура промпт-запроса для LLM

Формально промпт можно представить как конкатенацию перечисленных модулей в фиксированном порядке:

$$P = R \oplus C \oplus T \oplus F \oplus E \quad (1)$$

где  $\oplus$  - операция объединения строк. Структура «роль, контекст, задача, ограничения, примеры» обобщает преимущества пяти устоявшихся методов промпт-инжиниринга: Role-Prompting, Context-Aware Prompting, Task-Decomposition, Constraint-Based Prompting и Few-Shot Prompting.

Предложенная структура стремится соответствовать трем основным критериям качества. Прежде всего, это точность - доля ответов модели, которые соответствуют поставленной задаче. На втором месте - стабильность - свойство, при котором

перефразированный, но сохраняющий начальный смысл промпт позволяет получать результаты сопоставимого качества и содержания. Заключительный критерий - повторяемость. Структура промпта должна обеспечивать стабильно высокий результат при многократных запусках.

#### *Целесообразность автоматизации формирования запросов*

Автоматизация формирования промпт-запросов позволяет повысить результативность взаимодействия с языковыми моделями. Эффективность достигается за счет сокращения рутинных процессов. Методы, лежащие в основе систем автоматизированного проектирования промптов, позволяют комбинировать типовые элементы по заранее разработанным шаблонам. Такой подход избавляет пользователя от необходимости составлять каждый запрос с нуля. Стандартизация структуры промпта, в свою очередь, обеспечивает стабильно высокое качество запросов, воспроизводимость их результатов, а так соответствие оптимальной структуры за счёт чёткого следования проверенной структуре. Кроме того, такие инструменты легко встраиваются в обычную работу с нейросетями: ускоряют внедрение LLM-решений и снижают порог входа для новичков [4].

#### *Шаблонная генерация с контекстной подстановкой*

Формное и шаблонное конструирование представляет собой подход, при котором пользователь посредством взаимодействия со специальным интерфейсом заполняет структурированные поля либо выбирает значения из предустановленных вариантов. Данный метод предусматривает возможные варианты ввода: ручной ввод, анкетирование, выбор предустановленных

значений. Конструктор на основе этих данных автоматически собирает итоговый промпт по заранее определённому шаблону.

При шаблонном конструировании используется фиксированная структура текста, состоящая из переменных. Типичный шаблон может выглядеть следующим образом: «Ты - {роль}. Твоя задача - {действие} в стиле {стиль}. Обстоятельства - {контекст}. Ответ должен быть в формате {формат}. Ограничение по длине: {длина} слов». Пользователь задаёт конкретные значения для каждой переменной вручную или через выбор из списка. После чего конструктором выполняется автоматическая подстановка.

Основное преимущество формного и шаблонного конструирования - предсказуемость результата. Фиксированная структура учитывает все необходимые аспекты, позволяет быстро понять, как изменение значений влияет на результат, а также снижает порог входа для новых пользователей нейросетей. Недостатком является недостаточная гибкость. Данный метод не способен масштабироваться под индивидуальные и нетиповые задачи, а также не может предусмотреть в шаблонном виде все возможное многообразие потенциальных задач. Кроме всего перечисленного, данный способ нельзя считать востребованным среди тех, кто имеет опыт в промпт-инжиниринге, так как он не предлагает опытным пользователям ничего нового.

#### *Генерация промптов с использованием LLM (мета-промптинг)*

Метапромпт – метод генерации промпта, при котором на вход LLM подается высокоуровневый шаблон (препромпт), который кроме основных данных о задаче содержит инструкцию для нейросети с

указанием написать или улучшить уже имеющийся запрос. Этот метод относится к автоматическим, так как ключевые решения принимаются моделью, а не пользователем.

Существует два основных варианта такого подхода: генерация промпта условно с нуля и оптимизация существующего запроса. При генерации с нуля пользователь описывает задачу в свободной форме с разной степенью полноты. Возможны два способа: пользователь либо непосредственно формулирует задачу текстом, либо выбирает подходящий вариант из заранее предложенных. LLM, получив заготовку на вход, генерирует и возвращает на ее основе детализированный промпт, который включает роль, инструкции, примеры и описание формата ответа. Качество сгенерированного промпта напрямую зависит от того, насколько полно и точно пользователь описал задачу.

При оптимизации пользователь предоставляет уже существующий промпт, а LLM анализирует его и возвращает улучшенную версию. Такие оптимизаторы доступны в консолях OpenAI и Anthropic. Они представляют собой языковые модели, специально настроенные для задачи улучшения промптов.

Перед поступлением в LLM лаконичный пользовательский запрос, заданный в свободной или шаблонной форме, дополняется рядом предустановленных конструкций. За счет них, промпт содержит дополнительные уточняющие требования к нейросети, что способствует получению лучшего результата. В конечном итоге LLM-генератор получает на вход не просто сырой текст, а снабженный системными указаниями препромпт (high-level prompt). Формально это можно записать так:

$$P = LLM(\text{preprompt} \oplus \text{user\_input}) \quad (2)$$

где  $\oplus$  - конкатенация служебной конструкции и пользовательского ввода, а выход  $P$  – это структурированный промпт, готовый к подаче на целевую языковую модель.

Основное преимущество LLM-генерации и оптимизации - скорость получения качественного промпта. Пользователю не требуется знать приёмы промпт-инжиниринга, не нужно тратить время на итерации. Отсутствует необходимость всесторонне описывать свою задачу вручную или заполнять большой шаблон. Достаточно лаконично изложить цель, после чего нейросеть самостоятельно развернёт минималистичный промпт в полный с учётом оптимальной структуры. Модель аккумулирует знания о том, какие формулировки работают лучше, и применяет их автоматически.

Кроме того, этот способ может очень помочь в случае, когда промпт пишется для разных типов нейросетей, а особенно для разного типа контента. Разные модели дают отличающиеся результаты при одном и том же запросе, так как каждая концентрируется на своих триггерных точках. Для поддержания высокого качества составления промпта для разных моделей необходимо хорошо знать их особенности и специфику, регулярно следить за развитием и обновлением версий, оперативно обновляя алгоритм спецификации промпта под особенности конкретной модели. Это очень трудоёмкая задача. LLM в большинстве случаев довольно неплохо осведомлены об особенностях разных моделей и, соответственно, могут в автоматическом режиме «подхватить» эти особенности и учесть их в промпте.

Недостатки метода связаны с отсутствием прозрачности и предсказуемости. Пользователь не видит, почему модель изменила ту или иную фразу, и не может

контролировать процесс. Кроме того, LLM-оптимизатор требует вызовов модели, что влечёт вычислительные затраты и задержки. Ещё один риск - избыточная оптимизация, когда модель меняет промпт так, что он перестаёт соответствовать исходной задаче пользователя [4].

Данный метод следует рассматривать как опциональный, с перспективой стать основным. Он сочетает в себе множество сильных сторон, а потому может предложить скорость, простоту использования и удобство для пользователей разного уровня опытности.

*Ретривер-усиленная генерация (RAG-based)*

RAG (поиск с внешней подстановкой) - вспомогательный механизм поиска и подстановки. Данный метод комбинирует генеративные модели с поисковыми системами или базой данных для генерации ответов, обогащённых внешними данными. В контексте конструктора промптов RAG автоматически заполняет слоты «Контекст» и «Примеры» за счёт поиска фрагментов во внешнем хранилище текстов. В отличие от шаблонной подстановки, где контекст и примеры фиксированы, RAG позволяет конструктору адаптироваться к конкретному запросу пользователя, не требуя дообучения языковой модели [5].

Этапы работы RAG выглядят следующим образом:

4. Индексирование выполняется регулярно при обновлении базы данных. Все тексты, доступные системе (примеры удачных промптов), разбиваются на небольшие фрагменты (обычно по 2–5 предложений). Каждый фрагмент пропускается через нейросеть-кодировщик, который преобразует смысл текста в числовой вектор - эмбединг (набор чисел, отражающий

семантическое содержание). Все полученные эмбединги вместе с исходными фрагментами сохраняются в специальной структуре - индексе. Индекс позволяет быстро находить фрагменты, близкие к любому заданному вектору;

5. Поиск выполняется при каждом запросе. Когда пользователь вводит свою задачу (или весь введённый им текст), конструктор передаёт этот текст модулю поиска. Кодировщик вычисляет эмбединг запроса. Затем RAG находит в индексе число фрагментов, чьи эмбединги наиболее близки к эмбедингу запроса. Близость измеряется с помощью, например, косинусного сходства: чем ближе значение к 1, тем более похожи фрагменты по смыслу, даже если в них нет общих слов;

6. Подстановка выполняется конструктором. Найденные фрагменты вставляются в соответствующие слоты конструктора. Фрагменты, помеченные при индексировании как «пример», направляются в модуль «примеры». Фрагменты, помеченные как «контекст», направляются в модуль «контекст». После этого конструктор собирает полный промпт (роль, контекст, задача, ограничения, примеры) и отправляет его языковой модели.

RAG даёт конструктору важное преимущество - способность адаптироваться к широкому кругу запросов без изменения самой языковой модели и без ручного переписывания промптов. Система может использовать актуальные внешние данные, которые не входили в обучающую выборку LLM. Говоря об ограничениях метода, следует упомянуть, RAG требует предварительной индексации всего массива текстов, а также механизма её регулярного обновления при добавлении новых данных. Поиск и подстановка вносят дополнительную

задержку перед генерацией ответа. Качество работы RAG сильно зависит от выбора кодировщика и от того, насколько хорошо фрагменты в базе знаний разбиты и размечены по типам. Наконец, извлечённые фрагменты могут быть некорректно интегрированы в промпт или содержать

устаревшие сведения, поэтому желательно предусматривать механизмы проверки релевантности. Упрощенная схема работы RAG-модуля и способ его возможной интеграции в конструктор запросов показана на рисунке 2.

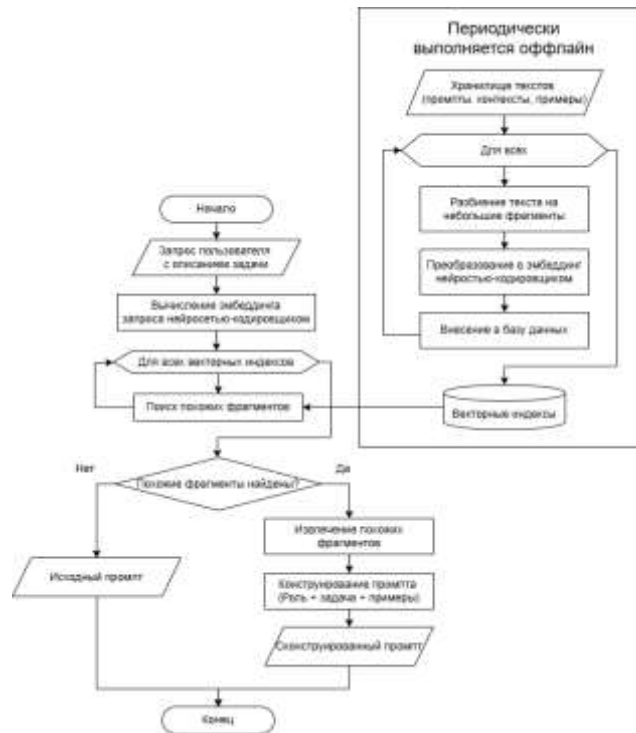


Рис. 2. Упрощенная схема работы RAG-компонента и возможный способ его интеграции в конструктор запросов

*Сравнительный анализ методов автоматизации формирования промптов*

В таблице 1 представлены ключевые характеристики трёх описанных подходов к автоматизированной генерации промптов - шаблонной подстановки, мета-промтинга и RAG-усиления. Оценки даны по порядковой шкале (низкая / средняя / высокая) с краткими пояснениями.

Из сравнения видно, что шаблонная подстановка обеспечивает максимальную простоту, но применима только к типовым, заранее определённым задачам. Мета-промтинг даёт высокую адаптивность и не требует подготовки данных, однако платит

за это вычислительными ресурсами и непредсказуемостью результата. RAG-усиление занимает промежуточное положение, позволяя конструктору динамически загружать релевантный контекст и примеры при условии наличия проиндексированной базы знаний. Выбор конкретного метода зависит от приоритетов пользователя: если важны простота и предсказуемость - предпочтительны шаблоны; если требуется гибкость без подготовки данных и качество - мета-промтинг; если нужна адаптация под широкий круг запросов с опорой на факты - RAG.

Таблица 1. Сравнительный анализ методов автоматизированной генерации промптов

Критерий	Шаблонная под- становка	Мета-промптинг (LLM).	RAG-усиление
<b>Интерпретируемость результата</b>	Высокая (пользователь видит все подстановки)	Высокая (сгенерированный промпт полностью доступен)	Высокая (извлечённые фрагменты видны)
<b>Адаптивность под новую задачу</b>	Низкая (требуется новый шаблон)	Очень высокая (модель перестраивает промпт)	Высокая (поиск по базе знаний)
<b>Вычислительные затраты</b>	Минимальные (только подстановка)	Высокие (два вызова LLM: генерация + решение)	Средние (поиск в индексе + вызов LLM)
<b>Задержка вывода</b>	Мгновенно	Высокая (зависит от LLM)	Средняя (поиск + генерация)
<b>Необходимость размеченных данных</b>	Нет	Малая (до 100 примеров для настройки)	Нет (только корпус текстов)
<b>Возможность работы с внешними знаниями</b>	Нет	Ограниченная (через контекст)	Да (прямое извлечение из базы)
<b>Требования к предварительной подготовке</b>	Нет	Нет	Индексирование базы знаний
<b>Устойчивость к смене LLM</b>	Средняя	Низкая (зависит от модели-генератора)	Высокая (поиск полностью независим)

### Библиографический список

1. Основные приёмы Prompt Engineering [Электронный ресурс] // systems-analysis.ru. - URL: [https://systems-analysis.ru/wiki/index.php/Основные\\_приёмы\\_Prompt\\_Engineering](https://systems-analysis.ru/wiki/index.php/Основные_приёмы_Prompt_Engineering) (дата обращения: 25.04.2026).

2. Шпаргалка для создания идеального промпта LLM [Электронный ресурс] // Habr. - URL: <https://habr.com/ru/companies/lanit/articles/812261/> (дата обращения: 25.04.2026).

3. Mastering Prompt Engineering: A Guide to the Co-STAR and TIDD-EC Frameworks [Электронный ресурс] // readmedium.com. -

URL: <https://readmedium.com/mastering-prompt-engineering-a-guide-to-the-co-star-and-tidd-ec-frameworks-3334588cb908> (дата обращения: 25.04.2026).

4. Reynolds L., McDonell K. Prompt Programming for Large Language Models: Beyond the Few-Shot Paradigm // arXiv.org. - 2021. - 15 Feb. - URL: <https://arxiv.org/pdf/2102.07350> (дата обращения: 25.04.2026).

5. RAG (Retrieval-Augmented Generation): основы и продвинутые техники [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/articles/871226/> (дата обращения: 25.04.2024).

### Информация об авторах

Таратухин Сергей Александрович – студент-магистр кафедры ABC, Воронежский государственный технический университет (394018, Россия, г. Воронеж, ул. Плехановская, 11), e-mail:

### Information about the author

Sergey A. Taratukhin – master's student at the Department of ACS, Voronezh state technical University (11 Plekhanovskaya Street, Voronezh, 394018, Russia), e-mail: [sergej.taratuxin.98@mail.ru](mailto:sergej.taratuxin.98@mail.ru), phone:

sergej.taratuxin.98@mail.ru, тел.: 930-418-88-04.

**Барabanov Александр Владимирович** – кандидат технических наук, доцент кафедры ABC, Воронежский государственный технический университет (394018, Россия, г. Воронеж, ул. Плехановская, 11), e-mail: bav33@mail.ru.

930-418-88-04.

**Alexander V. Barabanov** – candidate of technical Sciences (ACS), associate Professor, Department of ABC, Voronezh state technical University (394018, Russia, Voronezh, 11 Plekhanovskaya St.), e-mail: bav33@mail.ru.

УДК 004.415.53:004.8

## ГЕНЕРАТИВНОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ: ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ СКРЫТЫХ ОШИБОК ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Е.А. Коновалов<sup>1</sup>, В. Иванченко<sup>1</sup>, В.П. Морозов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Воронежский государственный технический университет

**Аннотация:** В статье предложен вариант построения генеративного тестового агента для сложных программных продуктов, в котором большая языковая модель используется не как абстрактный «умный помощник», а как конкретный модуль анализа спецификаций, синтеза сценариев и интерпретации результатов выполнения. Акцент сделан на логике метода, архитектуре генеративного агента, условиях применимости и экспериментальной части. Показано, каким образом агент на базе модели класса GPT-4o может анализировать описание интерфейсов, формировать граничные и состязательные сценарии, подключаться к отладчику и выявлять сложные логические ошибки, которые классические методы определить не могут.

**Ключевые слова:** генеративное тестирование, искусственный интеллект, большая языковая модель, генеративный агент, отладчик, программное обеспечение, микросервис, регрессионный тест.

## GENERATIVE TESTING: APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR DETECTING HIDDEN SOFTWARE ERRORS

E.A. Konovalov<sup>1</sup>, V. Ivanchenko<sup>1</sup>, V.P. Morozov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Voronezh State Technical University

**Abstract:** The paper proposes an architecture of a generative testing loop for complex software systems where a large language model is used as a concrete module for specification analysis, scenario synthesis and result interpretation. The paper explains how a GPT-4o-class model can process interface descriptions, build adversarial and boundary test scenarios, interact with a debugger and convert an isolated failure into a reproducible regression test.

**Keywords:** generative testing, artificial intelligence, large language model, generative agent, debugger, software engineering, regression testing.

Современные программные системы становятся все более сложными вследствие развития микросервисной архитектуры, распределенных вычислений и многошаговых сценариев обработки данных. В этих условиях количество комбинаций входных параметров, состояний и последовательностей действий быстро возрастает, поэтому даже при наличии развитого набора автотестов в эксплуатации могут сохраняться дефекты, связанные не только с ошибками

валидации, но и с нарушением внутренней логики работы сервисов [1]. Для выявления таких нетривиальных ошибок целесообразно использовать генеративное тестирование программных продуктов.

Под генеративным тестированием понимается метод автоматического формирования тестовых сценариев на основе анализа материалов разработки и текущего поведения системы, при котором используются модели искусственного интеллекта

для построения осмысленных и граничных проверок.

Актуальность темы генеративного тестирования обусловлена необходимостью поиска таких методов обеспечения качества программного обеспечения, которые позволяют выходить за пределы заранее заданных проверок, автоматически формировать новые осмысленные сценарии и выявлять скрытые ошибки, возникающие при редких сочетаниях состояний системы [1, 2].

Целью статьи является анализ возможностей генеративного тестирования и разработка подхода к построению генеративного тестового контура для сложных программных систем. Одной из проблем традиционного автоматизированного тестирования остается то, что оно строится на

заранее сформулированных сценариях и, как правило, подтверждает только известные ожидания. Классический фаззинг — метод тестирования, основанный на автоматической генерации входных данных, как правило случайным или псевдослучайным образом, - расширяет покрытие, однако обычно работает преимущественно на синтаксическом уровне и не учитывает предметный смысл параметров. Применение же генеративного тестирования позволяет реализовать автоматическое построение тестовых сценариев на основе анализа материалов разработки и текущего поведения системы [1, 2]. Для реализации генеративного тестирования используется генеративный тестовый агент (ГТА). Архитектура ГТА приведена на рис.1.

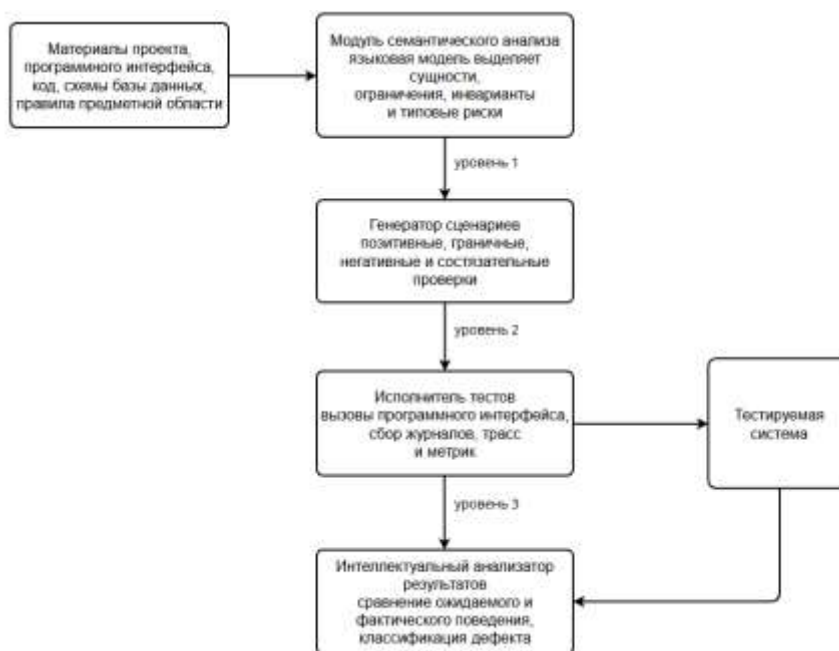


Рис. 1. Архитектура генеративного тестового агента

На вход ГТА поступают: описание интерфейсов, фрагменты кода, схемы данных, правила предметной области и метрики прошлых запусков, после чего он формирует осмысленные гипотезы о том, какие

сочетания значений и действий следует проверить. При этом архитектура ГТА является многоуровневой.

На первом уровне ГТА располагается модуль семантического анализа. Его задача

состоит в том, чтобы превратить разрозненные материалы разработки проекта во внутреннее описание тестируемой предметной области. Если на вход поступает спецификация программного интерфейса, агент выделяет типы запросов, обязательные и опциональные поля, диапазоны значений, а также смысловые признаки параметров. При наличии исходного кода дополнительно извлекаются условия ветвления, точки выброса исключений и внешние вызовы [3].

Второй уровень ГТА образует генератор сценариев. Он строит четыре класса проверок: позитивные, граничные, негативные и состязательные. Наибольшую ценность представляют состязательные сценарии, где агент намеренно комбинирует корректные по отдельности действия в проблемную последовательность. Именно здесь чаще всего проявляются нарушения логики функционирования программных модулей или их отдельных процедур, ошибки промежуточных вычислений и операций с изменяемым результатом при повторном выполнении [1, 2].

Третий уровень ГТА включает модуль запуска тестов, который осуществляет генерацию тестов, сохранение полученных результатов тестирования в соответствующих журналах, их интеллектуальный анализ и хронометраж их (тестов) выполнения. В рамках интеллектуального анализа оценивается не только и не столько формальный код ответа, а его физический смысл. Например, если сервис возвращает успешный результат тестирования программного модуля некоторой инвестиционной системы, предусматривающей работу с бонусами и при этом значение бонуса является отрицательным, то такое поведение классифицируется системой как ошибка.

При этом генеративное тестирование не является заменой традиционных методов тестирования, а выступает их дополнением.

Наибольший эффект метод дает в системах со сложной предметной логикой, высокой стоимостью пропущенной ошибки и неполнотой заранее перечисляемых сценариев: в финансовых сервисах, биллинговых платформах, системах ценообразования, обработке заявок и интерфейсах со сложной навигацией.

Если система тривиальна, имеет крайне жесткую формальную спецификацию и небольшое число состояний, то выигрыш от генеративного контура будет мал. Для практического применения необходимы хотя бы минимально формализованные материалы разработки, наблюдаемость системы и возможность безопасно выполнять автоматически сгенерированные сценарии в изолированной среде. Окончательное выявление ошибок должно оставаться за специалистом.

Рассмотрим пример функционирования ГТА совместно с отладчиком в виде цикла генерации, запуска и диагностики теста, который в схематичном виде представлен на рис.2.

ГТА начинает работу с анализа материалов разработки сервиса обработки транзакций: описания программного интерфейса, набора типовых тестов, схемы таблиц платежей, а также правила «размер кэшбэка не может быть отрицательным». На основе этого анализа ГТА выделяет потенциально опасные участки, например, пересчет бонусов при мультивалютной операции с последующим возвратом.

Далее ГТА генерирует следующую последовательность действий: создаёт транзакцию на малую сумму в одной

валюте, выполняет частичный возврат в другой валюте, повторно пересчитывает бонус и затем запрашивает отчет по клиенту. Для обычного ручного тестирования такая последовательность действий маловероятна, поскольку в ней участвуют несколько независимых правил: конвертация, округление, статус клиента и каскадный пересчет.

Чтобы понять причину аномалии, модуль запуска тестов подключает отладчик и устанавливает точки останова в функции

расчета бонуса. Последовательность вызовов указывает на конкретный участок модуля, локальные переменные показывают промежуточное отрицательное значение после конвертации валют, а трасса выполнения позволяет определить, что ошибка возникает только при определенном порядке вызова операций. Эти данные возвращаются агенту, и следующая итерация строит уже более детальный диагностический сценарий [5].

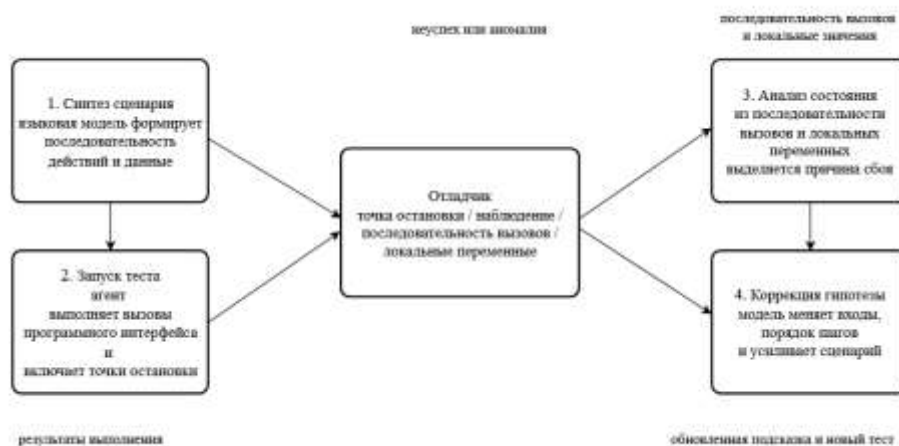


Рис. 2. Цикл генерации, запуска и диагностики теста с использованием отладчика

Использование отладчика снижает долю ложных интерпретаций. Без доступа к внутреннему состоянию системы трудно отделить истинный дефект от нестандартного, но допустимого поведения. Значения локальных переменных и данные, полученные при остановке выполнения, позволяют агенту проверить гипотезу о причине сбоя и отбрасывать слабые объяснения [5].

Пример отчета генеративного теста с данными отладчика представлен на рис.3.

После выявления ошибки(ок) ГТА осуществляет минимизацию сценария. Из длинной последовательности действий он удаляет нерелевантные шаги и оставляет только те операции, без которых ошибка(и)

не воспроизводится(яется). Полученный минимальный сценарий оформляется как регрессионный тест.

Для оценки эффективности предложенного подхода был проведен эксперимент на основе тестового стенда микросервиса обработки транзакций для коммерческой информационной системы в области инвестиций.

Стенд обеспечивал реализацию следующих операций: создания платежа, частичного возврата, начисления бонусов и формирования клиентского отчета. Базовый набор контроля качества включал 512 ручных и автоматизированных тестов, покрывавших типовые вызовы, основные

ветви бизнес-логики и проверку валидации.

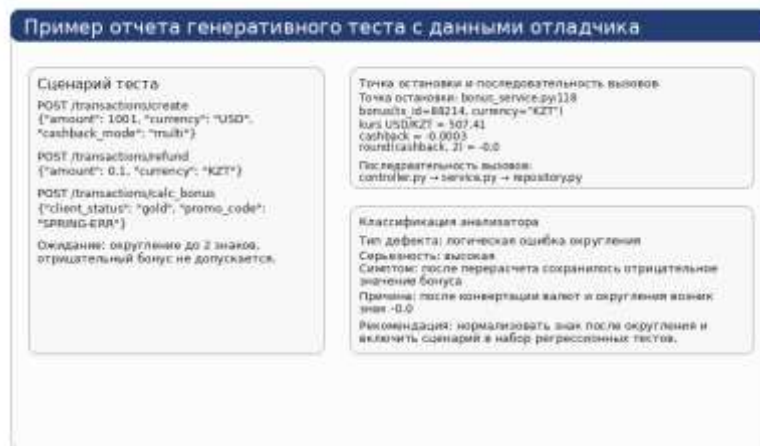


Рис. 3. Пример отчета генеративного теста с данными отладчика

В состав ГТА входили следующие компоненты: модель класса GPT-4o для анализа OpenAPI-спецификации и описания ошибок в системе учета задач; набор существующих тестов и фрагменты сервисного кода, отвечающие за пересчет бонусов. На основе извлеченных правил ГТА формировал позитивные, граничные, негативные и состязательные сценарии в виде

соответствующих пакетов. Каждый пакет запускался в изолированной среде, после чего ГТА ранжировал найденные сбои и формировал дополнительные уточняющие тесты [3, 4].

Результаты сравнения системы с базовым набором тестов и ГТА представлены в таблице 1.

Таблица 1 Результаты сравнения системы с базовым набором тестов и ГТА

Показатель	Система с базовым набором тестов	ГТА	Изменение
Количество сценариев за цикл	512	1568	+1056
Покрытие строк кода, %	72	94	+22 п.п.
Покрытие ветвлений, %	61	88	+27 п.п.
Найдено критических дефектов	1	8	+7
Среднее время до воспроизведения сбоя, мин	43	11	-32

В течение 30 минут работы ГТА сформировал 1568 уникальных сценариев. Наиболее заметный эффект связан не столько с ростом числа прогонов, сколько с изменением их структуры: агент существенно чаще порождал ситуации, где отдельные корректные операции комбинировались в нетривиальный порядок. В

результате было обнаружено восемь критических дефектов, пять из которых относились именно к логике предметной области [4].

Стандартный набор тестов не выявил перечисленных логических дефектов. Это подтверждает главный тезис работы: ценность генеративного подхода состоит не

просто в увеличении объема прогонов, а в семантическом поиске скрытых сочетаний состояний. Вместе с тем метод требует изолированного стенда, развитого журналирования и контроля затрат на выполнение тестирования [1, 2].

Таким образом в статье описан метод генеративного тестирования сложных программных продуктов и предложена архитектура ГТА, построенная на его основе, которая включает: модуль семантического анализа, базирующийся на большой языковой модели; генератор сценариев; модуль запуска тестов; интеллектуальный анализатор тестов.

Применение ГТА в совокупности с отладчиком позволяет выявить сложные логические ошибки, которые не могут быть определены классическими методами тестирования [4, 5].

Дальнейшее совершенствование метода генеративного тестирования целесообразно связать со снижением

вычислительной стоимости работы модели, улучшением ранжирования полезных сценариев, а также включением в процессы тестирования корпоративных баз знаний о ранее выявленных ошибках [4].

#### Библиографический список

1. Майерс Г., Сэндлер К., Бэдджетт Т. Искусство тестирования программ. 3-е изд. М.: Вильямс, 2013.
2. Kaner C., Falk J., Nguyen H.Q. Testing Computer Software. 2nd ed. New York: Wiley, 1999.
3. OpenAPI Initiative. OpenAPI Specification. URL: <https://spec.openapis.org/> (дата обращения: 25.03.2026).
4. OpenAI. GPT-4o system card and product materials. URL: <https://openai.com/> (дата обращения: 25.03.2026).
5. Zeller A. Why Programs Fail: A Guide to Systematic Debugging. 2nd ed. Burlington: Morgan Kaufmann, 2009.

#### Информация об авторах

**Коновалов Егор Александрович** — студент базовой кафедры кибернетики в системах организационного управления, Воронежский государственный технический университет (394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20 лет Октября, 84), e-mail: laknj@yandex.ru.

**Иванченко Владислав** — студент базовой кафедры кибернетики в системах организационного управления, Воронежский государственный технический университет (394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20 лет Октября, 84), e-mail: blud777x@mail.ru.

**Морозов Владимир Петрович** — доктор технических наук, профессор базовой кафедры кибернетики в системах организационного управления, Воронежский государственный технический университет (394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20 лет Октября, 84), e-mail: vp\_morozov@mail.ru.

#### Information about the author

**Egor A. Kononov** — student of the Department of Applied Informatics, Voronezh State Technical University (84, 20 let Oktyabrya str., Voronezh, 394006, Russia), e-mail: laknj@yandex.ru.

**Vladislav Ivanchenko** — student of the Department of Applied Informatics, Voronezh State Technical University (84, 20 let Oktyabrya str., Voronezh, 394006, Russia), e-mail: blud777x@mail.ru.

**Vladimir P. Morozov** — doctor of Technical Sciences, Professor of the Basic Department of Cybernetics in Organizational Management Systems, Voronezh State Technical University (84, 20 let Oktyabrya str., Voronezh, 394006, Russia), e-mail: vp\_morozov@mail.ru.

УДК 004.738.5:621.317

## МЕТОДИКА АДАПТИВНОГО КОНТРОЛЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ В ЗДАНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ IOT – СЕНСОРОВ И ОБЛАЧНОГО СЕРВИСА

С.Р. Гайфуллин<sup>1</sup>, В.Д. Сандаков<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Казанский государственный энергетический университет

**Аннотация:** В работе представлена методика адаптивного контроля расхода электроэнергии в зданиях на основе интернета вещей. С помощью беспроводных датчиков тока, освещённости и температуры собираются данные, которые через облачную платформу поступают в алгоритм, меняющий режимы работы электроприборов. Приводятся формулы для вычисления средневзвешенного энергопотребления и оценки тренда нагрузки. Описывается схема принятия решений.

**Ключевые слова:** интернет вещей, энергоменеджмент, облачная платформа, MQTT, датчики тока, прогнозирование нагрузки.

## ADAPTIVE ENERGY CONSUMPTION CONTROL METHOD IN A BUILDING USING IOT SENSORS AND A CLOUD SERVICE

S.R. Gayfullin <sup>1</sup>, V.D. Sandakov <sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Kazan State Power Engineering University*

**Abstract:** The paper presents a method for adaptive control of electricity consumption in buildings based on the Internet of Things. Using wireless sensors of current, illumination and temperature, data is collected and sent via a cloud platform to an algorithm that changes the operating modes of electrical appliances. Formulas for calculating the weighted average energy consumption and estimating the load trend are given. The decision-making scheme is described.

**Keywords:** internet of Things, energy management, cloud platform, MQTT, current sensors, load forecasting.

В современных офисных и промышленных зданиях существенная доля затрат приходится на электроэнергию. Многие объекты до сих пор эксплуатируются без интеллектуального учёта: свет может гореть в пустых комнатах, кондиционеры работают на полную мощность в нерабочее время. Такой подход приводит к перерасходу ресурсов и дополнительной нагрузке на сети. Известные работы по автоматизации [1] указывают, что даже простое информирование о текущем потреблении снижает затраты на 10–15%, но для более глубокой экономии требуется активное управление.

Развитие технологий интернета вещей (IoT) и облачных платформ, детально разобранное в обзоре [3], позволяет оснащать обычные розетки и выключатели интеллектуальными модулями. В пособии по сенсорным системам [2] показано, что дешёвые датчики тока на эффекте Холла способны передавать показания с частотой раз в секунду. Однако, как справедливо замечает Ершов [4], проблема заключается не в

сборе данных, а в их осмыслении: сырые цифры бесполезны без алгоритмов, отделяющих нормальную работу от аномалий.

Цель данной работы — разработать методику, которая на основе потока данных с IoT-датчиков самостоятельно изменяет режимы работы электроприборов, снижая расход энергии без потери комфорта.

В качестве тестового объекта выбран небольшой офис площадью 50 м<sup>2</sup>, разделённый на три зоны. В каждой зоне установлены: умная розетка с измерением тока (до 16 А), датчик освещённости (0–1000 лк) и инфракрасный датчик присутствия. Управление нагрузкой осуществляется через те же розетки — они могут отключать питание удалённо по команде с сервера.

Сформулируем задачу. Алгоритм должен обрабатывать входящие данные каждые 5 секунд и выдавать одно из трёх решений:

- Штатный режим — питание подаётся, ограничений нет.
- Энергосберегающий режим — отключение части приборов (например,

обогревателя или дополнительного света) при низкой загрузке помещения.

– Аварийное отключение — полное обесточивание зоны при превышении порога тока более чем на 30% от номинала.

На рисунке 1 показана архитектура предложенного решения. Все элементы — датчики, исполнительные устройства

(реле), микроконтроллер ESP32 и облачный MQTT-брокер — связаны через Wi-Fi. Микроконтроллер выполняет первичную фильтрацию сигналов, а принятие финальных решений происходит на облачной платформе, что позволяет легко менять логику без перепрошивки устройств.

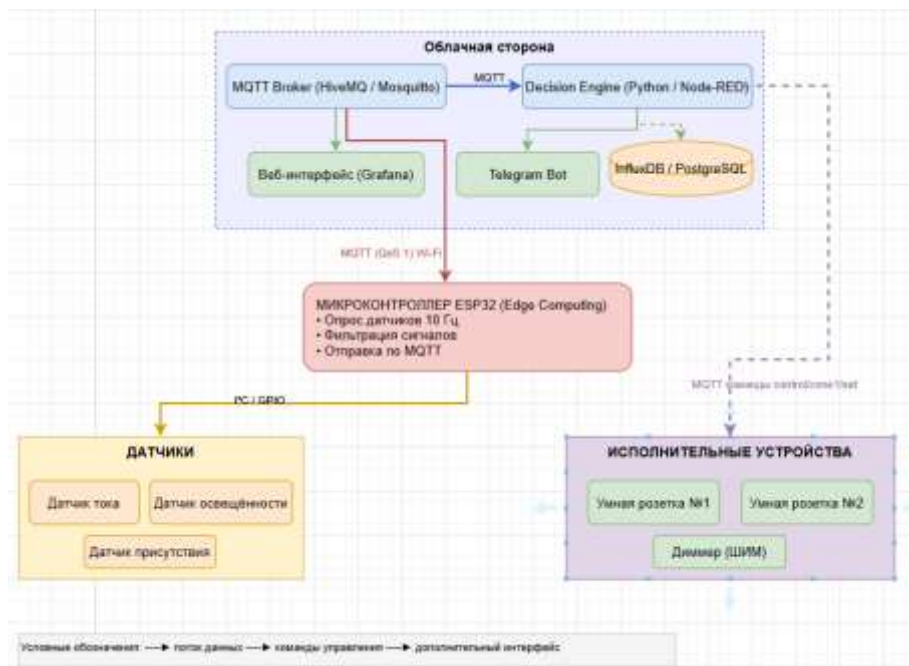


Рис. 1. Архитектура системы адаптивного контроля энергопотребления

Почему в качестве транспортного протокола выбран MQTT? Сравнение, выполненное в работе [5], показывает, что для сценариев с большим количеством датчиков и нестабильной сетью MQTT превосходит HTTP по скорости и надёжности, а CoAP требует более сложной реализации. Поддержка QoS 1 гарантирует доставку команд управления даже при кратковременных обрывах связи.

Перейдём к математическому описанию алгоритма.

Для каждой зоны в момент времени  $t$  вычисляется текущее энергопотребление:

$$E(t) = U \cdot I(t) \cdot \cos\varphi$$

где  $U$  — напряжение сети (принимаем 230 В),  $I(t)$  — измеренный ток,  $\cos\varphi$  — коэффициент мощности, задаваемый для каждого типа прибора (0,95 для светодиодов, 0,8 для нагревателей).

Чтобы сгладить кратковременные скачки (например, при включении холодильника), используется скользящее среднее за последние 10 секунд:

$$\bar{E}(t) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} E(t - k \cdot \Delta t)$$

где  $\Delta t = 5$  секунд,  $N = 2$ .

Для обнаружения опасного роста нагрузки (признак неисправности или короткого замыкания) вычисляется скорость изменения:

$$\delta E(t) = \frac{\bar{E}(t) - \bar{E}(t-60)}{60}$$

то есть прирост за минуту, выраженный в ваттах в секунду.

Таблица 1 содержит пороговые

Таблица 1 Логика принятия решений для системы энергоконтроля

Условие	Действие
$\bar{E} < 150$ Вт и датчик присутствия = 0	Отключение розеток через 10 минут (задержка, чтобы человек успел вернуться)
$150 \leq \bar{E} < 500$ Вт и датчик присутствия = 1	Штатный режим, никаких изменений
$\bar{E} \geq 500$ Вт, но $\delta E < 20$ Вт/с	Включение энергосберегающего режима: снижение яркости света на 30%
$\bar{E} \geq 800$ Вт или $\delta E \geq 50$ Вт/с	Аварийное отключение всей зоны, отправка SMS оператору

Поясним логику. Первое условие предотвращает работу приборов в пустом помещении, но с задержкой 10 минут — чтобы при кратковременном выходе не моргал свет. Третье условие активирует мягкое ограничение при высокой нагрузке, не отключая всё сразу. Четвёртое — защита от аварий (например, задымления или короткого замыкания), где промедление недопустимо.

Для проверки работоспособности был собран стенд из трёх умных розеток (на базе ESP8266), одного центрального контроллера ESP32 и датчика присутствия HC-SR501. Нагрузкой служили: светодиодный светильник (40 Вт), персональный компьютер в режиме простоя (80 Вт) и масляный обогреватель (1500 Вт, использовался кратковременно для имитации аварийной ситуации). Все данные отправлялись на публичный MQTT-брокер (HiveMQ Cloud), откуда их забирал скрипт на Python, реализующий логику таблицы 1.

Результаты эксперимента показаны на рисунке 2. В нормальном режиме

значения и соответствующие команды управления. Эти цифры получены экспериментально для офисного помещения с типовым набором оборудования (компьютеры, мониторы, обогреватель, свет).

(первые 5 минут) потребление держалось около 120 Вт, алгоритм ничего не менял. При включении обогревателя мощность резко подскочила до 1500 Вт, скорость  $\delta E$  достигла 80 Вт/с — система отключила розетку через 2 секунды. В сценарии «человек вышел, но свет забыл выключить» датчик присутствия показал ноль, через 10 минут розетка с компьютером и светом отключилась, сэкономяв около 0,3 кВт·ч за ночь.

Важно отметить, что алгоритм не требует дорогих серверов. Облачная платформа может быть заменена на локальный сервер (Raspberry Pi с Mosquitto), а все вычисления легко выполняются на ESP32, что было проверено в дополнительных тестах. Такой подход, называемый edge-вычислениями, рекомендуется в статье [4] для промышленных применений.

В итоге можно выделить несколько ключевых результатов.

1. Предложена простая формула скользящего среднего для сглаживания выбросов тока, что исключает ложные срабатывания при кратковременных пусках.

2. Введён параметр  $\delta E$  — скорость изменения мощности, который позволяет отличить плановое включение мощного прибора от аварийного короткого замыкания.

3. Экспериментально подтверждено, что система распознаёт аварию за 2 секунды и отключает нагрузку до того, как

сработает штатный автоматический выключатель (обычно 5–10 секунд).

4. Методика реализована на стандартных компонентах ESP32 и ESP8266 с открытым программным обеспечением, что делает её доступной для малого и среднего бизнеса.

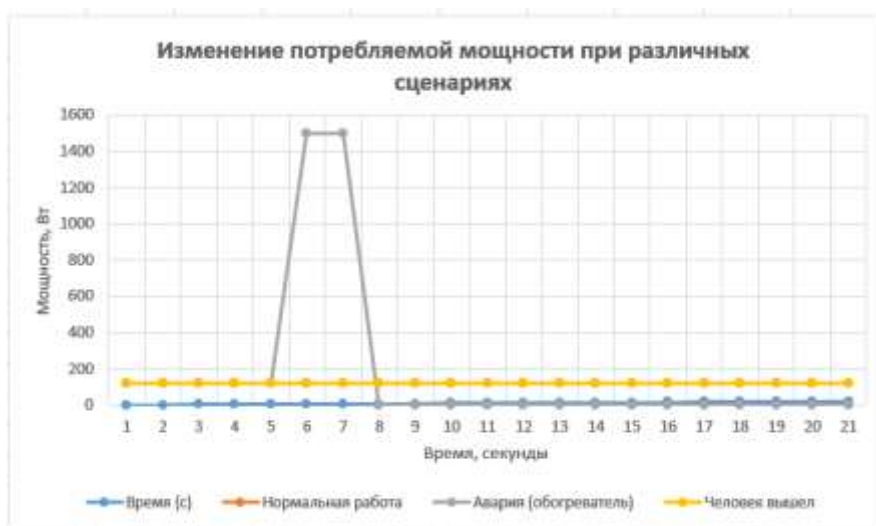


Рис. 2. Графики изменения RMS вибрации во времени при нормальной работе, износе подшипника и аварийном дисбалансе

Перспективы дальнейших исследований видятся в добавлении машинного обучения: нейронная сеть могла бы прогнозировать потребление на основе дня недели, погоды и исторических данных. Как указывает Ершов [4], сочетание простых пороговых алгоритмов (для быстрого реагирования) и более сложных моделей (для долгосрочного планирования) даёт наилучший эффект. Уже сейчас разработанная методика позволяет снизить годовые затраты на электроэнергию в типовом офисе на 20–25% без потери комфорта.

#### Библиографический список

1. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем: Пер. с англ. / Дж. Питерсон; под ред. В.А. Горбатова. — М.: Мир, 1984. — 264 с.

2. Барков А.В., Баркова Н.А.

Вибрационная диагностика машин и оборудования: учебное пособие. — Красноярск, 2015. — 84 с.

3. Mineraud J., Mazhelis O., Su X., Tarkoma S. Contemporary Internet of Things platforms // *Journal of Network and Computer Applications*. — 2016. — Vol. 69. — P. 51-71.

4. Ершов А.Н. Актуальные проблемы развития предиктивной аналитики в промышленности // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. — 2025. — Т. 23, № 3. — С. 187-194.

5. Jaggi S. IoT Protocols: Comparing MQTT, CoAP, and HTTP for Efficient Device Communication // *Department of Computer Science and Engineering, Chandigarh College of Engineering and Technology*. — Chandigarh, India. — P. 1-8.

6. ISO 10816-3:2009. Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts — Part 3: Industrial machines with nominal power above 15 kW and nominal speeds between 120 r/min and 15000 r/min.

7. ГОСТ Р ИСО 10816-3-2002. Вибрация. Контроль состояния машин по

результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 3. Промышленные машины номинальной мощностью свыше 15 кВт и номинальной частотой вращения от 120 до 15000 мин<sup>-1</sup>.

8. Espressif Systems. ESP32 Series Datasheet v5.2. — 2025. — 78 p.

#### Информация об авторах

**Гайфуллин Самир Радикович** — студент, Казанский государственный энергетический университет (420066, Россия, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51), e-mail: islam.asadullin@mail.ru

**Сандаков Виталий Дмитриевич** — кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий и интеллектуальных систем, Казанский государственный энергетический университет (420066, Россия, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51), e-mail: vitalysandakov@gmail.com

#### Information about the author

**Samir R. Gayfullin** — student, Kazan State Power Engineering University (51 Krasnoselskaya str., Kazan, 420066, Russia), e-mail: islam.asadullin@mail.ru

**Vitaly D. Sandakov** — candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information Technologies and Intelligent Systems, Kazan State Power Engineering University (51 Krasnoselskaya str., Kazan, 420066, Russia), e-mail: vitalysandakov@gmail.com

УДК 004.896

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗРАБОТАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ШАГАЮЩИМ РОБОТОМ

**В.В. Кашко<sup>1</sup>, С.А. Олейникова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Воронежский государственный технический университет*

**Аннотация:** Объектом исследования является шагающий робот; предметом исследования – система управления шагающим роботом на основе разработанных алгоритмов, основанных на обучении с подкреплением. В результате проведена серия экспериментов, подтверждающая эффективность предлагаемого математического и алгоритмического обеспечения по сравнению с классическими методами.

**Ключевые слова:** Шагающий робот, обучение с подкреплением, эксперимент, математическое и алгоритмическое обучение, система управления

## EXPERIMENTAL JUSTIFICATION OF THE DEVELOPED CONTROL SYSTEM FOR A WALKING ROBOT

**V.V. Kashko<sup>1</sup>, S.A. Oleinikova<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Voronezh State Technical University*

**Abstract:** The object of the study is a walking robot; the subject of the study is the control system of a walking robot based on developed algorithms that rely on reinforcement learning. As a result, a series of experiments was conducted confirming the effectiveness of the proposed mathematical and algorithmic support compared to classical methods.

**Keywords:** Walking robot, reinforcement learning, experiment, mathematical and algorithmic learning, control system.

Рассматривается задача управления шагающим роботом. Данную задачу можно сформулировать следующим образом.

Пусть некоторая робототехническая шагающая платформа, обладающая двумя или более конечностями (педипуляторами)

шарнирного типа, помещена в заранее не детерминированную среду, которую в определённый момент времени можно охарактеризовать кривизной и шероховатостью рельефа, вязкостью грунта. Возможно наличие препятствий разного размера. Необходимо разработать систему управления, позволяющую соответствующему интеллектуальному агенту решать задачу самообучения выполнению указанной локомоторной программы из множества допустимых на опыте непосредственного взаимодействия со средой и адаптации полученной стратегии под разнообразные типы поверхностей.

Детальный анализ существующего математического и алгоритмического подхода для решения поставленной задачи позволил разработать структуру многофункционального агента, основанного на глубоком алгоритме обучения с подкреплением, обеспечивающего мобильного шагающего робота множественностью локомоторных программ. Вводится определение нейронного кластера - совокупности нейронов, полностью связанных между собой. Каждая группа ассоциируется с конкретной решаемой задачей, тем самым обеспечивая выполнение принципа «одна задача - одна

сеть», исключающего проблему забывания. Для осуществления селекции групп предлагается использовать уникальные бинарные коды, соответствующие каждой из групп. Пусть задана некоторая функция  $\Psi(p)$ , ставящая в соответствие коду стратегии  $p$  некоторую битовую маску  $m$ , активирующую нейроны выбранной группы и деактивирующая все остальные. Эта функция в нейронной сети будет являться переключающим нейроном - искусственным нейроном базального ганглия, ставящим в соответствие коду стратегии  $p$  (равносильно движению) некоторую активационную маску  $m$  группы внутри кластера (эквивалент кодировки активации, генерируемой нейроном базального ганглия) [1].

Предложенная архитектура выполняет разделение полносвязной нейронной сети между задачами, обеспечивая их независимое запоминание без «потери памяти» при переключении агента между ними. Структура такого агента представлена на рис. 1.

Далее была предложена структурная схема системы управления локомацией шагающего робота с учетом взаимодействия внутренних блоков. Она представлена на рис. 2.

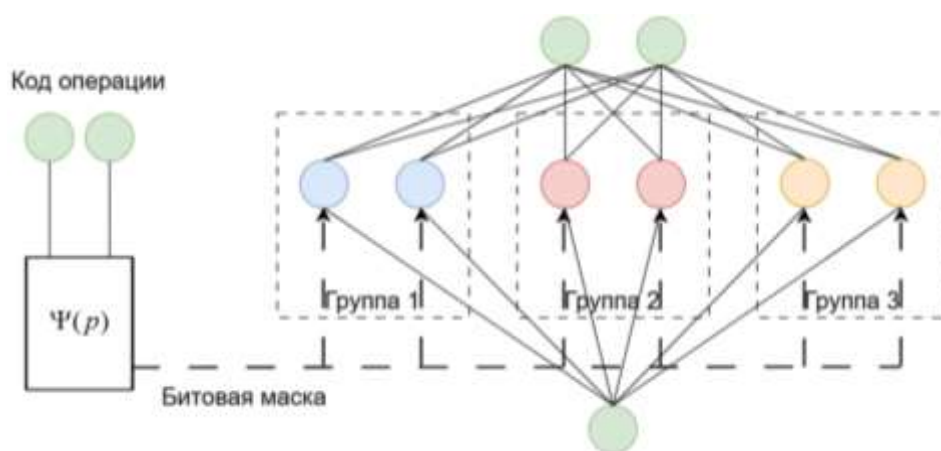


Рис. 1. Прогрессивная нейронная сеть на основе полносвязного нейронного кластера с использованием переключающих нейронов

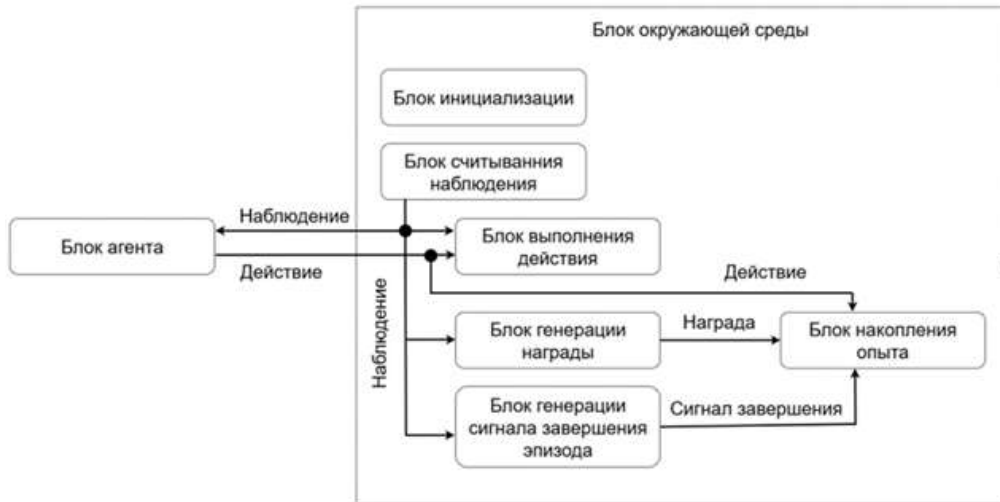


Рис. 2. Структурная схема системы управления локомацией шагающего робота

Как видно из данного рисунка, в окружающей среде присутствует блок, который считывает текущее состояние робота (блок считывания наблюдения). На основании зафиксированного в данный момент результата формируется или награда (если выбранное действие успешно с точки зрения отсутствия падения) или генерация сигнала завершения (если было зафиксировано падение). Выбранное действие, полученная награда (или сигнал завершения) идут в блок накопления опыта, в котором будут запоминаться значение наград при данном состоянии и выбранном действии.

Следует отметить, что модификации подвергся также математический аппарат, позволяющий определять действие на основе текущего наблюдения за состоянием робота. В целом математически наблюдение и формирование награды за выполненное роботом действие можно описать с помощью следующего марковского процесса:

$$M = (S, A, P, R, \gamma) \quad (1)$$

Здесь, где  $s_i \in S$  полное состояние среды,  $a_i \in A$  действие,  $P(s_{i+1}|s_i, a_i)$  - динамика,  $R(s_i, a_i)$  - вознаграждение,  $\gamma$  - коэффициент обесценивания.

Классический вариант предполагает деление всего множества состояний  $S$  на два непересекающихся подмножества  $S_{safe}$  и  $S_{fale}$ , представляющих собой множество устойчивых и неустойчивых состояний соответственно. В работе предложено разделить множество устойчивых состояний еще на два подмножества:  $S_{safe}$  и  $S_{critical}$ . Если в результате выбранного действия агент оказался в некотором состоянии  $s_i \in S_{safe}$ , можно констатировать, что робот находится в устойчивом состоянии. Если же в результате выбранного действия окажется, что  $s_i \in S_{critical}$ , это будет означать, что робот пока не упал, но находится «на границе» между падением и устойчивым состоянием. При этом в алгоритме ликвидации критических состояний, представленном в [10], агент реагирует, в первую очередь, на попадание роботом в состояние из  $S_{critical}$ . С учетом того, что робот представляет собой дорогостоящее оборудование, которое может повредиться в результате падения, а также в силу необходимости, как правило, участия человека при падении робота, целью является увеличение числа эпизодов без падения робота.

Для обоснования эффективности

предложенной структуры системы управления, ее математического и алгоритмического обеспечения было проведено множество экспериментов. Апробация предложенного в контексте исследования алгоритма ликвидации критических состояний производилась в сравнении с использованием стандартного способа реализации глубокого обучения с подкреплением. Экспериментальные данные были получены на 6000 эпизодах. Длина эпизода соответствовала 300 шагов, параметр скорости обучения сетей исполнителя и критика - 0,0001, количество эпох на итерацию равнялось 3.

В качестве метрик качества для реализации сравнения были выбраны: процент эпизодов без фактического падения, процент полностью завершённых эпизодов, максимальная длина эпизода, количество шагов до падения и доля случаев, когда робот был в падении, но восстановился. В результате экспериментов были получены

Таблица 1 Полученные показатели метрик качества

Метрика	Классический	Предлагаемый
Процент эпизодов без фактического падения	65%	85%
Процент полностью завершённых эпизодов	0,83%	0,83%
Максимальная длина эпизода	300	300
Количество шагов до падения	300	1000
Доля случаев, когда робот был в падении, но восстановился	5%	55%

Таблица 2 Метрика количества падений для комбинаций стратегий

Стратегия обучения	Переход на поверхность	Процент эпизодов без падения
Прямо по ровной поверхности	ровная	95
Прямо по песчаной поверхности	песчаная	80
Прямо по ровной поверхности	песчаная	40
Прямо по песчаной поверхности	ровная	85

Из полученных результатов видно, что при переходе обученной стратегии движения по ровной поверхности на песчаную, заметно значительное снижение количества эпизодов без падений (более чем в 2 раза).

следующие результаты, представленные в таблице 1.

Апробация архитектуры с переключающимися нейронами проводилась для проверки гипотезы о том, что разные группы реализуют разные режимы локомоции и могут стабильно переключаться.

Для эксперимента использовалась одна и та же локомоция — движение прямо — на двух типах поверхности: ровной и песчаной. Метрикой служил процент эпизодов без падения.

Сначала обучалась каждая стратегия, затем измерялось число успешных эпизодов в среде, соответствующей её коду. Эти результаты принимались за эталон. Предполагалось, что при смене условий на противоположные показатель заметно изменится, если переключение и аппроксимация стратегий выполняются корректно. Экспериментальные данные приведены в таблице 2.

Таким образом, каждая группа корректно аппроксимирует соответствующую ей стратегию. Выполняется корректная селекция стратегий.

Продemonстрируем результаты экспериментов. Они представлены на рис. 3.

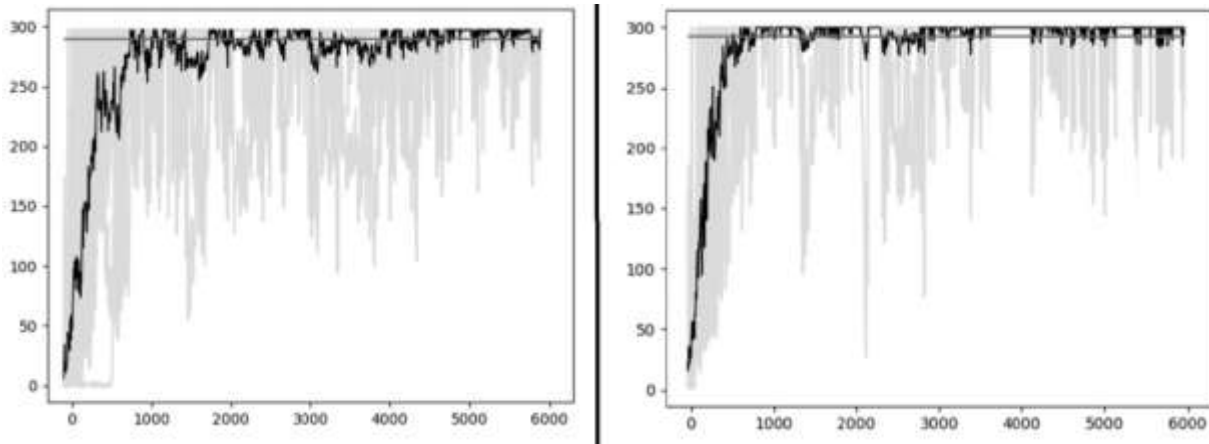


Рис. 3. Результаты экспериментов

Таким образом, выполнен цикл экспериментов по определению эффективности разработанного алгоритмического обеспечения безопасного обучения робота и предложенной архитектуры глубокой нейронной сети к задаче управления локомоцией мобильного шагающего робота. Результаты экспериментов продемонстрировали увеличение устойчивости робота на 80%, при использовании алгоритма ликвидации критических состояний в сравнении с классическим алгоритмом применения глубокого обучения с подкреплением для обучения робота «напрямую». Использование предложенной архитектуры продемонстрировало способность одной полносвязной глубокой сети обучаться множеству стратегий и выполнять корректное переключение между ними.

#### Библиографический список

1. Кашко, В. В. Построение многофункционального агента на базе глубокого обучения с подкреплением / В. В. Кашко, С. А. Олейникова // Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики. Сборник трудов Международной научной конференции. □ 2025. □ С. 285 –

291.

2. Саттон Р. С., Барто Э. Дж. Обучение с подкреплением: Введение. 2-е изд. : Пер. с англ. / Р. Саттон, Э. Барто. - М.: ДМК Пресс, 2020. - 552 с.: ил. — ISBN 978-5-97060-097-9

3. Лонца А. Алгоритмы обучения с подкреплением на Python / пер. с англ. А. А. Слинкина. – М.: ДМК Пресс, 2020. – 286 с.: ил. ISBN 978-5-97060-855-5

4. Лю Ю. (X.) Обучение с подкреплением на PyTorch: сборник рецептов / пер. с англ. А. А. Слинкина. – М.: ДМК Пресс, 2020. – 282 с.: ил. ISBN 978-5-97060-853-1

5. Моралес Мигель Грокаем глубокое обучение с подкреплением. — СПб.: Питер, 2023. — 464 с.: ил. — (Серия «Библиотека программиста»). ISBN 978-5-4461-3944-6

6. Грессер Лаура, Кенг Ван Лун Глубокое обучение с подкреплением: теория и практика на языке Python. — СПб.: Питер, 2022. — 416 с.: ил. — (Серия «Библиотека программиста»). ISBN 978-5-4461-1699-7

7. Траск Э. Грокаем глубокое обучение: учебное пособие / Э. Траск. –СПб.: Питер, 2021. – 352 с.:ил. – (Серия «Библиотека программиста»). – ISBN 978-5-4461-1334-7.

8. Хайкин С. Нейронные сети: полный

курс, 2-е издание. : Пер. с англ. / С. Хайкин. – Москва.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1104 с.:ил. – ISBN 5-8459-0890-6.

9. Гафаров Ф.М. Искусственные нейронные сети и приложения: учеб. пособие / Ф.М. Гафаров, А.Ф. Галимянов. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2018. – 121 с.

10. Кашко В.В. Общий алгоритм

ликвидации критических состояний для решения задачи управления реальным шагающим роботом на основе методов глубокого обучения с подкреплением / В. В. Кашко, С. А. Олейникова // Программные системы и вычислительные методы. Москва. 2025. № 3. С. 103 - 114.

#### Информация об авторах

**Кашко Василий Васильевич** – аспирант кафедры автоматизированных и вычислительных систем, Воронежский государственный технический университет (394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20 лет Октября, 84), e-mail: vasya.kashko@mail.ru

**Олейникова Светлана Александровна** – д-р. техн. наук, профессор, профессор кафедры автоматизированных и вычислительных систем, Воронежский государственный технический университет (394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20 лет Октября, 84), e-mail: s.a.oleynikova@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0333-2313>

#### Information about the author

**Vasilii V. Kashko** – postgraduate student of the Department of Automated and Computing Systems, Voronezh State Technical University (84, 20 let Oktyabrya str., Voronezh, 394006, Russia), e-mail: vasya.kashko@mail.ru

**Svetlana A. Oleynikova** – dr. Sciences (Technical), Professor of the Department of Automated and Computing Systems, Voronezh State Technical University (84, 20 let Oktyabrya str., Voronezh, 394006, Russia), e-mail: s.a.oleynikova@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0333-2313>

УДК 681.518.54:621.65

## ОБЗОР ПОДХОДА К ПРЕДИКТИВНОЙ ДИАГНОСТИКЕ ПОВЫСИТЕЛЬНЫХ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ НА БАЗЕ АЛГОРИТМА СЛУЧАЙНЫЙ ЛЕС

**М.С. Архипенко<sup>1</sup>, Р.С. Архипенко<sup>1</sup>, А.В. Смольянинов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Воронежский государственный технический университет*

**Аннотация:** В статье рассматривается применение алгоритма машинного обучения Случайный лес для предиктивной диагностики повысительных насосных станций. Оценка технического состояния оборудования выполняется на основе анализа температуры электродвигателя вместе с вычисляемыми преобразователем частоты токами статора.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, машинное обучение, предиктивное обслуживание, повысительная насосная станция, техническая диагностика, преобразователь частоты.

## OVERVIEW OF A PREDICTIVE DIAGNOSTICS APPROACH FOR BOOSTER PUMP STATIONS BASED ON THE RANDOM FOREST ALGORITHM

**M.S. Arkhipenko<sup>1</sup>, R.S. Arkhipenko<sup>1</sup>, A.V. Smolianinov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Voronezh State Technical University*

**Abstract:** The article discusses the application of the Random Forest machine learning algorithm for predictive diagnostics of booster pump stations. The technical condition of the equipment is assessed by analyzing the electric motor temperature along with the stator currents calculated by the variable frequency drive.

**Keywords:** artificial intelligence, machine learning, predictive maintenance, booster pump station, technical diagnostics, variable frequency drive.

### *Введение*

Значительная часть повысительных насосных станций в сфере жилищно-коммунального хозяйства работает на пределе своего нормативного ресурса. Износ оборудования неизбежно приводит к внезапным отказам агрегатов [6] и перебоям в водоснабжении. Традиционно для предотвращения подобных аварий применяется система планово-предупредительных ремонтов. Она опирается на проведение регламентных проверок по жесткому графику.

На практике такой подход часто приводит к нерациональным тратам времени персонала. Ремонтные бригады вынуждены осматривать в том числе и полностью исправные механизмы. При этом полный отказ от плановых выездов на объекты невозможен из-за высоких рисков возникновения аварий. Возникает объективная технологическая потребность в увеличении интервалов между проверками без снижения надежности системы. Достичь этого можно за счет внедрения автоматизированного мониторинга, который непрерывно оценивает фактическое состояние агрегатов и уменьшает потребность в частых регулярных ручных осмотрах.

Решение задачи заключается в анализе внутренних параметров электропривода с помощью алгоритмов машинного обучения. Подобный метод дает возможность оценивать фактическое состояние насоса непосредственно в процессе его работы. Выявление механических дефектов и гидравлических аномалий на ранних этапах позволяет эксплуатирующим службам точно определять проблемные агрегаты и продлевать срок службы оборудования, за счёт своевременного начала ремонтных работ. В результате график работы ремонтного персонала оптимизируется, а

вероятность критических поломок снижается.

### *Обоснование выбора диагностических параметров*

Классический подход к диагностике роторных машин требует установки пьезоэлектрических акселерометров. Оснащать вибродатчиками множество маломощных повысительных станций экономически невыгодно из-за высокой стоимости аппаратуры.

Альтернативным решением становится анализ внутренних параметров привода. Важно отметить, что этот метод применим только для станций, оборудованных преобразователями частоты с системой векторного управления. При релейном или ином типе регулирования получить необходимые данные для анализа невозможно. Векторный же преобразователь фактически берет на себя роль измерительного комплекса. Базовыми признаками для оценки состояния здесь служат активная  $I_q$  и реактивная  $I_d$  составляющие тока статора [1, 3].

Однако для полноценного контроля электрической части двигателя одних токовых параметров недостаточно. В диагностический контур дополнительно вводятся показания внешних терморезисторов. Их самостоятельная установка на корпус насосного агрегата является дешевым и технически простым решением по сравнению с монтажом полноценных систем вибромониторинга.

### *Связь дефектов агрегата с измеряемыми параметрами*

Векторная система управления преобразователя частоты непрерывно компенсирует внешние возмущения, поэтому активный ток  $I_q$  становится высокочувствительным индикатором состояния механики. При падении давления на всасывающем

патрубке возникает кавитация. Процесс образования и последующего резкого схлопывания пузырьков пара создает хаотичные высокочастотные пульсации гидравлического сопротивления. Двигатель реагирует на эти микрогидроудары колебаниями момента, что вызывает рост дисперсии активного тока  $I_q$ . Подобным образом проявляется и механический износ. Трещины на дорожках качения подшипников провоцируют кратковременные всплески момента трения. Эти импульсы напрямую влияют на форму тока  $I_q$  [4].

Оценка состояния обмоток базируется на анализе реактивного тока  $I_d$  и тепловых режимов. Ток  $I_d$  отвечает за поддержание магнитного потока. Нарушение симметрии обмоток из-за межвитковых замыканий или старения изоляции искажает магнитное поле. Система управления пытается компенсировать это искажение ненормальным ростом тока  $I_d$ . Возрастание тока увеличивает тепловые потери и вызывает локальные перегревы. Сопоставление электрических аномалий тока  $I_d$  с показаниями температурных датчиков обеспечивает точную постановку диагноза.

#### *Сбор и локальная обработка данных*

Главная проблема при сборе описанных параметров заключается в ограничениях пропускной способности промышленных сетей связи. Непрерывная передача массивов высокочастотных значений тока на верхний уровень диспетчеризации технически невозможна. Задача решается с помощью локальной предварительной обработки данных непосредственно на контроллере насосной станции.

Оборудование осуществляет опрос токов с частотой около 5000 значений в секунду. За время наблюдения длительностью 10 минут контроллер накапливает

массив из 3 миллионов значений. Отправлять такой объем необработанной информации на сервер нецелесообразно. На основе собранного массива микропроцессор локально вычисляет ключевые статистические параметры: математическое ожидание, среднеквадратичное отклонение и дисперсию сигнала. В облако отправляется только полученный компактный набор статистических характеристик ранее рассмотренных диагностических параметров. Описанный метод локальных вычислений существенно снижает нагрузку на каналы связи и сохраняет важную информацию о кратковременных изменениях в работе привода.

#### *Учет режимных характеристик насосной станции*

Точность работы алгоритмов машинного обучения сильно зависит от исходной выборки данных. Повысительная насосная станция функционирует в условиях непрерывно меняющегося суточного водоразбора. Штатные изменения частоты вращения ротора или подключение дополнительных агрегатов в каскад напрямую влияют на электрические и тепловые параметры привода.

Поэтому анализировать токи статора в отрыве от текущего технологического процесса нельзя. Это неизбежно приведет к множеству ложных срабатываний системы диагностики. Резкий рост дисперсии тока  $I_q$  может указывать на реальный зарождающийся механический дефект. Одновременно с этим точно такая же картина может наблюдаться во время обычного переходного процесса при изменении заданного значения давления или изменениях расхода воды. Аналитическая система должна опираться на контекстные данные для исключения подобных ошибок.

Таким образом, формируемый локальным контроллером массив данных делится на две группы. Первая группа включает описанные ранее диагностические признаки. Сюда входят статистические показатели токов  $I_q$  и  $I_d$  совместно с температурой обмоток. Вторая группа содержит режимные характеристики станции. К ним относятся усредненная выходная частота преобразователя, количество работающих насосов на момент измерений и текущее давление в напорном коллекторе. Совместная обработка этих показателей позволяет алгоритмам достоверно отличать нормальные эксплуатационные изменения нагрузки от реальной деградации электромеханического оборудования.

*Классификация технического состояния алгоритмом «Случайный лес»*

Анализ сформированных многомерных массивов данных требует подходящего математического аппарата. Для этой задачи хорошо подходит ансамблевый алгоритм машинного обучения Случайный лес. Суть данного метода заключается в построении множества независимых деревьев решений с последующим усреднением их ответов. Этот алгоритм отличается высокой эффективностью при работе со структурированными табличными данными и демонстрирует хорошую устойчивость к переобучению [5]. В отличие от нейронных сетей глубокого обучения, которые требуют больших вычислительных мощностей, Случайный лес потребляет значительно меньше аппаратных ресурсов контроллера. Кроме того, данный метод позволяет математически оценивать влияние каждого входного параметра, включая токи статора и температуру двигателя, на итоговый результат классификации.

На этапе подготовки модель

обучается на исторических данных нормальной работы станции в разных режимах суточного водоразбора, а также использует доступные профили известных неисправностей. В процессе мониторинга уже сформированный ансамбль деревьев анализирует поступающий вектор признаков: вычисленную статистику токов, температуру обмоток, текущее давление и частоту вращения ротора. Поток данных проходит через узлы ветвления, после чего алгоритм формирует итоговый диагноз исправности системы путем простого голосования большинства деревьев.

Благодаря такому подходу система способна отделять нормальные эксплуатационные изменения технологического процесса от развивающихся дефектов. На рабочее место персонала выводится не абстрактный сигнал о сбое, а конкретная предполагаемая неполадка. Программа в реальном времени указывает на начало износа подшипникового узла, дисбаланс ротора или наличие гидравлической кавитации. Таким образом, ремонтная бригада получает необходимую информацию для локализации проблемы еще до проведения физического осмотра оборудования.

*Интеграция аналитической системы в контур диспетчеризации и управления*

Любой алгоритм машинного обучения приносит реальную пользу только при грамотной интеграции в существующую архитектуру АСУ ТП. Результаты классификации нуждаются в понятной интерпретации на уровне человеко-машинного интерфейса. Обычные SCADA-системы водоснабжающих организаций генерируют аварийные сообщения только при пересечении жестких пороговых уставок диагностических параметров. Это может быть критическое падение давления или тепловая

перегрузка двигателя.

Предиктивная аналитика меняет логику реагирования [2]. Работающий на верхнем уровне диспетчеризации алгоритм формирует комплексное описание технического состояния каждого агрегата. Если система распознает паттерн начальной стадии развития дефекта, аварийного отключения оборудования не происходит. Интерфейс диспетчера просто отображает предупредительное сообщение с указанием вероятной причины аномалии. В качестве диагноза выдается информация об износе подшипника, начале кавитационных процессов или межвитковом замыкании статора.

Такой подход дает инженерным службам запас времени на принятие решений. Обнаружение развивающегося дефекта позволяет заранее сформировать заявку на ремонт и подготовить нужные комплектующие со склада. Вывод агрегата из эксплуатации можно без проблем запланировать на период ночного минимального водоразбора. Именно такая интеграция диагностического модуля делает возможным полноценное предиктивное обслуживание. Снижается потребность в проведении профилактических разборок оборудования и сводится к минимуму риск аварийного отключения станции в часы пиковых нагрузок.

#### *Заключение*

Применение методов машинного обучения для диагностики повысительных насосных станций позволяет оптимизировать эксплуатационные затраты объектов ЖКХ. Анализ внутренних параметров преобразователя частоты совместно с режимными характеристиками станции дает возможность отказаться от дорогих систем вибродиагностики. При этом точность выявления дефектов остается высокой.

Двухуровневая архитектура с

локальной обработкой данных решает проблему узкой пропускной способности промышленных сетей связи. Аналитическая система получает готовую выборку статистических параметров для дальнейшей их обработки алгоритмом классификации. Внедрение предложенного метода на базе алгоритма «Случайный лес» позволяет водоснабжающим организациям обоснованно увеличить интервалы между плановыми проверками. Оценка фактического состояния агрегатов снижает количество лишних выездов ремонтных бригад. В результате общая надежность систем водоснабжения многоквартирных зданий возрастает, и экономическая эффективность увеличивается.

#### **Библиографический список**

1. Терехов В.М., Осипов О.И. Системы управления электроприводов / В.М. Терехов, О.И. Осипов. – М.: Академия, 2005. – 304 с.
2. Виноградчий К. А. Диагностирование асинхронного двигателя с помощью деревьев решений по имитационной модели / К. А. Виноградчий, А. Диб, Ю. Н. Кожубаев, В. Н. Хохловский // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2022. – Т. 65, № 7. – С. 490-499.
3. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным управлением / Г.Г. Соколовский. – М.: Академия, 2006. – 265 с.
4. Петухов В.С., Соколов В.А. Диагностика состояния электродвигателей на основе спектрального анализа потребляемого тока // Новости электротехники. – 2005. – № 1(31). – С. 50-52.
5. Флах П. Машинное обучение. Наука и искусство построения алгоритмов, которые извлекают знания из данных / П. Флах. – М.: ДМК Пресс, 2015. – 400 с.

б. Карелин В. Я. Насосы и насосные станции: учебник для вузов / В. Я. Карелин,

А. В. Минаев. – М.: Бастет, 2010. – 448 с.

#### Информация об авторах

**Архипенко Михаил Сергеевич** – студент, Воронежский государственный технический университет (394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84), e-mail: amsvstu@gmail.com

**Архипенко Роман Сергеевич** – студент, Воронежский государственный технический университет (394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84), e-mail: roman26vstu@gmail.com

**Смолянинов Андрей Викторович** – кандидат технических наук, доцент кафедры систем управления и информационных технологий в строительстве, Воронежский государственный технический университет (394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84), e-mail: a.v.smolyanino@yandex.ru

#### Information about the author

**Mikhail S. Arkhipenko** – student, Voronezh State Technical University (84, 20 let Oktyabrya str., Voronezh, 394006, Russia), e-mail: amsvstu@gmail.com

**Roman S. Arkhipenko** – student, Voronezh State Technical University (84, 20 let Oktyabrya str., Voronezh, 394006, Russia), e-mail: roman26vstu@gmail.com

**Andrei V. Smolianinov** – candidate of technical Sciences, associate Professor of the Department of control systems and information technologies in construction, Voronezh state technical University (84, 20 let Oktyabrya str., Voronezh, 394006, Russia), e-mail: a.v.smolyanino@yandex.ru

УДК 004.67

## ЦИФРОВИЗАЦИЯ И РАЗВИТИЕ БОЛЬШИХ ДАННЫХ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Ю.А. Стукальская<sup>1</sup>, Н. В. Марченко<sup>1</sup>, Д.В. Капацын<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Воронежский государственный технический университет

**Аннотация:** В статье рассматриваются процессы цифровизации и развития технологий больших данных в сфере сельского хозяйства. Цифровая трансформация в сельском хозяйстве позволяет автоматизировать процессы производства, повысить эффективность использования ресурсов. Большие данные и искусственный интеллект активно используются для анализа данных в аграрной области, а также для мониторинга состояния почвы, растений и животных.

**Ключевые слова:** большие данные, сельское хозяйство, информационная инфраструктура, умное сельское хозяйство, технический маршрут, информационные технологии, айти.

## DIGITALIZATION AND THE DEVELOPMENT OF BIG DATA IN AGRICULTURE

Y.A. Stukalskaya<sup>1</sup>, N. V. Marchenko<sup>1</sup>, D.V. Kapatsyn<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Voronezh state technical University

**Abstract:** The article discusses the processes of digitalization and the development of big data technologies in the field of agriculture. Digital transformation in agriculture allows for the automation of production processes and the improvement of resource efficiency. Big data and artificial intelligence are actively used for data analysis in the agricultural sector, as well as for monitoring the condition of soil, plants, and animals.

**Keywords:** big data, agriculture, information infrastructure, smart agriculture, technical route, information technology, IT.

Почти каждый человек в своей повседневной жизни использует информационные технологии. Цифровизация позволила людям автоматизировать ряд задач, которые до этого выполнялись вручную. С каждым годом количество информации растёт,

из - за чего возникает потребность в их обработке. В связи с этим развилось отдельное направление - инженерия больших данных [1]. Самое распространенное определение больших данных - набор информации, превосходящий в некоторых случаях более

150 гигабайт в сутки, и который нельзя обработать классическими средствами [2].

Одно из важных направлений в области big data - сельское хозяйство, так как с каждым годом количество потребляемой и экспортируемой продукции растет, а объем производства движется с более медленным темпом. Большие данные в сельском хозяйстве и технологии для их анализа превратились в отдельный тип современного сельскохозяйственного производства, позволяющего аграрным специалистам получать новые знания, отслеживать рост и развитие растений, создавать удобрения и увеличивать объем производства [3]. Чтобы изучать инфраструктуру, используют разные технические средства. Это оборудование для сбора данных, системы для хранения информации и мощные компьютеры для обработки этой информации.

Также постепенно улучшают системы мониторинга, передачи данных и всё цифровое вокруг сельского хозяйства. Очень важным стало расширение быстрого интернета в деревнях. Благодаря этому данные передаются быстрее, а работу специалистов делать легче. Всё это помогает делать сельское хозяйство эффективнее [4].

Кроме того, было создано большое количество сельских сетевых коммуникаций и прикладных терминалов для обработки данных. С конца 2024 года в России началась подготовка к запуску новых и настройке старых спутников для сельского хозяйства. Спутники наблюдения с высоким разрешением позволяют точно отслеживать состояние посевов, предупреждать о предположительных проблемах и анализировать общее состояние объектов [5].

Что касается наземных датчиков Интернета вещей, то был произведен ряд недорогих и практичных сельскохозяйственных

датчиков, охватывающих метеорологию, данные о почве, водные объекты, информацию об особенностях растений и условиях их роста, распознавание поведения животных, их физиологическую и биохимическую информацию и т.д. Новые открытия и общее развитие этой сферы сыграли важную роль в мониторинге сельскохозяйственной информации и сборе данных.

Постепенно сформировались цифровые сельскохозяйственные технологии “Небо и земля”, и была создана интегрированная система наблюдения за счет комплексного использования аэрокосмического, авиационного дистанционного зондирования и наземного Интернета вещей. Это позволило достигнуть высокоточного и непрерывного сбора информации во времени и пространстве [6].

Система сбора больших данных в сельском хозяйстве продолжает развиваться. Для этого используют Интернет вещей, мобильную связь и умные устройства, которые помогают получать информацию с полей, ферм и складов. Одновременно создаются отраслевые базы данных, в которых аккумулируется важная информация, а информационные платформы аграрного рынка охватывают основные направления, такие как зерно, хлопок, сахар, масла, продукцию животноводства и птицеводства, а также овощи и фрукты. Каждый день сюда поступают новые сведения, что делает анализ данных более точным и помогает принимать обоснованные решения [3].

Особое развитие в России за последние годы переживает искусственный интеллект, который активно внедряется в сельское хозяйство. Его использование позволяет быстрее обрабатывать большие объемы данных и выявлять сложные закономерности, которые трудно определить

вручную. Эти технологии применяются на всех этапах — от производства и хранения до перевозки и сбыта продукции, что способствует повышению точности прогнозов и улучшению управления процессами [7]. В рамках этого также формируется новая инфраструктура: в сельской местности создаются центры обработки данных, расширяются сети связи и внедряются современные датчики. Всё это создает прочную техническую основу для широкого применения больших данных и искусственного интеллекта в аграрной сфере.

Искусственный интеллект активно применяется и в сельскохозяйственной селекции. Используя методы анализа данных, нейронные сети и глубокое обучение вместе с биотехнологиями, ученым удается быстрее находить важные генетические особенности растений, улучшать сорта и значительно ускорять процесс селекционной работы [7].

С точки зрения управления сельскохозяйственным производством, анализируется и обрабатывается большой объем

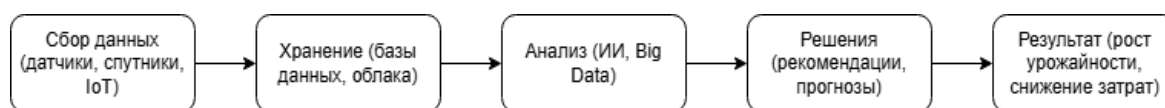


Рис. 1. Этапы применения технологий больших данных в сельском хозяйстве

Также благодаря искусственному интеллекту осуществляется мониторинг рынка сельскохозяйственной продукции. Техническая система сбора, анализа, публикации отчетов и обслуживания информации всей цепочки производства предоставляет эффективные услуги рыночной информации для увеличения продаж и концентрации внимания на определенных сортах растений или видах животных [8].

Развитие цифровой инфраструктуры в агропромышленном комплексе на текущем

этапе сопровождается рядом системных проблем. В ряде регионов функционирование сетевых коммуникаций характеризуется нестабильностью и низкой скоростью передачи данных, что создает технические барьеры для внедрения инноваций. Дополнительным препятствием выступает недостаточный уровень цифровой грамотности кадров, ограничивающий эффективность эксплуатации современных технологических решений. Дефицит специалистов, обладающих компетенциями в области

анализа данных и обучения алгоритмов искусственного интеллекта, существенно замедляет интеграцию интеллектуальных систем в сельскохозяйственное производство.

Для преодоления указанных барьеров необходима организация опережающей подготовки высококвалифицированных кадров и выстраивание механизмов взаимодействия между образовательными учреждениями различного уровня и представителями агробизнеса. Подобная синергия призвана ускорить темпы цифровой трансформации и обеспечить рост конкурентоспособности отрасли. При этом фундаментальной проблемой остается сохраняющийся цифровой разрыв между городскими и сельскими территориями. Эмпирические данные подтверждают, что лишь незначительная часть животноводческих предприятий имеет доступ к оптоволоконным линиям связи, а использование специализированных информационных систем для оперативного управления производственными процессами носит ограниченный характер [9,10].

При этом для многих сельскохозяйственных предприятий скорость сети не может удовлетворить потребности современных аграрных приложений. Низкий уровень подключения к Интернету и плохое качество сигнала серьезно ограничивают распространение интеллектуальных сельскохозяйственных технологий.

Следующей значимой трудностью является недостаточная способность к сбору, анализу и применению сельскохозяйственных данных. Существующие цифровые сервисы и данные работают разрозненно, что ограничивает возможности для комплексного анализа информации из различных источников, таких как спутниковый мониторинг и данные с полевых датчиков.

Наблюдается серьезный разрыв в области локализованных сенсорных технологий, ощущается нехватка цифровых, интеллектуальных и миниатюрных продуктов. Возможности анализа и использования данных на данный момент ограничены: многие системы мониторинга больших данных остаются на уровне сбора, первичной обработки и визуализации информации. При этом предприятия, которые работают с мелкими фермерскими хозяйствами, зачастую не имеют собственных инструментов для разработки платформ и проведения анализа данных. Существуют и серьезные барьеры для обмена данными. Много данных защищены как коммерческая тайна, и законы про обмен информацией пока слабые. Из-за этого полезная информация теряется и её не всегда можно применять для умного сельского хозяйства. Также присутствует отставание в фундаментальных исследованиях и новых технологиях. Особенно это заметно на примере Интернета вещей в сельском хозяйстве: датчики для животных и растений, системы сбора данных и чипы для искусственного интеллекта [11].

Также сохраняется разрыв между современными вычислительными платформами, архитектурами распределенных вычислений и мировым уровнем развития технологий. По этой причине влияние решений в области больших данных и всей цифровой экосистемы пока остается ограниченным [12]. Поскольку внедрение современных агротехнологий напрямую связано с развитием базовой IT-инфраструктуры, необходимо постепенно увеличивать инвестиции в исследования и разработки.

Также сохраняется важная проблема нехватки квалифицированных кадров. Сильно ощущается дефицит старших специалистов в области сельскохозяйственных

больших данных. Из-за отсутствия профессионального персонала по обработке и анализу огромные объемы данных остаются в «спящем» состоянии и не находят глубокого применения. Также недостает междисциплинарных специалистов, которые совмещали бы знания в компьютерных науках и агрономии. Информационные команды на местах часто не имеют достаточной квалификации, регулярного обучения и финансовой поддержки, что делает их нестабильными и не соответствующими вызовам нового времени [13].

Технологическое развитие происходит стремительно: появляются новые алгоритмы, обновляются платформы, возникают инновационные подходы к анализу данных. Актуальность сельскохозяйственных данных крайне ограничена во времени. Данные о состоянии почвы за прошлый сезон или исторические цены на удобрения, не проанализированные вовремя, стремительно теряют свою актуальность и практическую полезность. Пока эти массивы информации лежат невостребованными, теряется возможность принимать оптимальные решения в реальном времени. Нестабильность низовых команд также имеет кумулятивный временной эффект. Высокая текучесть кадров приводит к постоянно потере накопленного опыта и локальных знаний. В результате на местах формируется хроническое отставание, и даже при появлении финансирования и технологий не находится людей, способных их быстро и эффективно интегрировать в рабочий процесс. Возникает замкнутый круг: нехватка квалифицированных кадров тормозит внедрение цифровых технологий, что в итоге создает непривлекательную среду для молодых специалистов.

#### Библиографический список

1. Майер-Шенбергер Виктор, Кукьер Кеннет. Большие данные. Революция, которая изменит то, как мы живем, работаем и мыслим. - М.: Изд-во «МИФ», 2013. С. 20 - 42.
2. А. В. Макшанова, Л. Н. Тындыкаря «Большие данные. Big Data. Учебник для вузов», 2023 г. С. 18 - 34.
3. GMInsights / аналитический отчет по рынку агротехнологий (agritech/AI in agriculture) - рыночные оценки роста платформ/IoT/ИИ 2024 - 2032 - <https://www.gminsights.com/industry-analysis/agritech-platform-market>
4. Невзоров А.С. «Экосистема для анализа больших данных в сельском хозяйстве» 2023 г. С. 221 - 234.
5. Статья «Спутники следят за посевами» 2024 г. - <https://new.ras.ru/activities/news/sputniki-sledyat-za-posevami/?ysclid=mgqscapobz190175201>
6. Михайленко И.М., Якушев В.П. «Дистанционное зондирование земли в сельском хозяйстве». - Вестник российской сельскохозяйственной науки, №6 2016 г., С. 12-16.
7. Алферьев Д.А. «Искусственный интеллект в сельском хозяйстве». Том 1, №4, 2018 г. С. 70 -104.
8. Статья «Цифровые платформы в агробизнесе: технологическая основа» - <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovye-platformy-v-agrobiznese-tehnologicheskaya-osnova-vzaimovыgodnogo-vzaimodeystviya-igrokov-gynka?ysclid=mgqsvmu9j4467189436>
9. Бессонов Е.А., Четвертков В.В. "Цифровое неравенство в сельской местности: проблемы и решения" // АПК: Экономика, управление. - 2023. - № 5. - С. 34-45
10. Федеральная служба

государственной статистики (Росстат). Индикаторы цифровой экономики: 2023: Стат. сб. - М.: Росстат, 2023. - 187 с.

11. Алексеева М.К. "Перспективы развития систем мониторинга в животноводстве" // Вестник аграрной науки. - 2023. - №2. - С. 34-40.

12. Статья (пер. с англ.) FAO. 2022. «Состояние продовольствия и сельского хозяйства в 2022 году. Использование автоматизации сельского хозяйства для

преобразования агропродовольственных систем»

<https://www.fao.org/newsroom/detail/FAO-state-of-food-and-agriculture--SOFA-2022-automation-agrifood-systems/en>.

13. В.Ф. Федоренко, Н.П. Мишуров, Д.С. Буклагин, В.Я. Гольяпин, И.Г. Голубев. Цифровое сельское хозяйство: состояние и перспективы развития. - М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. - 316 с.

#### Информация об авторах

**Стукальская Юлия Александровна** – старший преподаватель базовой кафедры кибернетики в системах организационного управления, Воронежский государственный технический университет (394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20 лет Октября, 84), e-mail: [ustukalskaya@cchgeu.ru](mailto:ustukalskaya@cchgeu.ru)

**Марченко Николай Викторович** – студент базовой кафедры кибернетики в системах организационного управления, Воронежский государственный технический университет (394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20 лет Октября, 84), e-mail: [marchenkokoly2004@mail.ru](mailto:marchenkokoly2004@mail.ru)

**Капачын Данила Владимирович** – студент базовой кафедры кибернетики в системах организационного управления, Воронежский государственный технический университет (394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20 лет Октября, 84), e-mail: [danilakapacyn@gmail.com](mailto:danilakapacyn@gmail.com)

#### Information about the author

**Yulia A. Stukalskaya** – senior lecturer at the Department of Cybernetics in Organizational Management Systems, Voronezh State Technical University (394006, Russia, Voronezh, 20 years of October, 84), e-mail: [ustukalskaya@cchgeu.ru](mailto:ustukalskaya@cchgeu.ru)

**Nikolai V. Marchenko** – student at the Department of Cybernetics in Organisational Management Systems, Voronezh State Technical University (394006, Russia, Voronezh, 84 20 Let Oktyabrya Street), e-mail: [marchenkokoly2004@mail.ru](mailto:marchenkokoly2004@mail.ru)

**Danila V. Kapatsyn** – student at the Department of Cybernetics in Organisational Management Systems, Voronezh State Technical University (394006, Russia, Voronezh, 84 20 Let Oktyabrya Street), e-mail: [danilakapacyn@gmail.com](mailto:danilakapacyn@gmail.com)

УДК 004.934

## ГЕНЕРАЦИЯ РАЗМЕТКИ НОТ ВОКАЛА С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННОЙ СЕТИ НА БАЗЕ АРХИТЕКТУРЫ TRANSFORMER

И.И. Кашцев <sup>1</sup>, И.В. Замятин <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Воронежский государственный университет

**Аннотация:** В статье представлена нейросетевая модель MonoVocNT для монофонической транскрипции вокальных партий, построенная на архитектуре Transformer. Рассматривается задача автоматического извлечения нот (высота, начало, конец) из аудиозаписи с голосом. Модель преобразует CQT-спектрограмму в последовательность переходов между нотами через авторегрессионный механизм: кодировщик обрабатывает сегменты CQT, декодер генерирует токены переходов, а итоговый вектор нотной активности восстанавливается посредством алгоритма динамической трансформации DTW на матрице внимания. Экспериментальные результаты показали, что модель превосходит базовое решение BasicPitch по метрике Dice и ранее предложенную архитектуру UnetBeats по показателю TER, однако уступает UnetBeats по Dice, что связано с различиями в характере ошибок Transformer- и U-Net-архитектур. Обсуждаются особенности полученных результатов и направления дальнейшего улучшения модели.

**Ключевые слова:** автоматическая транскрипция музыки, машинное обучение, трансформер, матрица внимания, динамическая трансформация временной шкалы.

## VOCAL NOTE ANNOTATION GENERATION USING A TRANSFORMER-BASED NEURAL NETWORK

I.I. Kashcheev <sup>1</sup>, I.V. Zamyatin <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Voronezh State University

**Abstract:** The paper presents MonoVocNT, a neural network model for monophonic vocal transcription based on the Transformer architecture. The study addresses the task of automatic extraction of note events (pitch, onset, and offset) from vocal audio recordings. The proposed model converts a CQT spectrogram into a sequence of note transitions using an autoregressive mechanism: the encoder processes CQT segments, the decoder generates transition tokens, and the resulting note activity vector for the segment is reconstructed using the Dynamic Time Warping (DTW) algorithm applied to the attention matrix. Experimental results demonstrate that the proposed model outperforms the baseline BasicPitch system in terms of the Dice metric and the previously proposed UnetBeats architecture in terms of TER, while underperforming UnetBeats on the Dice metric due to differences in the error characteristics of Transformer- and U-Net-based architectures. The paper discusses the observed results and outlines directions for further model improvement.

**Keywords:** automatic music transcription, machine learning, transformer, attention matrix, dynamic time warping (DTW).

## Введение

Монофоническая разметка нот вокала – это один из видов задач предсказания высот в аудиозаписи, в котором частоты и зоны активности представлены в виде отдельных нот, что имеют начало, конец, высоту и не могут пересекаться между собой по времени. На момент 2026 года в открытом доступе нет моделей или алгоритмов, что способны его решать.

Как это было описано в [1], в качестве базового готового решения можно использовать модель генерации полифонической разметки BasicPitch [2] от Spotify в связке с моделью извлечения вокала BS-Roformer [3]. Также в этой работе задача была сформулирована как задача сегментации, и для её решения была предложена новая модель на базе архитектуры Unet – UnetBeats.

Она выполняет практически полное покрытие нот по длительности и по метрике Dice превзошла результаты базового решения BasicPitch. Однако при оценке человеком было выяснено, что модель склонна пропускать короткие паузы, тем самым соединяя несколько нот в одну. Было выдвинуто предположение, что это происходит из-за ограничений архитектуры Unet, что на этапах сжатия и расширения данных может терять информацию на уровне пары пикселей. В связи с этим

потребовалось изучение возможностей решения задачи в виде преобразования последовательности в последовательность с помощью модели на базе архитектуры Transformer.

### Первичная подготовка данных

Для обучения новой модели использовались те же данные и этапы первичной подготовки, что и в [1]. Это все английские песни с сайта UltraStar Espana [4], которые прошли следующие шаги:

1. Удаление из состава караоке песни неиспользуемых в обучении картинок и видео.
2. Получение аудиозаписи с выделенным вокалом через упомянутую ранее модель BS-Roformer.
3. Сдвиг октав с оценкой результатов через сравнение ожидаемой разметки с контуром высот песни.
4. Фильтрация песен по показателю точности совпадения ожидаемой разметки и контура высот.
5. Разделение данных на обучающую, валидационную и тестовую выборку в составе 70 %, 10 % и 20 % от общего числа соответственно.

В итоге для обучения было подготовлено около 4000 песен, для валидации около 400, для теста 800. Выборки не пересекаются между собой по исполнителям.

Модель

Была разработана новая модель MonoVocNT (Monophonic Vocal Notes Transcriber), схема которой представлена на рис. 1.

Как и в UnetBeats, аудиозапись выделенного вокала преобразуется в CQT-спектрограмму через Constant Q Transform [5] алгоритм. Полная CQT требует много ресурсов для обработки, поэтому она подаётся на модель по сегментам.

MonoVocNT – это авторегрессионный трансформер, состоящий из инкодера и декодера. Инкодер принимает сегмент CQT, к полутонам в рамках каждого фрейма применяется позиционный эмбединг, определяемый в процессе обучения. После этого фреймы проходят через двуслойное MLP, что переводит полутона в размер скрытого представления модели, например, 64, 128

или 256. Далее применяется синусоидный позиционный эмбединг уже к самим фреймам, чтобы выразить зависимость между ними. На этом этапе данные подаются на стандартные слои инкодера с самовниманием, как в оригинальном трансформере [6].

Декодер выполняет потоковую генерацию вектора переходов между нотами. При предсказании каждого токена происходит применение к текущей последовательности обучаемого позиционного эмбединга и подача на стандартные слои декодера с самовниманием и кросс вниманием на результат работы инкодера. На выходе получаем логиты нового токена, из которых можно определить его значение. На этом моменте заканчивается обработка данных моделью, но не получен конечный результат.

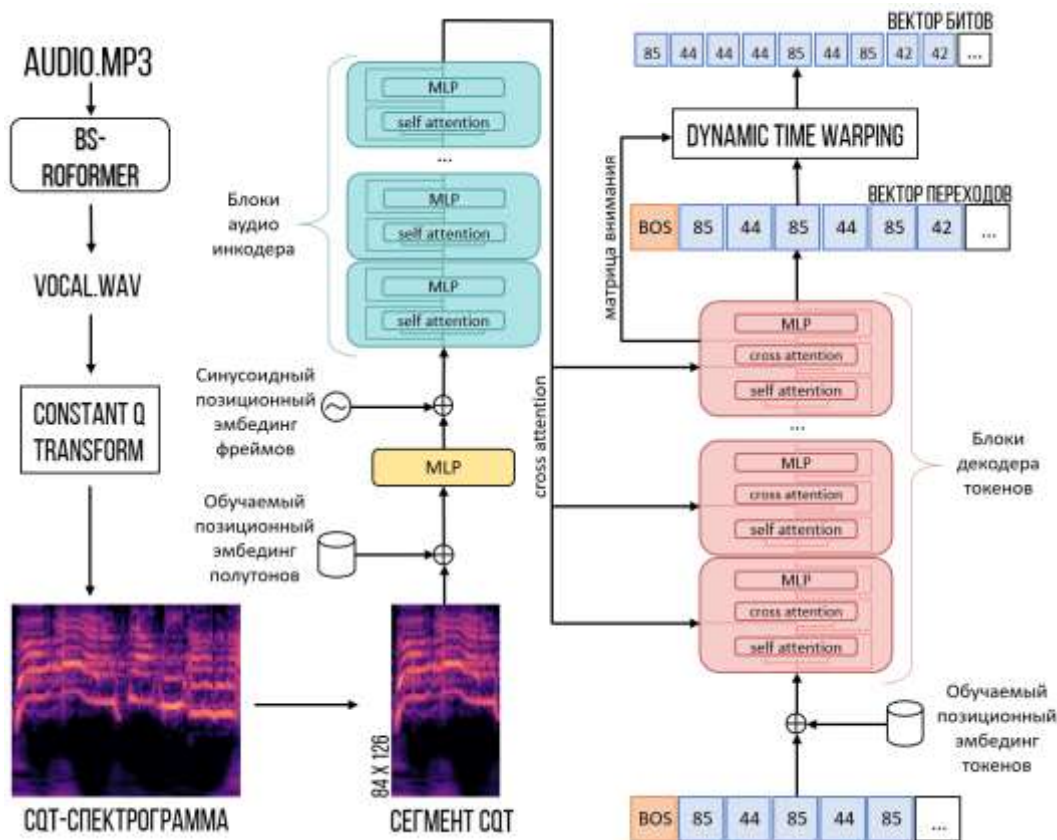


Рис. 1. Схема модели MonoVocNT

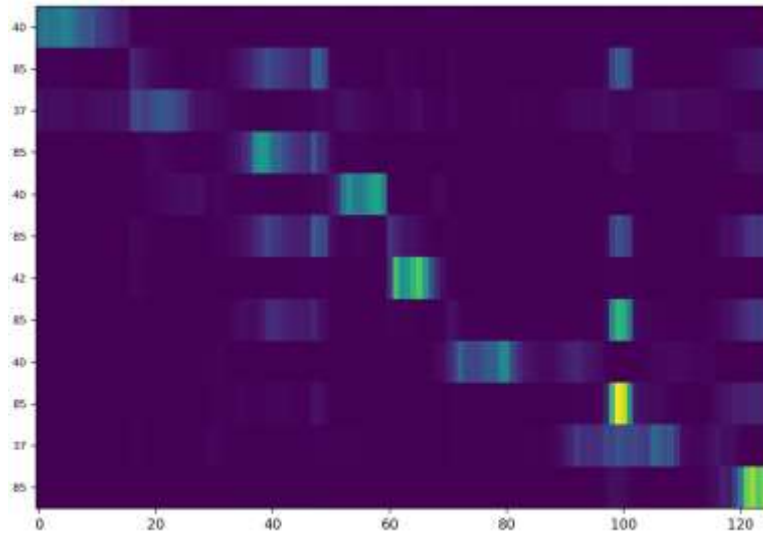


Рис. 2. Пример матрицы внимания. Чем ярче участки, тем выше значение

При генерации очередного токена каждая голова внимания в кросс внимании декодера по механизму query-key-value получает вектор внимания, равный по размеру длине последовательности с инкодера. Его значения – коэффициенты для взвешенной суммы value-элементов последовательности, которые выражают, на какой элемент стоит обратить больше внимание (чем выше значение, тем сильнее будет влиять на сумму). Если со всей предсказанной последовательности собрать эти векторы в матрицу, то будет получена матрица внимания (рис. 2)

Так как голов обычно несколько, то также должно приниматься решение об использовании информации от них. Это может быть усреднение, агрегация по максимуму или использование одной из них. В этой работе в процессе экспериментов было принято решение использовать только первую голову внимания для построения матрицы. Также дополнительно проводился эксперимент с обучением модели с одной головой в декодере, чтобы не выполнять этот выбор. Оценку качества такого варианта можно увидеть в разделе

результатов.

После того, как получен итоговый вектор переходов, из него и матрицы внимания с последнего слоя декодера получаем вектор битов через алгоритм Dynamic Time Warping [7], как это делали в Whisper-timestamped [8].

DTW – это алгоритм динамического программирования, для вычисления минимального расстояния (разницы) между двумя сигналами. В оригинальной постановке задачи его шаги можно описать так:

1. Оба сигнала заданы как набор точек. Строят матрицу расстояний от каждой точки первого сигнала до каждой точки второго. Расстояние – разница значений. Количество точек одного сигнала может не соответствовать количеству точек второго.

2. Первый сигнал протекает от первой точки к последней, последовательность сменяющихся значений не может нарушаться, поэтому для движения по матрице накладываются ограничения: можно передвигаться либо вправо по горизонтали (ещё одна точка второго сигнала сопоставляется точке первого), либо по диагонали (обработка текущей точки первого сигнала

завершается, происходит переход к следующей).

3. По разрешённым направлениям движения выполняется прямой проход по матрице расстояний с выбором на каждом шаге минимального из вариантов текущих путей, в результате чего получаем матрицу накопленной стоимости.

4. В элементе последней строки и последнего столбца матрицы накопленной стоимости получаем итоговое расстояние между сигналами.

5. Если по обратному проходу восстановить построенный минимальный путь, то будет получен вариант изменённого первого сигнала, что наиболее близкий ко второму.

Если вместо первого сигнала использовать предсказанный вектор переходов, а вместо матрицы расстояний использовать матрицу внимания, то будет получен вектор битов, что соответствует оптимальному выравниванию последовательности по матрице внимания.

#### Подготовка пар вход-выход

Подготовка пар вход-выход для модели во многом повторяет шаги из [1], но также имеет дополнительные этапы и особенности:

1. Аудиозапись извлечённого вокала загружается с частотой дискретизации 22050 Гц, сводится к моно-сигналу и нормализуется по громкости через деление на максимальную амплитуду.

2. Из полученного сигнала происходит преобразование в CQT с частотой 22050 Гц, размером окна 525, минимальной частотой 37.2 Гц (24-я нота по midi) и следующими за ней 84 полутонами. При таких настройках частоты и размера окна одна секунда сигнала в виде спектрограммы соответствует 42 фреймам.

3. Чтобы CQT могла быть нацело поделена на сегменты, выполняется паддинг с конца нулевыми столбцами, что соответствует полной тишине.

4. Из караоке файла выполняется парсинг разметки, получая для каждой ноты начало, конец и высоту. Шаг разметки изменяется таким образом, чтобы в одной секунде было 42 бита, для полного соответствия CQT. Из всех нот получаем один общий вектор битов всей песни. Если его размер не достигает размера CQT, то дополняется в конце значениями, обозначающими тишину.

5. Далее выполняется деление и CQT, и вектора на сегменты длины 3 секунды (126 элементов).

6. Вектор битов сегмента преобразуется в вектор переходов за счёт поиска в нём элементов, не равных следующим. Если последовательности не содержит смены значений, то вектор переходов состоит из одного элемента.

7. К вектору переходов в начало добавляется токен начала последовательности, в конец токен конца. Так как обучение выполняется по группам примеров (батчи), то все векторы должны быть одного размера – вектор переходов дозаполняется в конце токенами паддинга до целевого размера.

В итоге пара вход-выход – это сегмент CQT 84 полутона на 126 фреймов и вектор переходов со служебными токенами.

#### Обучение модели

При обучении использовался оптимизатор AdamW, потери вычислялись через функцию кросс энтропии. Данные подавались на модель батчами размера 512 элементов.

Шаг обучения динамический – постепенно поднимается от нуля до максимального за первые 10% шагов от общего числа

и далее линейно снижается до нуля к последней эпохе. Максимальный шаг обучения  $5e-4$ , максимальное количество эпох – 100. Сохраняются только те веса, что по метрикам показали на валидации результат лучше, чем предыдущий сохранённый. Для оценки результатов в процессе обучения использовалась метрика TER (token error rate). Так как для этой метрики отсутствует эффективная батчевая реализация, чтобы сэкономить время, подсчёт на обучении и на валидации производился каждые 10 эпох.

Как и в [1], при обучении использовалась аугментация по времени – деление на сегменты с половинным наслоением, и аугментация по высотам – с заданной вероятностью при использовании пары вход-выход выполнялся сдвиг в пределах 5 полутонов как в сегменте CQT, так и в векторе переходов.

Модели и цикл обучения были реализованы на основе фреймворка PyTorch. Обучение происходило на системе, состоящей из Intel Core i5-10400F, SSD 1ТБ, оперативной памяти 64 ГБ и GPU Nvidia Geforce RTX 3090 24 ГБ. Обработка одной эпохи занимала около 7 минут.

Метрики оценки

Для оценки результатов на тестовой выборке использовались метрики Dice и Таблица 1 Результаты MonoVocNT моделей

Имя модели	Параметры	Dice	TER
BasicPitch	17 тыс.	0.42	-
UnetBeats32	2 млн.	0.624	0.343
MonoVocNT 64 4444	2 млн.	0.532	0.309
MonoVocNT 128 4444	5 млн.	0.552	0.267
MonoVocNT 128 8444	7 млн.	0.548	0.236
MonoVocNT 256 4444	12 млн.	0.556	0.211
MonoVocNT 256 4441	12 млн.	0.509	0.242

TER для сгенерированных последовательностей целых песен.

Чтобы вычислить Dice полученный вектор битов всей песни переводился в бинарную матрицу, состоящую из нулевых столбцов для тишины и one-hot столбцов для элементов со значимой нотой. Метрика позволяет оценить покрытие нот и сравнить результаты с базовым решением и ранее предложенным Unet.

TER – это классическая метрика в предсказании последовательностей, выражающая расстояние между предсказанной и ожидаемой последовательностью. В этой задаче используется для оценки качества предсказания нот как очереди играющих высот.

Результаты и их обсуждение

В табл. 1 представлены результаты по серии моделей MonoVocNT. Основным изменяемым параметром являлась общая размерность модели, но также есть варианты с изменением числа слоёв инкодера и числа голов у декодера. Запись 256 8441 обозначает модель с размером скрытого представления 256, 8 слоёв инкодера с 4 головами и 4 слоя декодера с 1 головой.

Таблица также содержит для сравнения результаты референсного BasicPitch и лучшей из Unet подхода модели UnetBeats32.

Как демонстрировалось в [1], для

текущей задачи приемлемые значения Dice

начинаются с 0.4, поэтому все модели показали хороший результат.

Если делать выводы только по метрике Dice, то все модели архитектуры Transformer уступают Unet, однако если оценить на слух, то результат воспринимается более качественным у трансформеров. Поэтому для сравнения была дополнительно получена метрика TER у Unet (через преобразование маски в последовательность переходов). Подсчет TER у BasicPitch не производился, так как нет однозначного способа преобразования полифонии в монофонию.

Среди трансформеров лучшим оказалась модель MonoVocNT 256 4444, как по Dice, так и по TER.

Упомянутый ранее эксперимент с одной головой внимания в декодере не показал положительных результатов. При таком подходе действительно не нужно принимать решение по выбору информации с голов, так как она одна, но предсказания проседают по качеству. TER держится примерно на уровне MonoVocNT 128 8444, а Dice падает меньше, чем у самой маленькой из рассмотренных моделей серии.

Имея информацию по метрике TER,

можно прийти к выводу, что оба подхода являются применимыми, но у каждого из них есть свои сильные и слабые стороны. Unet может пропускать или соединять ноты, из-за чего страдает последовательность переходов. Трансформер же хорошо предсказывает последовательность, но может теряться длительность нот. Это происходит из-за того, что у Unet через функции потерь оптимизируется покрытие (Dice) и переходы генерируются как получится, а у MonoVocNT моделей наоборот. Поэтому в качестве дальнейшего исследования могут быть рассмотрены доработки по переустройству обучения, что добавят Unet оптимизацию последовательностей высот, а трансформеру оптимизацию покрытия.

На рис. 3-5 приведён пример генерации разметки для одного сегмента CQT моделями BasicPitch, UnetBeats32 и MonoVocNT 256 4444. В качестве примера он был подобран специально, чтобы продемонстрировать основные особенности моделей. На рисунках на фоне CQT, зелёное – совпадение предсказанного и ожидаемого, красное – лишнее от предсказанного, жёлтое – непокрытое ожидаемое.

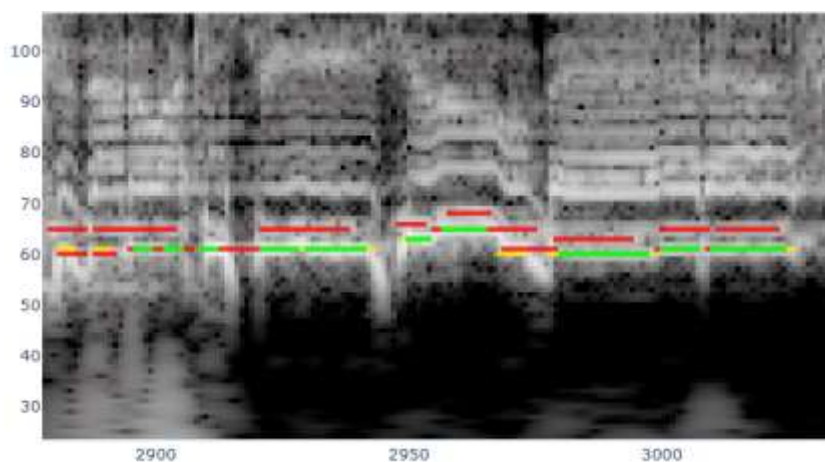


Рис. 3. Пример разметки нот от BasicPitch

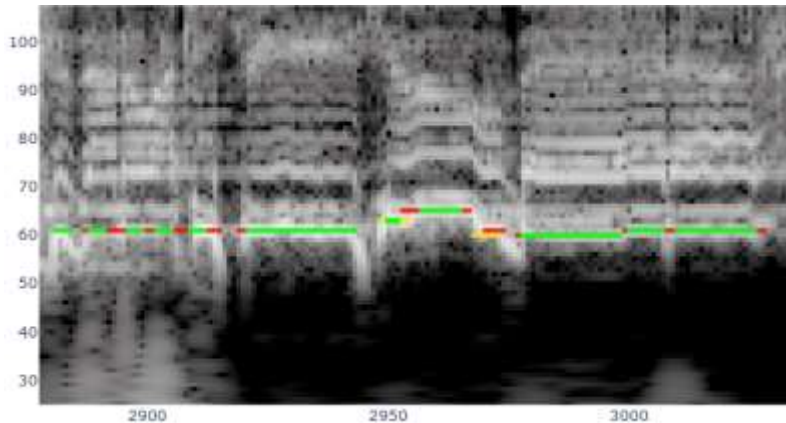


Рис. 4. Пример разметки нот от UnetBeats32

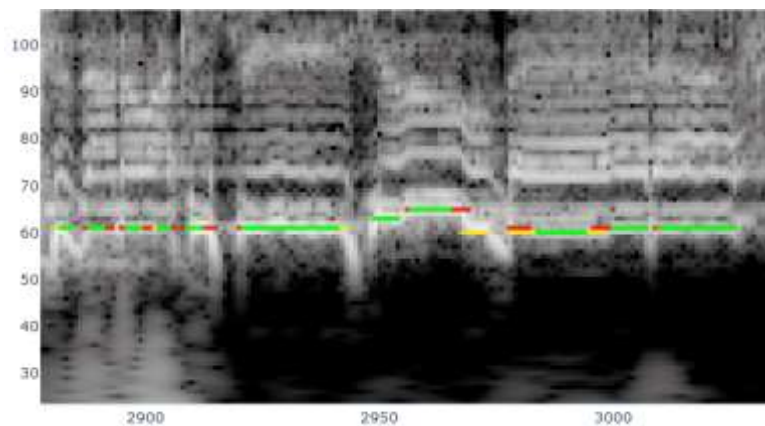


Рис. 5. Пример разметки нот от MonoVocNT 256 4444

Предсказание выполнено с полифонией, на 2900 две ноты предсказаны как одна. С 2915 и до 2930 модель сгенерировала как одну ноту, несмотря на достаточно длинную паузу. Конкретно в 2930 BasicPitch сделал короткую паузу, которая относится к проблеме “слипшихся нот” – причин для паузы нет, скорее всего, она возникла из-за особенности эвристического предсказания границ. В остальном попадания и паузы есть, основная мелодическая линия сохраняется

Первая нота предсказана идеально, но сразу за ней 4 маленькие ноты соединены в одну большую. Такая же проблема с короткой паузой между двумя последними нотами. С небольшим промахом ноты покрыты полностью по длительности.

Первые 5 маленьких нот предсказаны корректно с небольшим сдвигом – все ноты и паузы сохранены. Примерно с 2975 по 3000 модель правильно предсказала переходы: нота, пауза, нота на 5 полутонов ниже, пауза, нота на полутон ещё ниже, пауза, нота на полутон выше. Однако подвёл DTW – конец ноты растянулся, далее избыточно длинная пауза и сдвинутые вправо ноты. Итого у ноты на 2990 нет примерно половины длительности.

#### Заключение

В результате исследования был сформулирован, реализован и оценён Transformer подход решения задачи монофонической разметки нот вокала. Все модели серии MonoVocNT превзошли базовое решение, но в некоторых характеристиках

уступили описанному ранее UnetBeats.

Unet подход выполняет более полное покрытие нот по длительности, но может терять ноты. У варианта через Transformer наблюдается противоположная ситуация. Таким образом, для решения задачи могут использоваться оба подхода, в зависимости от того, что важнее.

В качестве дальнейшего исследования можно перестроить свёрточный вариант модели по примеру BasicPitch, чтобы не терять переходы нот, или ввести дополнительный механизм в трансформер, для оптимизации предсказываемых длительностей нот.

### Библиографический список

1. Кашеев И. И. Генерация разметки нот вокала с помощью нейронной сети на базе архитектуры Unet / И. И. Кашеев // Математика, информационные технологии, приложения: Сборник трудов Межвузовской научной конференции молодых ученых и студентов, Воронеж, 23–24 апреля 2026 года. – Воронеж: Издательско-полиграфический центр "Научная книга", 2026.

2. Bittner R. M. et al. A lightweight instrument-agnostic model for polyphonic note transcription and multipitch estimation //ICASSP

2022-2022 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). – IEEE, 2022. – С. 781-785.

3. Lu W. T. et al. Music source separation with band-split rope transformer //ICASSP 2024-2024 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). – IEEE, 2024. – С. 481-485.

4. UltraStar Espana / UltraStar Espana. – URL: <https://ultrastar-es.org/en> (дата обращения: 02.05.26).

5. Brown J. C., Puckette M. S. An efficient algorithm for the calculation of a constant Q transform //The Journal of the Acoustical Society of America. – 1992. – Т. 92. – №. 5. – С. 2698-2701.

6. Vaswani A. Attention is all you need // Advances in Neural Information Processing Systems. – 2017.

7. Sakoe H., Chiba S. Dynamic programming algorithm optimization for spoken word recognition //IEEE transactions on acoustics, speech, and signal processing. – 2003. – Т. 26. – №. 1. – С. 43-49.

8. Whisper-timestamped / Github. – URL: <https://github.com/linto-ai/whisper-timestamped> (дата обращения: 02.05.26).

### Информация об авторах

**Кашеев Илья Игоревич** – магистрант кафедры математических методов исследования операций, Воронежский государственный университет (394018, Россия, г. Воронеж, Университетская площадь, 1), e-mail: [kasheev\\_ilya.01@mail.ru](mailto:kasheev_ilya.01@mail.ru)

**Замятин Игорь Викторович** – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры математических методов исследования операций, Воронежский государственный университет (394018, Россия, г. Воронеж, Университетская площадь, 1), e-mail: [zamyatin@amm.vsu.ru](mailto:zamyatin@amm.vsu.ru)

### Information about the author

**Ilya I. Kashcheev** – master's student of the Department of Mathematical methods of operations research, Voronezh State University (394018, Russia, Voronezh, University Square, 1), e-mail: [kasheev\\_ilya.01@mail.ru](mailto:kasheev_ilya.01@mail.ru)

**Igor V. Zamyatin** – PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor of the Department of Mathematical methods of operations research, Voronezh State University (394018, Russia, Voronezh, University Square, 1), e-mail: [zamyatin@amm.vsu.ru](mailto:zamyatin@amm.vsu.ru)

УДК 004.942:681.5

## ОБЗОР ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ДЛЯ ВИРТУАЛЬНОЙ ПУСКОНАЛАДКИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПОВЫСИТЕЛЬНЫМИ НАСОСНЫМИ СТАНЦИЯМИ

М.С. Архипенко<sup>1</sup>, Р.С. Архипенко<sup>1</sup>, А.В. Смольянинов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Воронежский государственный технический университет

**Аннотация:** В статье рассмотрена технология цифровых двойников для виртуальной пусконаладки систем управления повысительными насосными станциями. Описаны принципы построения мультифизической модели гидравлических и электромеханических процессов. Подход обеспечивает безопасную отладку алгоритмов ПЛК до физического внедрения, исключая риск гидроударов.

**Ключевые слова:** цифровой двойник, виртуальная пусконаладка, имитационное моделирование, повысительная насосная станция, автоматизированная система управления, алгоритмы управления.

## OVERVIEW OF DIGITAL TWIN TECHNOLOGY FOR VIRTUAL COMMISSIONING OF BOOSTER PUMP STATION CONTROL SYSTEMS

M.S. Arkhipenko <sup>1</sup>, R.S. Arkhipenko <sup>1</sup>, A.V. Smolianinov <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Voronezh State Technical University

**Abstract:** The article discusses digital twin technology for the virtual commissioning of booster pump station control systems. The principles of building a multiphysics model of hydraulic and electromechanical processes are described. The approach ensures safe debugging of PLC algorithms prior to physical implementation, eliminating the risk of water hammer.

**Keywords:** digital twin, virtual commissioning, simulation modeling, booster pump station, automated control system, control algorithms.

### *Введение*

В настоящее время при разработке систем водоснабжения многоквартирных домов актуальными становятся вопросы, связанные с повышением энергоэффективности этих систем. Последнее как правило достигается за счёт повышения энергоэффективности повысительных насосных станций поскольку именно они являются основными потребителями электроэнергии [5]. Кроме того, немаловажным фактором является обеспечение строго соответствия между требуемым и развиваемым напором, что достигается путём оптимальной настройки ПИД-регуляторов. Используя классический подход настройки систем регулирования подбор параметров регулятора, приходится осуществлять на действующем объекте, что может приводить к нежелательным режимам работы и в крайних случаях к повреждениям технологического оборудования. Это связано с тем, что возникающие ошибки в программном обеспечении или неверно рассчитанные

параметры регулирующих устройств при проведении пусконаладочных работ могут приводить к существенным перепадам давления в водопроводной системе, что в свою очередь провоцирует гидравлические удары, которые могут привести к повреждению или полному выходу из строя запорной арматуры или даже к разрыву трубопроводов. Таким образом, при проведении пусконаладочных работ на действующем оборудовании возникают существенные риски, которые могут привести к длительным отключениям систем водоснабжения.

Избежать подобных явлений возможно путём проведения первичных пусконаладочных работ не на действующей сети, а на её математической модели или цифровом двойнике. Последнее позволяет выявить основные ошибки разработанного программного обеспечения, используя цифровой двойник водопроводной сети, тем самым обезопасив реальный объект управления. Это связано с тем, что

цифровой двойник позволяет провести весь комплекс пусконаладочных испытаний, протестировать вновь разработанные алгоритмы управления технологическими агрегатами и поведение системы в нештатных ситуациях.

#### *Архитектура цифрового двойника насосной станции*

Эффективность проведения пусконаладочных работ на цифровом двойнике требует разработки адекватной математической модели реального объекта [1]. Анализ систем водоподачи в многоквартирных домах позволяет сделать вывод, что рассматриваемые системы имеют сложную структуру, объединяющую в себе электромагнитные, механические и гидродинамические процессы. Именно поэтому цифровой двойник должен строиться как единая система, объединяющая в себе вышеуказанные процессы.

Анализ технологических схем водоподающих станций показывает, что в большинстве случаев в качестве приводов насосов используются асинхронные электродвигатели. Среди всех способов управления частотой вращения асинхронных двигателей наиболее энергоэффективным является управление путём изменения частоты напряжения на статоре. Поэтому модель электрической подсистемы должна включать в свой состав асинхронные двигатели, управляемые с помощью преобразователей частоты. При формировании математической модели частотно-управляемого асинхронного двигателя должны использоваться известные [2] структурные схемы управляемых электроприводов, параметры которых должны определяться на основе паспортных данных, таких как номинальная мощность, частота вращения и базовые электрические параметры. Такой подход

позволяет сформировать адекватную математическую модель, обеспечивающую связь электромагнитных процессов, протекающих в электродвигателе, с его механической нагрузкой.

При разработке математической модели механической части системы основной задачей является определение параметров уравнения движения, которое связывает между собой электромагнитный момент, развиваемый двигателем, и момент сопротивления, обусловленный гидродинамическими процессами, протекающими в насосном агрегате. Кроме того, достаточно важной задачей является правильное определение момента инерции, поскольку именно он определяет характер протекания электромагнитных процессов в электродвигателе. При условии правильно спроектированной математической модели механической части, система будет адекватно реагировать на команды управления (включение, выключение, изменение частоты питающего напряжения) и возмущающие воздействия, например изменение водопотребления.

Гидравлическая часть рассматриваемой системы должна включать в себя математическое описание двух подсистем. А именно: модель гидродинамических процессов, протекающих в насосном агрегате, и модель процессов, протекающих в напорной сети. Математическая модель гидродинамических процессов, протекающих в насосном агрегате, должна строиться на основе реальных напорно-расходных характеристик установленных в системе насосов, а модель напорной сети должна строиться с учётом её топологических и геометрических параметров, физических свойств транспортируемой среды, а также гидравлических параметров элементов сети

(гидравлическое сопротивление клапанов, задвижек). В режиме симуляции должно осуществляться непрерывное сопоставление развиваемого напора насоса с параметрами сети [6] и требуемым водопотреблением, которое является случайной величиной и определяется текущими нуждами потребителей.

Так как в реальности электрика, механика и гидравлика жестко взаимосвязаны, поэтому и в цифровом двойнике уравнения всех этих трех подсистем решаются вычислительной средой совместно. Ток создает момент, крутящий момент преодолевает инерцию и сопротивление воды, а любые изменения в гидравлической магистрали мгновенно отражаются на электрической нагрузке двигателя. Совместный расчет с использованием параметров реального оборудования позволяет цифровой копии максимально точно воспроизводить динамику

реальной станции при отработке любых алгоритмов управления или нестандартных ситуаций.

Математическая модель рассмотренной системы, выполненная в Simulink, приведена на рис. 1.

*Имитационное моделирование технологического процесса*

Реалистичность работы цифрового двойника во времени зависит также от правильного задания внешних возмущающих воздействий. Главным возмущающим фактором для повысительной станции является переменное потребление воды жильцами. Для создания реалистичной симуляции в модель при расчётах добавляются типовые суточные профили водоразбора. Они также подбираются с учетом характеристик конкретной жилой застройки.

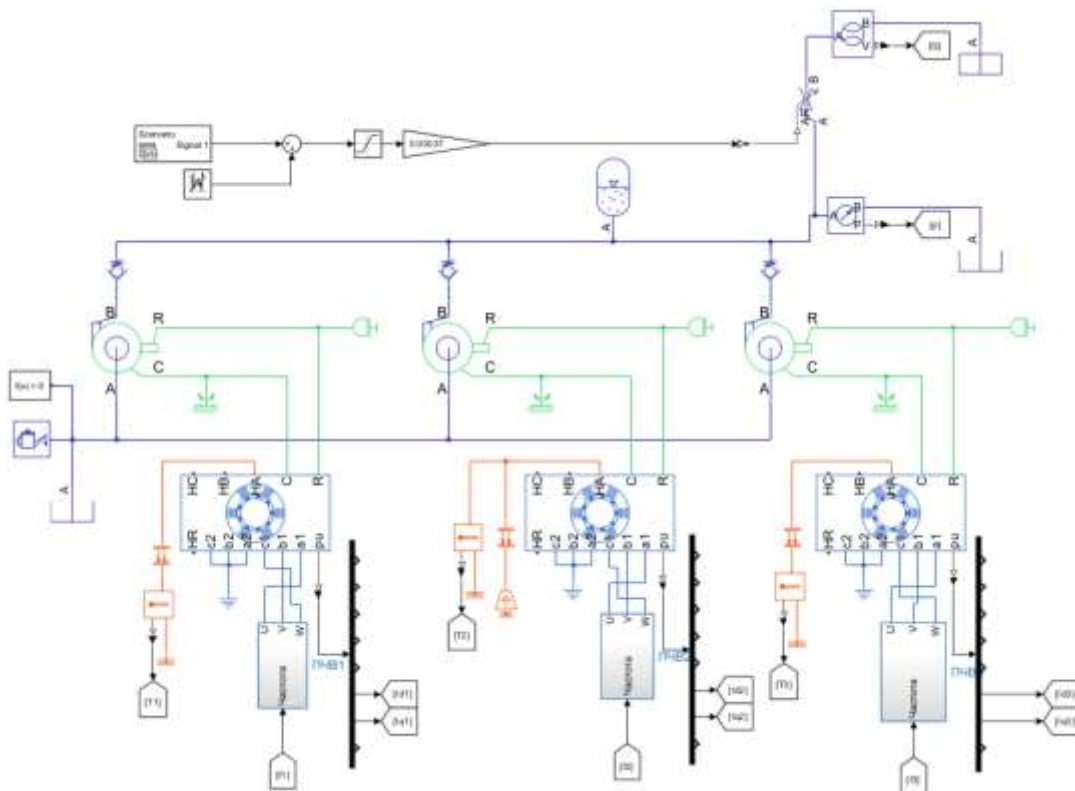


Рис. 1. Математическая модель повысительной насосной станции

В вычислительной среде такой профиль реализуется через изменяемое гидравлическое сопротивление виртуальной магистрали нашей гидравлической подсистемы. Потому что, как и в реальной жизни, потребители постоянно открывают и закрывают краны, что и представляет собой переменное гидравлическое сопротивление системы. Так же для имитации локальных скачков расхода применяются генераторы псевдослучайных чисел или шума в связке со сглаживающими фильтрами.

На каждом шаге интегрирования математический решатель вычисляет баланс расходов [2] и давлений во всех узлах гидравлической системы. Также в процессе симуляции непрерывно отслеживаются ключевые для нас параметры и состояния системы. К ним относятся давление в напорном коллекторе, расход воды, температура двигателей, количество включённых насосов в работу. Также имитационное моделирование позволяет всего за несколько минут реального времени проанализировать работу станции за сутки или недели. Что невозможно сделать на реальном объекте.

*Виртуальная пусконаладка систем автоматического управления*

Для виртуальной пусконаладки необходимо соединить нашу разработанную модель повысительной насосной станции и программу управления в единую систему. Для их связи также необходимо применять стандартные промышленные протоколы обмена данными, например Modbus TCP. Это дает возможность полностью воссоздать сетевую архитектуру [4] реальной автоматизированной системы.

Написанная программа управления (фрагмент программы реализующий ПИД-закон регулирования приведёт на рис. 2) загружается в виртуальный или реальный

логический контроллер. В ней уже заложены алгоритмы каскадного переключения насосов, математика ПИД-регулятора, различные инструкции, которые нужно осуществить в нештатных ситуациях. ПЛК работает в циклическом режиме, непрерывно опрашивая цифровой двойник и собирая показания симитированных датчиков давления, расхода, температуры. Так же контроллер может считывать статусы состояния электродвигателей, если потребуется.

```
fbPID_Main(
  ACTUAL := GVL_Tags.rSystemPressure,
  SET_POINT := rSetpoint,
  KP := SEL(iActivePumps = 2, 2.5, 1.5),
  TN := SEL(iActivePumps = 2, 5.0, 8.0),
  Y_MIN := 25.0,
  Y_MAX := 50.0,
  RESET := (iActivePumps = 0) OR NOT
  GVL_Tags.bSystemRunning
);
```

Рис. 2. Реализация ПИД-закона управления

Программа формирует команды управления, выдавая дискретные сигналы на запуск или остановку дополнительных агрегатов и генерирует значение выходной частоты для виртуальных преобразователей частоты.

Данная система обладает большой наглядностью для инженера. Он может оценивать реакцию объекта управления на работу нашей программы. А самое главное абсолютно безопасно проверять отработку нештатных ситуаций, провоцируя различные сбои оборудования, износ труб и т.п.

Например, в процессе симуляции можно симитировать обрыв линии связи с аналоговым датчиком давления. Или проверить алгоритмы управления при механическом заклинивании рабочего колеса насоса или внезапном исчезновении питающего напряжения. Детальный анализ

переходных процессов при таких жестких сценариях помогает быстро выявить ошибки в логике программы. Что позволяет настраивать программные блокировки и подбирать безопасные коэффициенты ПИД-регулятора до выезда на реальный объект. А риск повредить физическое оборудование при тестировании сводится к нулю.

#### *Оптимизация режимов работы и энергосбережение*

После построения модели и проверки на ней основного алгоритма можно проводить дальнейший анализ системы с целью повышения её энергоэффективности. Возможности вычислительной среды позволяют проводить анализ работы оборудования на длительных временных отрезках при разных конфигурациях системы до введения алгоритмов в эксплуатацию.

Главной частью алгоритма, за счёт которого будет происходить оптимизация энергоэффективности является часть каскадного переключения насосов. Для его настройки необходимо перебирать пороговые значения частоты оборотов для запуска и остановки вспомогательных двигателей. Ведь слишком раннее включение вспомогательно насоса может увеличить потребление электроэнергии без реальной необходимости на то, а слишком позднее включение будет приводить к просадке давления в сети водоснабжения.

Второй важнейшей частью алгоритма является настройка ПИД-регулятора. Подбор его коэффициентов можно проводить при разных режимах работы системы, таких как ночное время, количество включенных насосов, тем самым реализуя метод программного изменения коэффициентов (gain scheduling).

И третьей частью алгоритма,

влияющей на энергоэффективность является переключение главного и вспомогательного насоса при наработке определённого количества часов с целью его технического обслуживания, что приводит к меньшему износу агрегатов и работе их не в оптимальном режиме.

Описанные способы оптимизации [3] алгоритмов минимизируют количество включений, выключений и стабилизируют потребляемую мощность электродвигателей.

#### *Заключение*

Таким образом при использовании цифровых двойников можно провести безопасную отладку алгоритмов управления повысительными насосными станциями. Такой подход минимизирует риски возникновения гидравлических ударов или других неуправляемых процессов, тем самым защищая оборудования используемое на реальных объектах. Кроме того, появляется возможность проводить более тщательный анализ используемых алгоритмов с целью повышения их энергоэффективности.

#### **Библиографический список**

1. Боровков А.И., Гамзикова А.А., Кукушкин К.В. и др. Цифровые двойники в высокотехнологичной промышленности: краткий доклад (под ред. А.И. Боровкова). – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2019. – 62 с.
2. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink / И.В. Черных. – М.: ДМК Пресс, 2008. – 288 с.
3. Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и вентиляторных установках / Б.С. Лезнов. – М.: Энергоатомиздат, 2006. – 360 с.
4. Денисенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом,

экспериментом, оборудованием / В.В. Денисенко. – М.: Горячая линия - Телеком, 2009. – 608 с.

5. Парр Э. Программируемые контроллеры: руководство для инженера / Э. Парр;

пер. с англ. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. – 516 с.

6. Карелин В. Я. Насосы и насосные станции: учебник для вузов / В. Я. Карелин, А. В. Минаев. – М.: Бастет, 2010. – 448 с.

#### Информация об авторах

**Архипенко Михаил Сергеевич** – студент, Воронежский государственный технический университет (394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84), e-mail: amsvstu@gmail.com

**Архипенко Роман Сергеевич** – студент, Воронежский государственный технический университет (394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84), e-mail: roman26vstu@gmail.com

**Смолянинов Андрей Викторович** – кандидат технических наук, доцент кафедры систем управления и информационных технологий в строительстве, Воронежский государственный технический университет (394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84), e-mail: a.v.smolyanino@yandex.ru

#### Information about the author

**Mikhail S. Arkhipenko** – student, Voronezh State Technical University (84, 20 let Oktyabrya str., Voronezh, 394006, Russia), e-mail: amsvstu@gmail.com

**Roman S. Arkhipenko** – student, Voronezh State Technical University (84, 20 let Oktyabrya str., Voronezh, 394006, Russia), e-mail: roman26vstu@gmail.com

**Andrei V. Smolianinov** – candidate of technical Sciences, associate Professor of the Department of control systems and information technologies in construction, Voronezh state technical University (84, 20 let Oktyabrya str., Voronezh, 394006, Russia) e-mail: a.v.smolyanino@yandex.ru

УДК 004.942:681.5

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ МОДУЛЬ ОСВЕЩЕНИЯ НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ STM32/ESP32

**И.Ю. Мельникова<sup>1</sup>, А.В. Смолянинов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Воронежский государственный технический университет

**Аннотация:** Статья посвящена разработке интеллектуального модуля адаптивного освещения на основе связки микроконтроллеров ESP32 и STM32WB55. В рамках предложенной архитектуры строится распределённая IoT-система с использованием Bluetooth Low Energy для передачи данных между сенсорным и исполнительным узлами. В работе рассмотрены особенности программной реализации и алгоритм адаптивного управления освещением

**Ключевые слова:** интернет вещей, IoT, ESP32, STM32WB55, Bluetooth Low Energy, BLE, адаптивное освещение, микроконтроллеры, GATT, беспроводная передача данных, PWM

## AN INTELLIGENT LIGHTING MODULE BASED ON STM32/ESP32 MICROCONTROLLERS

**I.Yu. Melnikova<sup>1</sup>, A.V. Smolyaninov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Voronezh State Technical University

**Abstract:** This article explores the development of an intelligent adaptive lighting module based on ESP32 and STM32WB55 microcontrollers. It examines the architecture of a distributed IoT system using Bluetooth Low Energy for data transfer between sensor and actuator nodes. The software implementation and algorithm for adaptive lighting control are presented.

**Keywords:** internet of Things, IoT, ESP32, STM32WB55, Bluetooth Low Energy, BLE, adaptive lighting, microcontrollers, GATT, wireless data transfer, PWM

#### Введение

Развитие систем автоматизации зданий ставит перед разработчиками задачу

интеграции сенсорных и исполнительных устройств в единую сеть на базе беспроводных протоколов. Особое место среди них

занимает Bluetooth Low Energy – технология, изначально ориентированная на приложения с жесткими ограничениями по энергопотреблению и обеспечивающая при этом пропускную способность, достаточную для широкого круга задач локальной автоматизации. В концепции Интернета вещей именно способность отдельных узлов к автономной работе и эффективному обмену данными становится определяющей [1, 2].

#### *Теоретический анализ*

Любая IoT-система по своей сути является распределенной, и выбор способа передачи данных между ее компонентами оказывает прямое влияние на энергоэффективность, масштабируемость и надежность конечного решения. Среди наиболее распространенных на сегодня беспроводных технологий можно выделить Wi-Fi, ZigBee и BLE.

Технология Wi-Fi дает высокую скорость, однако его энергопотребление трудно назвать приемлемым для автономных устройств, питающихся от батарей. ZigBee, со своей стороны, нацелен на построение mesh-сетей, но требует развертывания координаторов и не обладает универсальной совместимостью с потребительскими устройствами. BLE выгодно отличается от них обоих, поскольку разрабатывался специально для кратковременных сеансов связи и периодической передачи небольших пакетов данных. Способность протокола гибко настраивать интервалы соединения, минимальное энергопотребление в режиме ожидания и широкая поддержка в мобильных и встраиваемых платформах делают его оптимальным выбором для локальных систем автоматизации [3–5].

Современные системы освещения все чаще проектируются по модульному

принципу: сенсорный контур собирает и преобразовывает информацию, а исполнительный контур вырабатывает управляющее воздействие. Такая логика позволяет гибко заменять, добавлять и модернизировать отдельные узлы, не затрагивая систему в целом, и именно она была заложена в основу предложенного решения.

#### *Разработка интеллектуального модуля*

В качестве сенсорного узла используется микроконтроллер ESP32 (рис. 1), который обладает высокой вычислительной мощностью и имеет встроенные модули Wi-Fi и Bluetooth. Он оснащен двухъядерным процессором с тактовой частотой до 240 МГц, что обеспечивает возможность обработки данных в реальном времени. Так же данный микроконтроллер поддерживает широкий набор периферийных интерфейсов, включая GPIO, ADC, SPI, I2C и UART, что позволяет подключать различные датчики и внешние устройства.

Функции исполнительного узла выполняет микроконтроллер STM32WB55 (рис. 2), созданный специально для IoT-приложений. Его ключевой особенностью является двухъядерная архитектура, включающая ядра Cortex-M4 и Cortex-M0+ для обработки беспроводных протоколов.



Рис. 1. Микроконтроллер ESP32

Основное ядро Cortex-M4 отвечает за выполнение пользовательских задач, тогда как Cortex-M0+ используется для

обслуживания беспроводного стека, что обеспечивает эффективное разделение функций и повышает надёжность работы системы. STM32WB55 поддерживает современные беспроводные протоколы, включая Bluetooth 5.0, и оснащён развитой периферией, такой как таймеры, аналого-цифровые преобразователи и интерфейсы связи. Это позволяет реализовать сложные алгоритмы управления и обеспечить высокую точность регулирования исполнительных устройств.

Таким образом, использование данных микроконтроллеров позволяет реализовать гетерогенную систему, в которой ESP32 выступает в роли центрального узла, осуществляющего сбор данных с датчиков и формирование управляющих команд. STM32WB55 выполняет функции исполнительного устройства, обеспечивая обработку поступающих данных и управление нагрузкой.



Рис. 2. Микроконтроллер STM32WB55

Такое распределение позволяет снизить нагрузку на отдельные узлы, повысить устойчивость системы, обеспечить эффективное использование аппаратных ресурсов.

В соответствии с вышеизложенным, сенсорный узел на базе ESP32 выполняет периодический опрос цифрового датчика температуры DHT11. Одной из особенностей данного датчика является использование временно-зависимого протокола

передачи данных, который требует строгого соблюдения временных интервалов. Для корректной работы применили механизм программного формирования сигналов (bit-banging), позволяющий без внешних библиотек считывать 40-битный пакет, который содержит в себе данные о температуре. Для повышения надёжности измерений применяется фильтрация некорректных значений, включающая проверку диапазона допустимых температур и обработку ошибок чтения. Дополнительно введен механизм гистерезиса, при котором передача данных осуществляется только при изменении температуры на заданную величину. Это позволяет снизить частоту выходов в эфир и, соответственно, среднее энергопотребление узла.

Сетевое взаимодействие реализовано на базе GATT-профиля, где ESP32 выступает в роли клиента. Устройство сканирует радиоэфир в поисках устройства с заданным идентификатором, устанавливает с ним соединение и находит характеристику с известным UUID. Температура упаковывается в 16-битное значение и размещается в массиве из 2-х байт. Данным способом совместим со спецификацией BLE. На принимающей стороне в обработчике события выполняется обратная десериализация

Исполнительный модуль STM32WB55 принимает данные через BLE и обрабатывает их в обработчике событий. Для удобства отладки на плате предусмотрена светодиодная индикация, отображающая текущий режим работы.

Алгоритм управления выбран линейно-пороговым. Пока температура окружающей среды остается ниже заданного порога, освещение выключено это энергосберегающий режим. При превышении порога, яркость линейно нарастает

пропорционально росту температуры. Несмотря на простоту, данный алгоритм демонстрирует эффективность в задачах локальной автоматизации и может служить основой для более сложных систем управления.

В качестве примера ниже приведен фрагмент кода файла main.c, который реализует центральную логику управления.

```
#include "esp_log.h"
#include "esp_timer.h"
#include "freertos/FreeRTOS.h"
#include "freertos/task.h"

// Глобальные переменные для хранения состояния
static int16_t last_temp = -999;
static const int temp_threshold = 1;

void dht_timer_callback(void* arg)
{
    // Считывание
    int16_t current_temp = read_dht11_temp();

    // Валидация
    if (current_temp == -127 || current_temp > 60 || current_temp < -20) {
        ESP_LOGW("SENSOR", "Ошибка чтения датчика");
        return;
    }

    // Логика гистерезиса
    if (abs(current_temp - last_temp) >= temp_threshold) {
        ESP_LOGI("SENSOR", "Изменение! Отправка: %d C", current_temp);
        ble_send_temperature((uint16_t)current_temp);
        last_temp = current_temp;
    }
}

// ГЛАВНАЯ ФУНКЦИЯ
void app_main(void)
```

```
{
    // Инициализация (GPIO, BLE и т.д.)
    // ...
    // Настройка таймера
    const esp_timer_create_args_t periodic_timer_args = {
        .callback = &dht_timer_callback,
        .name = "dht11_periodic_read"
    };
    esp_timer_handle_t periodic_timer;
    esp_timer_create(&periodic_timer_args, &periodic_timer);

    // Период опроса — 2 секунды (согласно спецификации DHT11)
    esp_timer_start_periodic(periodic_timer, 2000000);

    ESP_LOGI("MAIN", "Система запущена в событийном режиме.");
}
```

#### *Заключение*

В ходе работы был спроектирован и реализован прототип интеллектуального модуля адаптивного освещения, в основе которого лежит распределенная архитектура с микроконтроллерами ESP32 и STM32WB55. Такое разделение функций, сбор данных и управление нагрузкой, продемонстрировало свою эффективность с точки зрения модульности и упрощения разработки.

Проверенный на практике протокол BLE показал, что способен надежно передавать управляющую информацию при низком энергопотреблении, а модель GATT предоставила для этого удобный и структурированный механизм.

Полученные результаты позволяют рассматривать предложенное решение, как базовую платформу для создания более сложных систем умного освещения, в том числе с элементами прогнозирования и самообучения.

**Библиографический список**

1. Еременко В. Т., Рабочий А. А., Фисун А. П. и др. Основы электротехники и электроники: учебник / под общ. ред. В. Т. Еременко. — М.: Академия, 2012. — 529 с.
2. Ярочкина Г. В. Основы электротехники: учеб. пособие. — М.: Академия, 2013. — 240 с.
3. Espressif Systems. ESP32 Technical Reference Manual [Электронный ресурс]. —

Режим доступа: <https://www.espressif.com> (дата обращения: 04.05.2026).

4. STMicroelectronics. STM32WB55 Reference Manual [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.st.com> (дата обращения: 04.05.2026).
5. Bluetooth SIG. Bluetooth Core Specification Version 5.0 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.bluetooth.com> (дата обращения: 04.05.2026)

**Информация об авторах**

**Мельникова Инна Юрьевна** – студент 4 курса группы БАТП-221, Воронежский государственный технический университет (394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84), e-mail: [innmelnikovaa@yandex.ru](mailto:innmelnikovaa@yandex.ru)

**Смолянинов Андрей Викторович** – кандидат технических наук, доцент кафедры систем управления и информационных технологий в строительстве, Воронежский государственный технический университет (394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84), e-mail: [a.v.smolyaninov@yandex.ru](mailto:a.v.smolyaninov@yandex.ru)

**Information about the author**

**Melnikova I. Yurievna** – 4th-year student, bATP-221 group, Voronezh state technical University (84, 20 let Oktyabrya str., Voronezh, 394006, Russia), e-mail: [innmelnikovaa@yandex.ru](mailto:innmelnikovaa@yandex.ru)

**Smolyaninov A. Viktorovich** – candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Control Systems and Information Technologies in Construction, Voronezh state technical University (84, 20 let Oktyabrya str., Voronezh, 394006, Russia), e-mail: [a.v.smolyaninov@yandex.ru](mailto:a.v.smolyaninov@yandex.ru)

УДК 004.8

**ВНЕДРЕНИЕ ЧАТ-БОТОВ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В КОРПОРАТИВНОЕ ОБУЧЕНИЕ СОТРУДНИКОВ****Ю.А. Шутова<sup>1</sup>, С.М. Куценко<sup>1</sup>**<sup>1</sup> *Казанский государственный энергетический университет*

**Аннотация:** В статье рассматриваются теоретические и прикладные аспекты внедрения чат-ботов на основе искусственного интеллекта в системы корпоративного обучения персонала. На основе анализа современных научных публикаций и практических кейсов российских компаний выявлены ключевые преимущества использования ИИ-чат-ботов для адаптации новых сотрудников, развития профессиональных навыков и HR-поддержки. Особое внимание уделено типологии чат-ботов, этапам внедрения, а также рискам и вызовам, связанным с их внедрением.

**Ключевые слова:** чат-боты, искусственный интеллект, корпоративное обучение, адаптация персонала, генеративные нейросети, цифровая трансформация, HR, большие языковые модели.

**IMPLEMENTATION OF AI-BASED CHATBOTS IN CORPORATE EMPLOYEE TRAINING****Yu.A. Shutova<sup>1</sup>, S.M. Kutsenko<sup>1</sup>**<sup>1</sup> *Kazan State Power Engineering University*

**Abstract:** The article discusses the theoretical and applied aspects of the introduction of chatbots based on artificial intelligence in corporate personnel training systems. Based on the analysis of modern scientific publications and practical cases of Russian companies, the key advantages of using AI chatbots for the adaptation of new employees, the development of professional skills and HR support have been identified. Special attention is paid to the typology of chatbots, the stages of implementation, as well as the risks and challenges associated with their implementation.

**Keywords:** chatbots, artificial intelligence, corporate training, staff adaptation, generative neural networks, digital transformation, HR, large language models.

Процесс цифровизации все активнее начинает проникать во все сферы общества, начиная от медицины и заканчивая агропромышленностью. Однако особое внимание и интерес привлекает экономика России, в частности бизнес и предпринимательство. Цифровизация бизнес-процессов на коммерческих предприятиях сопровождается интенсивным внедрением информационных систем разного уровня сложности использования и применения, что, в свою очередь, повышает требования к знаниям и обучению персонала. В связи с этим, автоматизация процесса обучения с использованием чат-ботов становится актуальным направлением, позволяющий существенно улучшить качество внутренней клиентской поддержки и снизить нагрузку на HR-специалистов.

Согласно результатам исследования сообщества Digital Learning, к 2025 году 51% отечественных компаний пробовали внедрить ИИ для обучения своих сотрудников [1]. Число организаций, которые делают это системно, выросло с 2% до 7% [1]. Данная статистика свидетельствует о переходе интереса к ИИ-технологиям из стадии эксперимента в стадию полного масштабирования.

Также по данным сообщества Digital Learning определено, какие задачи решает ИИ в области корпоративного обучения (рис.1).

В современной практике корпоративного обучения применяются два принципиально разных типа чат-ботов: сценарные (scripted/rules-based) и генеративные (AI-powered). Сценарные чат-боты работают по заранее запрограммированной логике, то

есть сначала получают запрос, потом проверяют его по базе данных и выдают готовый ответ. К преимуществам можно отнести быстрое внедрение, низкие затраты на поддержку и простота интеграции с HRIS-системами, однако такие боты не распознают сложные или нестандартно сформулированные запросы и работают исключительно в рамках заранее прописанных сценариев.

В то время как чат-боты генеративного типа или с искусственным интеллектом, использующие технологии обработки естественного языка и большие языковые модели, способны анализировать смысл запроса и адаптироваться под конкретного пользователя, также обеспечивая персонализированный опыт для каждого сотрудника и могут масштабироваться под растущие потребности бизнеса. Генеративный бот превосходит сценарный по всем показателям технологической лояльности и самоопределения пользователя, однако для высокоструктурированных взаимодействий, например, достижение целей, сценарные диалоги с более низким риском демонстрируют сопоставимую эффективность.

Внедрение чат-ботов на основе ИИ в корпоративное обучение сотрудников позволяет автоматизировать рутинные задачи, персонализировать образовательный процесс, повысить вовлечённость и эффективность обучения. В первую очередь стоит упомянуть персонализацию. Бот способен оценить исходный уровень сотрудника, учесть его должностные обязанности и даже стиль восприятия информации, а затем выстроить индивидуальную траекторию, например, когда система видит, что у

человека проблемы с отработкой возражений, она автоматически добавляет модуль с

диалоговым тренажёром.

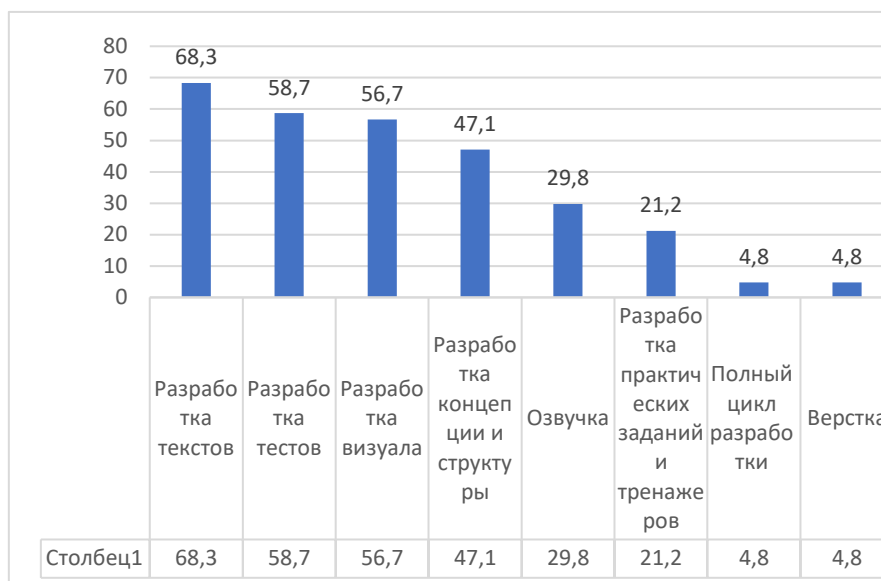


Рис. 1. Какие задачи решает ИИ в области корпоративного обучения (%) [5].

Другая важная роль — автоматизация доступа к знаниям. Сотрудники могут в любое время суток обратиться к чат-боту прямо с рабочего места, пройти тестирование или повторить пройденный материал. Кроме того, нейросети активно используются для генерации учебных материалов. Вместо того чтобы вручную перерабатывать объёмные регламенты и инструкции, их можно скормить модели — и на выходе получить сжатые конспекты, тесты или презентации.

Ещё одна полезная функция — отработка навыков в безопасной среде. Чат-бот моделирует диалоги с клиентом, и сотрудник может тренироваться, не опасаясь ошибок в реальной работе. Ещё одна полезный аспект — аналитический. Боты записывают повторяемость обращений, трудные участки прохождения обучения, тактику речевого поведения. Такие сведения затем задействуют для аттестации, правки учебных программ или адаптации новых сотрудников. Плюс ко всему, чат-боты

выручают работают как круглосуточная служба поддержки — отзываются на запросы, оповещают контрольные сроки, предлагают ссылки на нужные материалы, помогает с адаптацией новых сотрудников.

Запуск чат-бота в компанию предполагает прохождение нескольких этапов. В первую очередь стоит отложить выбор технологии, а начать с аудита самого бизнеса. Стоит понять, для каких процессов нужен бот, посмотреть, как работают сотрудники, и выявить те места, где постоянно возникают задержки или ошибки — именно их автоматизация может дать результат.

После аудита переходят к фиксации целевых ориентиров и перечня операций, возлагаемых на бота. Распространённая ошибка — старт с выбора программно-аппаратной платформы без предварительного уточнения функционального назначения системы. Корректнее на этом этапе прописать конкретные и измеримые показатели: уменьшение ошибок при ответе на однотипные обращения работников, либо

автоматизированный контроль усвоения после каждого тематического блока.

Далее наступает очередь выбора технологической основы — написание собственного экземпляра чат-бота с нулевого цикла либо использование существующей платформы. Определяющими факторами служат совокупные издержки владения, степень соответствия имеющегося функционала зафиксированным потребностям, а также степень допустимой доработки. Типовые готовые продукты развёртываются быстрее, однако при востребованности плотной интеграции с внутренними системами предприятия (базы данных, CRM, системы дистанционного обучения) нередко приходится изготавливать индивидуальное решение.

Когда платформа определена, приступают к проработке сценариев взаимодействия. На этой стадии воспроизводят штатные и нештатные ситуации, при которых сотрудник способен обратиться к боту. Отдельное внимание уделяют контекстному наполнению запросов — требуется заложить не только эталонные формулировки, но также возможные отступления, орфографические погрешности, обрывочные фразы. Степень детализации сценария прямо коррелирует с вероятностью получения нерелевантного ответа в реальных условиях использования.

Затем следует непосредственное создание программного кода и сопряжение с существующими корпоративными информационными системами — хранилищами данных, CRM-системами, почтовыми и мессенджерными средами, платформами дистанционного обучения. Ключевая задача здесь — добиться бесшовного циркулирования сведений, чтобы бот мог извлекать актуальные данные о пользователе,

пройденном им прогрессе и доступных учебных материалах.

По завершении разработки проводится тестирование, которое охватывает не только верификацию функциональных возможностей, но и нагрузочные испытания. Оценивается поведение системы в моменты пиковой загрузки, когда несколько десятков работников одновременно посылают боту запросы. Параллельно запускается цикл дообучения нейросетевой модели на основе аккумулируемой статистики: первые недели функционирования неизбежно проявляют сценарии, упущенные на этапе конструирования, и модель нуждается в корректировке.

Финальная стадия — подготовка самого персонала к работе с чат-ботом. Даже наиболее насыщенный функционалом чат-бот останется невостребованным, если люди не овладеют навыками взаимодействия с ним либо имеют недоверие к автоматизированной системе. Поэтому целесообразно проводить краткие семинарские занятия, распространять инструкции, демонстрировать реальные случаи успешного обращения. Лишь при условии методически выверенной подготовки пользователей затраты на разработку бота начинают давать ожидаемую отдачу — в виде ускоренной адаптации и повышения глубины освоения материала.

Оценка результативности внедрения чат-ботов в корпоративное обучение должна базироваться на КРІ, отражающих как операционную, так и бизнес-эффективность. Как показывает практика (на примере чат-бота для внутренней клиентской поддержки), внедрение данного решения позволяет: сократить время на обработку типовых задач на 79%; увеличить количество обработанных обращений на 70%;

сократить время реакции на обращение на 50% [2].

Наряду с преимуществами, внедрение ИИ-чат-ботов в корпоративное обучение сопряжено с рядом вызовов, которые при отсутствии системного подхода могут обесценивать инвестиции.

Наиболее распространённая ошибка — внедрение ИИ-инструментов до того, как выстроена базовая логика обучения: не определено, какие именно компетенции развиваются, как они связаны с бизнес-результатами и как измеряется эффект.

Традиционные форматы аттестации (тесты, сертификаты) перестали быть надёжными фильтрами в эпоху генеративного ИИ. По данным NEPI 2026 года, 94% студентов используют генеративный ИИ при подготовке учебных заданий, и в корпоративном обучении ситуация сопоставима: удостоверения подтверждают лишь факт завершения программы, но не способность сотрудников решать рабочие задачи.

Существует парадокс: чем активнее сотрудник использует ИИ для обучения, тем меньше он учится сам, поскольку ИИ снимает когнитивное усилие — именно то усилие, которое формирует навык.

Рассмотрим существующие кейсы внедрения чат-ботов российских компаниях и их результаты. Компания «Открытая Линия» (контакт-центр с более чем 400 сотрудниками) внедрила цифрового наставника Oline Наставник на базе GPT-моделей. Результаты внедрения превзошли ожидания: время адаптации новых сотрудников сократилось в 2 раза, а прямые трудозатраты HR-отдела — около 40% [3].

Группа «Т-Технологии» разработала диалоговый тренажер Robocoach, который моделирует диалоги с клиентами в реальном времени: сотрудники общаются с

системой голосом или текстом и получают оценку и рекомендации. Результаты: срок первичного обучения сотрудника сократился с 7 до 3 дней; время на адаптацию — с 10 часов до 1 часа в неделю; повторные ошибки операторов снизились на 7,3%; средний результат теста по работе с типовыми возражениями вырос на 43%; продажи дополнительных услуг — на 4–7%. В системе уже проведено более 1 млн тренировочных сессий, обучение прошли 34 000 сотрудников [4].

Внедрение чат-ботов на основе искусственного интеллекта в корпоративное обучение представляет собой закономерный этап цифровизации HR-процессов. Эффективность таких решений подтверждается сосуществующими практиками российских компаний: сокращаются сроки адаптации новых сотрудников, снижается нагрузка на HR-подразделения, ускоряется первичное обучение персонала. При внедрении чат-ботов на основе ИИ в корпоративное обучение важно учитывать такие аспекты, как безопасность данных, интеграция с существующими системами, обучение пользователей работе с новыми инструментами и оценка эффективности внедрения.

### Библиографический список

1. Как нейросети делают корпоративное обучение легче и эффективнее: АО «РОСБИЗНЕСКОНСАЛТИНГ» [Электронный ресурс]. URL: [https://companies.rbc.ru/news/s3Tb0SFEBn/kak-nejroseti-delayut-korporativnoe-obuchenie-legche-i-effektivnee/?utm\\_campaign=Yan\\_DG\\_RF\\_HighEd\\_Unde\\_b2c\\_Gener\\_Regular\\_perfom\\_460&utm\\_content=sty\\_content%3As\\_t.me%3Acid\\_118176967%3Agid\\_5541851906%3Apid\\_54308529428%3Aaid\\_](https://companies.rbc.ru/news/s3Tb0SFEBn/kak-nejroseti-delayut-korporativnoe-obuchenie-legche-i-effektivnee/?utm_campaign=Yan_DG_RF_HighEd_Unde_b2c_Gener_Regular_perfom_460&utm_content=sty_content%3As_t.me%3Acid_118176967%3Agid_5541851906%3Apid_54308529428%3Aaid_)

1868750877985706158%3Ac-  
rid\_0%3Arid\_54308529428%3Ap\_0%3Apty  
\_none%3Amt\_y\_%3Amkw\_%3Adty\_desk-  
top%3Acgcid\_0%3Arn\_Rus-  
sia%3Arid\_225&utm\_me-  
dium=cpc&utm\_source=yandex&utm\_term=-  
--autotarget-  
ing&yclid=11519455384222302207

2. Симагина С. Г., Демьяненко Е. Г. Интенсификация процессов консультации и обучения персонала на основе чат-бота в условиях цифровой трансформации бизнес-процессов на предприятиях // JOURNAL OF MONETARY ECONOMICS AND MANAGEMENT. 2025. №. 5. С. 312-316. DOI: <https://doi.org/10.26118/2782-4586.2025.89.45.005> (дата обращения: 13.05.2026).

3. Как «Открытая Линия» ускорила адаптацию сотрудников с помощью ИИ:

АО «РОСБИЗНЕСКОНСАЛТИНГ» [Электронный ресурс]. URL: <https://companies.rbc.ru/news/FOoiM6vO19/kak-otkryitaya-liniya-uskorila-adaptatsiyu-sotrudnikov-s-pomoschyu-ii/>

4. «Т-Технологии» запустили ИИ-тренажер для обучения персонала: Сетевое издание Ведомости (Vedomosti) [Электронный ресурс]. URL: [https://www.vedomosti.ru/technologies/trendsrub/news/2026/03/18/1183859-t-tehnologii-ii-trenazher?from=newsline\\_vedomosti](https://www.vedomosti.ru/technologies/trendsrub/news/2026/03/18/1183859-t-tehnologii-ii-trenazher?from=newsline_vedomosti)

5. Искусственный интеллект в корпоративном обучении: АНО ДПО «Образовательные технологии Яндекса» [Электронный ресурс]. URL: <https://practicum.yandex.ru/b2b/blog/iskusstvennyj-intellekt-v-obrazovanii/>

#### Информация об авторах

**Шутова Юлия Андреевна** – студент 3 курса, Казанский государственный энергетический университет, e-mail: [julieta.sh@yandex.ru](mailto:julieta.sh@yandex.ru)

**Куденко Светлана Мунавирова** – кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры «Информационные технологии и интеллектуальные системы», Казанский государственный энергетический университет, e-mail: [s.koutsenko@mail.ru](mailto:s.koutsenko@mail.ru)

#### Information about the author

**Julia A. Shutova** – 3rd year student, Kazan State Power Engineering University, e-mail: [julieta.sh@yandex.ru](mailto:julieta.sh@yandex.ru)

**Svetlana M. Kutsenko** – candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information Technologies and Intelligent Systems, Kazan State Power Engineering University, e-mail: [s.koutsenko@mail.ru](mailto:s.koutsenko@mail.ru)

УДК 004.8

## АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИЗНОСА ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ВИЗУАЛЬНЫХ ДАННЫХ

**Н.Ю. Ефремов<sup>1</sup>, В.Ф. Барабанов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Воронежский государственный технический университет*

**Аннотация:** Статья посвящена анализу возможностей интеллектуального прогнозирования износа технических объектов на основе визуальных данных. Рассмотрена архитектура системы интеллектуального прогнозирования износа. Проанализированы варианты сбора, обработки и извлечения информации из визуальных данных. Рассмотрены методы и возможности интеллектуального прогнозирования. Представлены результаты к анализу возможностей методов прогнозирования.

**Ключевые слова:** прогнозирование износа, интеллектуальная диагностика, компьютерное зрение, обработка изображений, глубокое обучение.

## ANALYSIS OF THE POSSIBILITIES OF INTELLIGENT FORECASTING OF WEAR OF TECHNICAL FACILITIES BASED ON VISUAL DATA

N.Y. Efremov <sup>1</sup>, V.F. Barabanov <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Voronezh State Technical University

**Abstract:** The article is devoted to the analysis of the possibilities of intelligent forecasting of wear of technical facilities based on visual data. The architecture of the intelligent wear forecasting system is considered. The options for collecting, processing, and extracting information from visual data are analyzed. The methods and possibilities of intelligent forecasting are considered. The results of the analysis of the possibilities of forecasting methods are presented.

**Keywords:** wear prediction, intelligent diagnostics, computer vision, image processing, deep learning.

### *Введение*

Несомненно, обеспечение безотказности работы технических объектов выступает одним из перспективных направлений в развитии современного конструирования. Определение износа по плано-предупредительному обслуживанию (ППР) или обслуживанию по техническому состоянию объекта являются устаревшими подходами к контролю состояния. Они не дают возможности заблаговременно оценить техническое состояние объектов, что провоцирует падение частоты использования и рост вероятности возникновения аварийных ситуаций.

В настоящее время большой популярностью пользуется подход к предиктивному обслуживанию, основанный на обработке информации о техническом состоянии оборудования для предсказания его дальнейшей эксплуатации [1]. В последнее время приоритет отдается визуальному анализу, поскольку он дает прямую возможность фиксировать изменения на внешних поверхностях объектов. Интеграция визуальной диагностики с алгоритмами искусственного интеллекта позволяет в автоматическом режиме обнаруживать дефекты и оценивать степень износа, исключая необходимость демонтажа узлов [2].

Процесс функционирования

интеллектуальной системы прогнозирования износа разбит на несколько последовательных взаимосвязанных стадий. Архитектурная схема данной системы отражена на рисунке 1.

### *Визуальный сбор данных*

Этап визуального сбора данных подразумевает собой получение визуальных данных технических объектов с помощью применения специализированного оборудования: тепловизоры, технические камеры, цифровые микроскопы и т.п. Выбор данных устройств получения изображения отличается в зависимости массогабаритных размеров исследуемого объекта [3]. Полученная информация позволяет контролировать физические изменения объектов: появление трещин, коррозии и т.п. На рисунке 2 представлен визуальный сбор данных технического объекта на примере стеклотекстолита с токопроводящими дорожками.

Ранняя фиксация дефектов и микроповреждения, что не имеют каких-либо воздействий на объект, являются одним из ключевых факторов сбора информации. Не малым фактором в актуальности применения сбора данных является определение точного положения поврежденных областей, а также их размер и характер возникновения. Это позволит проводить дальнейшую диагностику и отслеживать

тенденцию развития дефектов объектов.



Рис. 1. Хронологическая последовательность системы интеллектуального прогнозирования износа

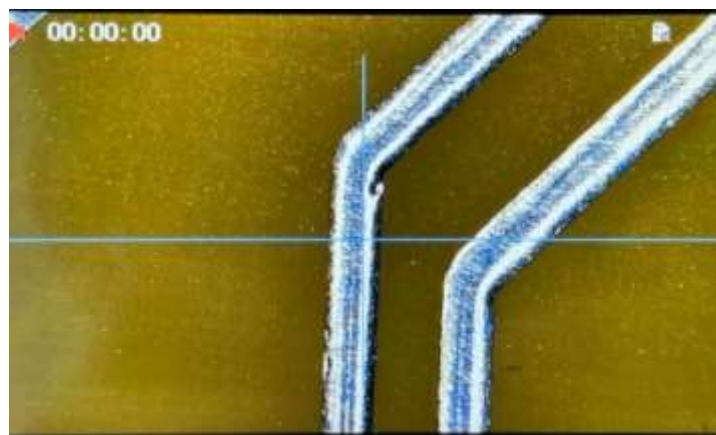


Рис. 2. Получение визуальных данных платы печатной проводки

Сбор визуальной информации может осуществляться продолжительный период, вплоть до непрерывного промежутка времени. Данный способ применяется для формирования базы данных, что позволяет отслеживать и определять специфику износа технического объекта. Полученные знания могут послужить дальнейшей опорой для глубокого обучения.

#### *Предобработка данных*

Сформированные базы визуальных данных могут быть подвержены искажению. Причин для этого может быть много: сбой фокуса, пыль, плохое освещение, электромагнитные наводки и др. Именно из имеющейся проблемы и возникает

потребность в предварительной обработке данных для дальнейшего анализа.

Существует несколько способов для получения наилучшей обработки:

- цветокоррекция;
- кадрирование перспективы;
- зонирование.

Получение визуальных данных не всегда может осуществляться в нормальных климатических и визуальных условиях. В связи с чем возрастает потребность в преобразовании изображений технических объектов в доступный для считывания данных вариант. Для решения данных проблем применяется метод «цветокоррекции».

Искаженное измерение масштаба, смещение камеры при сборе данных, получение «лишних краев» изображений – всё это является насущной задачей в вопросе приведения изображений к стандартному виду. Решением является метод «кадрирование перспективы».

Исследуемый технический объект может иметь большие размеры. В случае выявления незначительного дефекта будет затратным контролировать его полный размер. По этой причине и стал пользоваться большой популярностью метод «зонирования». Он подразумевает собой контроль только определенной области, что снижает вычислительный ресурс и повышает точность анализа объекта.

#### *Извлечение признаков*

Обработка данных позволяет получить доступный для понимания и анализа формат визуализации. «Чистота» визуальных данных напрямую зависит от возможности извлечь все доступные знания из изображения технического объекта. Мониторинг извлеченных данных исследуемого объекта позволяет увидеть все физические процессы деградации материала [4].

В настоящее время существует несколько подходов извлечения данных: традиционные; основанные на глубоком обучении. Отличительной чертой друг друга является подход к отображению данных и техника извлечения существенных сведений.

Традиционные подходы к анализу изображений опираются на ручное конструирование признаков, включая оценку текстурных паттернов (с применением GLCM и LBP), обнаружение контуров и расчет статистических метрик, таких как яркость, дисперсия и гистограммы распределения интенсивности. Подобные техники

описывают поверхность посредством фиксированных математических параметров, но их возможности по распознаванию сложных дефектных структур существенно ограничены.

В противовес им, современные решения базируются на технологиях глубокого обучения, в частности на сверточных нейронных сетях (CNN). Данная методика обеспечивает автоматическое извлечение признаков на различных уровнях абстракции: от базовых элементов, таких как границы и текстуры, до высокосложных характеристик, включая форму дефектов и характер повреждений поверхности. Архитектуры вроде ResNet и EfficientNet способны генерировать многомерные представления, которые наиболее точно и всесторонне отражают текущее состояние исследуемого объекта [5].

Основными преимуществами этапа выделения признаков являются:

- автоматизация процесса поиска значимых параметров исключает человеческий фактор и минимизирует субъективность;
- извлекаемые характеристики демонстрируют высокую устойчивость к шумовым помехам и вариациям условий съемки;
- открывается доступ к обнаружению сложных и латентных закономерностей износа, которые не поддаются описанию традиционными подходами;
- собранные признаки служат фундаментом для решения задач классификации состояния, поиска дефектов и оценки оставшегося ресурса оборудования.

Ниже представлена таблица анализа методов интеллектуального прогнозирования износа технических объектов, таблица 1.

Таблица 1. Сравнительный анализ методов интеллектуального прогнозирования

Методы	Библиотека/ инструмент	Основные возможности	Ограничения
Последовательностные модели	<ul style="list-style-type: none"> <li>• LSTM;</li> <li>• GRU</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Прогнозирование остаточного ресурса (RUL);</li> <li>• Моделирование процесса износа как последовательности</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Сложность обучения;</li> <li>• Ограниченная работа с изображениями напрямую</li> </ul>
Машинное обучение (ML)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SVM;</li> <li>• Random Forest;</li> <li>• XGBoost;</li> <li>• k-NN</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Классификация состояния;</li> <li>• Оценка степени износа по признакам;</li> <li>• Работа с табличными данными диагностики</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Требуют ручного извлечения признаков;</li> <li>• Ограничены в работе с изображениями;</li> <li>• Слабый анализ динамики</li> </ul>
Transformer-модели	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vision;</li> <li>• Transformer;</li> <li>• Time-series</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Моделирование долгосрочной динамики износа;</li> <li>• Анализ сложных зависимостей между состояниями</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Высокие вычислительные затраты;</li> <li>• Требуют больших датасетов</li> </ul>
Глубокое обучение (Deep Learning)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CNN;</li> <li>• ResNet;</li> <li>• EfficientNet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Автоматическое извлечение визуальных признаков износа;</li> <li>• Обнаружение трещин, коррозии, дефектов;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Не учитывает временную динамику без расширений;</li> <li>• Требует больших данных</li> </ul>
Гибридные методы	CNN+LSTM, CNN+Transformer, Physics-informed AI	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Одновременный анализ изображений и времени;</li> <li>• Наиболее точный прогноз остаточного ресурса;</li> <li>• Выявление сложных закономерностей износа;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Сложная архитектура;</li> <li>• Трудность настройки и обучения</li> </ul>

Наиболее эффективной схемой интеллектуального прогнозирования износа является гибридный метод, объединяющий CNN (анализ визуальных признаков) и LSTM/Transformer (моделирование временной динамики). Такая структура обеспечивает одновременно обнаружение дефектов, оценку их развития и прогнозирование остаточного ресурса, что делает её наиболее перспективной для систем предиктивного обслуживания технических объектов.

На основе выполненного анализа в рамках дальнейших исследований планируется разработка собственного алгоритма

интеллектуального прогнозирования износа технических объектов, построенных на гибридном методе. Такой подход позволит проводить точный прогноз остаточного ресурса и выявить закономерности износа.

#### Библиографический список

1. Jardine A.K.S., Lin D., Banjevic D. A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance // *Mechanical Systems and Signal Processing*. — 2006. — Vol. 20, No. 7. — P. 1483–1510.
2. Lei Y., Yang B., Jiang X., Jia F., Li N.,

Nandi A. K. Applications of machine learning to machine fault diagnosis: A review and roadmap // *Mechanical Systems and Signal Processing*. — 2018. — Vol. 138. — Art. 106587.

3. Баранов В.В. Надёжность технических систем и диагностика оборудования / В.В. Баранов — М.: Машиностроение,

2010. — 368 с.

4. Баранов А.В. Надёжность и диагностика технологических систем : учебное пособие / А. В. Баранов. – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2024. – 148 с.

5. Форсайт Д. Компьютерное зрение: Современный подход / Д. Форсайт, Ж. Понс. - М. [и др.]: Вильямс, 2004. - 926 с.

#### Информация об авторах

**Ефремов Николай Юрьевич** – аспирант кафедры автоматизированных и вычислительных систем, Воронежский государственный технический университет (394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20 лет Октября, 84), e-mail: kolia\_iefriemov@mail.ru

**Барабанов Владимир Федорович** – д-р. техн. наук, профессор, заведующий кафедрой автоматизированных и вычислительных систем, Воронежский государственный технический университет (394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20 лет Октября, 84), e-mail: bvf@list.ru.

#### Information about the author

**Nikolay Y. Efremov** – postgraduate student of the Department of Automated and Computing Systems, Voronezh State Technical University (84, 20 let Oktyabrya str., Voronezh, 394006, Russia), e-mail: kolia\_iefriemov@mail.ru

**Vladimir F. Barabanov** – Dr. Sciences (Technical), Acting Head of the Department of Automated and Computing Systems, Voronezh State Technical University (84, 20 let Oktyabrya str., Voronezh, 394006, Russia), e-mail: bvf@list.ru.

УДК 004.8

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

**Н.В. Чупахин<sup>1</sup>, В.Ф. Барабанов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Воронежский государственный технический университет*

**Аннотация:** Статья посвящена сравнению методов построения рекомендательных систем с акцентом на применение технологий искусственного интеллекта. Рассмотрены методы фильтрации, а также архитектуры глубокого обучения. Проанализированы их математические основы, преимущества, ограничения. Представлены результаты сравнительного анализа по ключевым критериям качества и эффективности.

**Ключевые слова:** рекомендательные системы, искусственный интеллект, коллаборативная фильтрация, контентная фильтрация, гибридные методы, глубокое обучение, графовые нейронные сети.

## COMPARATIVE ANALYSIS AND PROSPECTS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS APPLICATION IN RECOMMENDATION SYSTEMS

**Н.В. Чупахин<sup>1</sup>, В.Ф. Барабанов N.V. Chupakhin<sup>1</sup>, V.F. Barabanov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Voronezh State Technical University*

**Abstract:** The paper is devoted to comparing methods for constructing recommendation systems, with an emphasis on the application of artificial intelligence technologies. The paper considers filtering methods, as well as deep learning architectures. Much attention is given to their mathematical foundations, advantages, and limitations. The paper presents the results of a comparative analysis according to key criteria of quality and efficiency.

**Keywords:** recommender systems, artificial intelligence, collaborative filtering, content-based filtering, hybrid methods, deep learning, graph neural networks.

*Введение*

Рекомендательные системы (или системы рекомендаций) представляют собой комплекс программных средств и алгоритмических методов, основная функция которых заключается в формировании наиболее релевантных предложений по продуктам или услугам [1]. Ключевая особенность таких систем – способность к динамической адаптации: они непрерывно совершенствуются, прогнозируя предпочтения пользователей на основе анализа поведения, истории взаимодействий и коллективных закономерностей.

В зависимости от типа данных и целевых задач применяются различные методы

построения рекомендательных систем: коллаборативная фильтрация, контентная фильтрация, гибридные подходы и методы глубокого обучения. В последние годы всё большее внимание уделяется интеграции технологий искусственного интеллекта (ИИ), позволяющих повысить точность и персонализацию рекомендаций, а также частично решить проблему холодного старта.

Существует несколько наиболее распространенных методов построения рекомендательных систем, на рис. 1 представлена классификация методов рекомендательных систем.

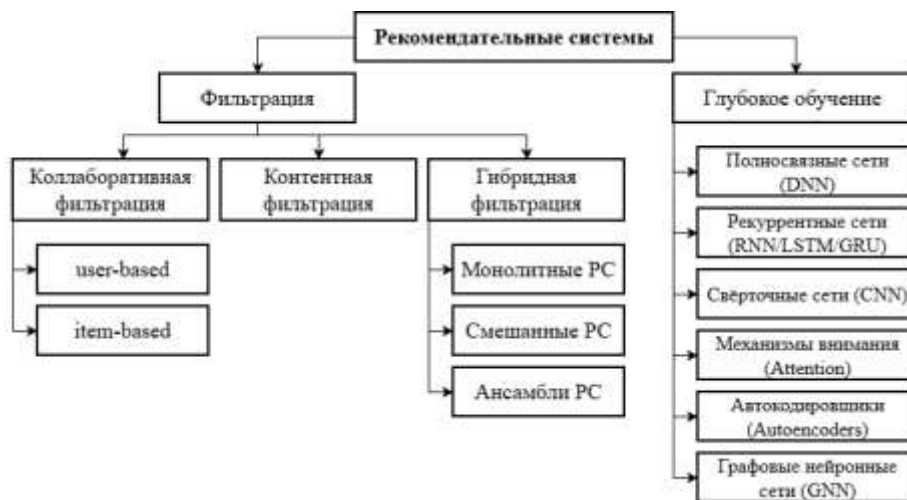


Рис. 1. Классификация рекомендательных систем

*Коллаборативная фильтрация*

Коллаборативная фильтрация опирается на поведенческий профиль пользователя, включающий паттерны его активности: историю переходов по ссылкам, взаимодействия с контентом, отмечаемые объекты, а также интерактивные метки реакции. Основной принцип метода заключается в предположении, что пользователи, проявившие схожие предпочтения в прошлом, будут иметь схожие интересы и в будущем [2].

В коллаборативной фильтрации можно выделить два базовых метода – это рекомендации, ориентированные на пользователей (user-based collaborative filtering) и рекомендации, ориентированные на продукты (item-based collaborative filtering).

User-based подход предполагает предложение товаров, которые покупали пользователи со схожими вкусами. Алгоритм идентифицирует группу k ближайших соседей  $N(u)$  для целевого пользователя  $u$  по вектору взаимодействий  $R_u$ . Формула

оценки интереса пользователя  $u$  к объекту  $i$ :

$$\hat{r}_{u,i} = \bar{r}_u + \frac{\sum_{v \in N(u)} \text{sim}(u,v) \cdot (r_{v,i} - \bar{r}_v)}{\sum_{v \in N(u)} |\text{sim}(u,v)|} \quad (1)$$

где  $\bar{r}_u$  – средняя оценка пользователя  $u$ ;

$\bar{r}_v$  – средняя оценка пользователя  $v$ ;

$r_{v,i}$  – рейтинг, который пользователь  $v$  присвоил товару  $i$ ;

$N(u)$  – набор пользователей, схожих с пользователем  $u$ ;

$\text{sim}(u, v)$  – мера сходства профилей (например, косинусное сходство или корреляция Пирсона).

Метод *item-based* рекомендует объекты, которые похожи по оценкам множества пользователей на ранее оценённые пользователем товары. Схожесть между объектами вычисляется на основе их общих оценок, а прогноз для нового объекта формируется как взвешенное среднее оценок похожих объектов. Для коллаборативной фильтрации на основе схожести объектов формула будет выглядеть следующим образом:

$$\hat{r}_{u,i} = \frac{\sum_{j \in N(i)} \text{sim}(i,j) \cdot r_{u,j}}{\sum_{j \in N(i)} |\text{sim}(i,j)|} \quad (2)$$

где  $N(i)$  – множество объектов, похожих на  $i$ , с которыми пользователь  $u$  взаимодействовал;

$\text{sim}(i, j)$  – мера сходства объектов;

$r_{u,j}$  – рейтинг, который пользователь  $u$  присвоил товару  $i$ .

#### *Контентная фильтрация*

Контентная фильтрация строит рекомендации на основе анализа характеристик (атрибутов) объектов, с которыми взаимодействовал пользователь. В отличие от коллаборативного подхода, данный метод не достигает того же уровня персонализации, поскольку рекомендации генерируются на основе структурного сходства объектов, а не анализа предпочтений пользователей.

Ключевое преимущество контентной фильтрации – независимость от данных других пользователей: рекомендации формируются исключительно из профиля одного пользователя и метаданных объектов. Метод работает с векторами признаков  $V_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{in})$  размерности  $n$  (число атрибутов), а профиль пользователя  $P_u$  – средневзвешенным вектором оцененных объектов.

Формально задачу оценки релевантности объекта для пользователя можно выразить через меру близости их векторов:

$$\hat{r}_{ui} = \text{sim}(P_u, V_i) \quad (3)$$

Для формирования векторов часто используется метод TF-IDF (Term Frequency – Inverse Document Frequency), позволяющий оценить важность отдельного атрибута в контексте всех объектов системы:

$$\text{TF-IDF}(t, d) = \text{TF}(t, d) \times \log\left(\frac{N}{\text{DF}(t)}\right) \quad (4)$$

где  $\text{TF}(t, d)$  – частота термина  $t$  в документе  $d$ ;

$N$  – общее количество документов;

$\text{DF}(t)$  – количество документов, содержащих термин  $t$ .

#### *Гибридные рекомендаторы*

Гибридные рекомендаторы представляют собой интеграцию различных рекомендательных подходов и реализуются в трёх основных архитектурных парадигмах.

Монолитные гибридные рекомендаторы интегрируют компоненты различных алгоритмических методов в единую слаженную систему. При такой архитектуре отдельные компоненты, полученные из различных рекомендательных подходов, например, алгоритм расчета сходства, отбор кандидатов и т.д., комбинируются на уровне модели.

Пример – Content-Boosted Collaborative Filtering (CBCF) алгоритм. Суть

подхода заключается в том, чтобы дополнить реальные оценки пользователей «псевдооценками», полученными на основе схожести контентной фильтрации. После чего используются в стандартной модели коллаборативной фильтрации. Такой

$$\hat{r}_{\text{mono}}(u, i) = \bar{r}_u + \frac{\sum_{v \in N(u)} \text{sim}(u, v) \cdot (\hat{r}_{v, i} - \bar{r}_v)}{\sum_{v \in N(u)} |\text{sim}(u, v)|} \quad (5)$$

где  $\hat{r}_{v, i}$  – псевдооценка, вычисляемая по формуле контентной фильтрации.

Таким образом, монолитные гибриды позволяют повысить общую производительность системы за счёт компенсации недостатков отдельных методов, но требуют настройки параметров интеграции, так как сбой работы одного компонента приводит к отказу всей системы.

Смешанные гибридные рекомендаторы возвращают комбинацию результатов всех входящих в него рекомендаторов, которые обрабатывают входные данные параллельно. При этом выходные оценки различных рекомендаторов подвергаются нормализации для обеспечения сопоставимости.

$$r_{\text{mixed}}(u, i) = \sum_{j=1}^k w_j \cdot r_j^{\text{norm}}(u, i) \quad (6)$$

где  $w_j$  – вес  $j$ -го рекомендатора;

$r_j^{\text{norm}}(u, i)$  – нормализованная оценка;

$k$  – количество рекомендаторов.

Преимущество смешанных рекомендаторов заключается в обеспечении достаточного количества рекомендаций без ущерба для их качества за счёт того, что многочисленные, менее персонализированные рекомендации одного алгоритма дополняют редкие и высокоточные результаты другого.

Согласно К. Фальку [3], ансамбли рекомендаторов объединяют результаты работы нескольких полноценных

комбинированный алгоритм позволяет повысить плотность входных данных и улучшить качество рекомендаций.

Формально, процесс можно описать по формуле коллаборативной фильтрации.

рекомендаторов, чьи прогнозы определённым образом комбинируются (например, голосованием с последующей сортировкой). Ключевое отличие ансамблей от смешанных гибридов заключается в том, что ансамбль может показывать результаты работы одного рекомендатора при формировании итогового набора рекомендаций, в то время как смешанный гибрид всегда показывает все результаты.

Формально такая система может быть описана формулой следующего вида:

$$\hat{r}_{\text{ens}}(u, i) = \sum_{j=1}^k w_j \cdot \hat{r}_j(u, i) \quad (7)$$

где  $\hat{r}_j(u, i)$  – предсказание  $j$ -го рекомендатора для пользователя  $u$  и объекта  $i$ ,

$w_j$  – весовой коэффициент.

Весы при этом подбираются несколькими способами:

- эмпирически (простое соотношение вроде 70/30);
- через линейную регрессию;
- динамически (с помощью A/B-тестирования).

Ансамбль обеспечивает системе гибкость, устойчивость к отказам отдельных компонентов и масштабируемость, однако требует значительных вычислительных ресурсов для параллельной работы нескольких рекомендаторов.

*Глубокое обучение*

Глубокое обучение (deep learning) представляет собой совокупность методов

машинного обучения, основанных на использовании искусственных нейронных сетей. Преимуществом глубоких нейронных сетей перед классическими методами фильтрации является выявление скрытых закономерностей и сложных нелинейных зависимостей в данных. Это позволяет создавать персонализированные рекомендации для каждого пользователя.

Согласно рисунку 1 популярными архитектурными подходами глубокого обучения можно назвать:

- полносвязные нейронные сети (Dense Neural Networks);
- рекуррентные сети (RNN, LSTM, GRU);
- свёрточные нейронные сети (CNN);

- механизмы внимания (Attention);
- автокодировщики (Autoencoders);
- графовые нейронные сети (GNN).

Часто перечисленные подходы являются частью сложных гибридных моделей, реализуя многоуровневую обработку – от генерации кандидатов до ранжирования. Однако применение этих методов сопряжено с высокой вычислительной сложностью, низкой интерпретируемостью и проблемой холодного старта, частично смягчаемой контекстной информацией или за счёт распространения сигнала от уже известных соседей в GNN. Ниже представлена сводная таблица сравнения методов по ключевым критериям, таблица 1.

Таблица 1 Сравнительный анализ методов рекомендательных систем

Методы	Коллаборат.	Контент.	Гибридные методы			Глубокое обучение
			Монолит.	Смешанная	Ансамбли	
<b>Персонализация</b>	Высокая	Средняя	Высокая	Высокая	Высокая	Очень высокая
<b>Требования к метаданным</b>	Нет	Требуются	Требуются	Требуются	Требуются	Нет
<b>Проблема холодного старта пользователя</b>	Критическая	Сложна	Смягчена	Смягчена	Смягчена	Частично решена
<b>Холодный старт объекта</b>	Критическая	Решена	Смягчена	Смягчена	Смягчена	Частично решена
<b>Интерпретируемость</b>	Средняя	Высокая	Средняя	Средняя	Средняя	Низкая
<b>Вычислительные затраты</b>	Низкие-средние	Низкие	Средние	Средние	Средние-высокие	Высокие
<b>Требования к данным (объём)</b>	Средний	Малый	Средний	Средний	Средний-большой	Очень большой
<b>Скорость вывода рекомендаций</b>	Быстрая	Быстрая	Средняя	Средняя	Средняя-медленная	Медленная
<b>Масштабируемость</b>	Высокая	Высокая	Высокая	Высокая	Высокая	Низкая
<b>Разнообразие рекомендаций</b>	Среднее	Низкое	Среднее-высокое	Высокое	Высокое	Высокое
<b>Устойчивость к ошибкам</b>	Низкая	Средняя	Средняя	Средняя	Высокая	Средняя

Таким образом, проведённый сравнительный анализ показал, что гибридные методы обеспечивают наилучший баланс между персонализацией, устойчивостью к проблеме холодного старта и вычислительной эффективностью. Глубокое обучение, включая графовые нейронные сети, является мощным, но ресурсоёмким инструментом, применимым лишь при наличии больших объёмов данных и несущественности требований к интерпретируемости.

На основе выполненного анализа в рамках дальнейших исследований планируется разработка собственной рекомендательной системы, построенной по ансамблевому принципу, где методы искусственного интеллекта будут использоваться как один из компонентов (либо в качестве генератора кандидатов, либо на этапе ранжирования). Такой подход позволит гибко

комбинировать преимущества различных алгоритмов.

### Библиографический список

1. Ricci F., Rokach L., Shapira B. Recommender Systems Handbook. – 2nd ed. – New York: Springer, 2015. – 1020 p. – ISBN 978-1-4899-7636-9.
2. Цылова Е. Г., Экгауз Е. Я. Коллаборативная фильтрация как метод учёта интересов пользователей в рекламе продукции // Вестник экономики, управления и права. 2014. №2 (27). 89-94 с.
3. Ким Фальк. Рекомендательные системы на практике / пер. с англ. Д. М. Павлова. – М.: ДМК Пресс, 2020. – 448 с.: ил.
4. Гудфеллоу Я. Глубокое обучение / Я. Гудфеллоу, И. Бенджио, А. Курвилль; пер. с англ. А. А. Слинкина. – 2-е изд., испр. – М.: ДМК Пресс, 2018. – 652 с.

### Информация об авторах

**Чупахин Николай Васильевич** – аспирант кафедры автоматизированных и вычислительных систем, Воронежский государственный технический университет (394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20 лет Октября, 84), e-mail: nikolaycupahin@gmail.com

**Барабанов Владимир Фёдорович** – д-р. техн. наук, профессор, заведующий кафедрой автоматизированных и вычислительных систем, Воронежский государственный технический университет (394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20 лет Октября, 84), e-mail: bvf@list.ru

### Information about the author

**Nikolay V. Chupakhin** – postgraduate student of the Department of Automated and Computing Systems, Voronezh State Technical University (84, 20 let Oktyabrya str., Voronezh, 394006, Russia), e-mail: nikolaycupahin@gmail.com

**Vladimir F. Barabanov** – Dr. Sci. (Technical), Professor, Head of the Department of Automated and Computing Systems, Voronezh State Technical University (84, 20 let Oktyabrya str., Voronezh, 394006, Russia), e-mail: bvf@list.ru

УДК 004.048

## МЕТОДЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ОРТОФОТОПЛАНОВ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВЫЯВЛЕНИЯ ЗОН ПАВОДКОВОГО ПОДТОПЛЕНИЯ

**Н.Ю. Вытовтова<sup>1</sup>, Н.А. Рындин<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Воронежский государственный технический университет

**Аннотация:** Статья посвящена рассмотрению методов машинного обучения, которые могут быть применены для цели распознавания зон паводкового подтопления на ортофотопланах. Изучены исходные данные и подобраны методы, позволяющие представить результаты распознавания в векторном слое формата GeoJSON.

**Ключевые слова:** семантическая сегментация, распознавание, контур, ортофотоплан, трассировка, ГИС, пиксель, компьютерное зрение, паводок, бинарное изображение.

## INTELLIGENT ORTHOPHOTO PROCESSING METHODS FOR AUTOMATED IDENTIFICATION OF FLOOD-PRONE ZONES

N.Y. Vytovtova <sup>1</sup>, N.A. Ryndin <sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Voronezh State Technical University*

**Abstract:** This article examines machine learning methods that can be applied to detect flood-prone zones on orthophotos. The source data was analyzed, and methods were selected to present the identification results in a GeoJSON vector layer.

**Keywords:** semantic segmentation, recognition, contour, orthophoto, tracing, GIS, pixel, computer vision, flood, binary image.

Весна 2026 года очередной раз продемонстрировала масштабы угрозы паводковых подтоплений для территорий Российской Федерации. Особенно сильно в результате наводнений пострадали Северный Кавказ (Республика Дагестан, Чеченская Республика), Поволжье (Республика Марий Эл, Чувашская Республика, Республика Татарстан), Сибирь и Дальний Восток (Республика Якутия (Саха), Забайкальский край). Сложным периодом для Воронежской области стала зима 2026 года, когда после формирования ледового покрова на реке Дон пришло потепление с обильными осадками, что сформировало сильный паводок и ситуацию уникального надледного течения. Общемировая статистика катастроф природного характера XXI века показывает, что на гидрологические чрезвычайные ситуации приходится 70% происшествий. Наводнения и штормы в них унесли свыше 159438 человеческих жизней и нанесли экономический ущерб в размере более 1 трлн. долларов [1].

Одной из форм предиктивной аналитики, используемой в МЧС России, является процесс изучения паводкоопасных районов с построением цифрового рельефа местности и контролем уровней гидропостов для формирования прогнозных моделей развития чрезвычайной ситуации [2].

Детальное изучение участков, подверженных сезонным рискам, происходит путем фотофиксации местности с беспилотных авиационных систем. Применяемые технологии позволяют осуществлять объединение последовательных фотоматериалов в единый растровый полигон. При объединении, кроме изображения, формируется цифровая модель рельефа (ЦМР). На ее основе формируются прогнозные значения зон затопления при повышении уровня воды. Однако автоматизированных решений позволяющих создать векторную маску фактического затопления не существует, и данная работа выполняется операторами оперативных дежурных смен вручную. Необходимость создания методов интеллектуальной обработки сформировала частную цель исследования – разработка метода фильтрации и сглаживания контура зоны затопления, полученного методом трассировки бинарной маски нейронной сети, с целью удаления ложных микроконтуров и замыкания разрывов, вызванных алгоритмом параллелизации вычислений.

При высоком уровне развития технологий сверточных нейронных сетей по распознаванию объектов задача обнаружения паводка остается вне типовых целей фиксации [3]. За счет спектральной неоднородности водной поверхности и неповторяемости

форм границ затопления нейронные сети ограничены в формах анализа признаков и, соответственно, в наборе коэффициентов факторов с высокой релевантностью. В итоге главным фактором сегментации является цвет пикселей [4]. Глобальная цель распознавания зон затопления имеет множество решаемых частных задач, одна из которых – представление работы нейросети в формат, применимый для принятия решений. В исследовании используются ортофотопланы – качественные снимки высокого разрешения, что представляет высокую вычислительную нагрузку на процессор при трассировке границ области подтопления. Алгоритм трассировки контуров объектов на изображении, реализованный в функции `cv::findContours` библиотеки `OpenCV`, является последовательным и плохо масштабируется на многоядерных системах. На основании анализа исходных данных получен вывод о значительных размерах исходных файлов, находящихся на грани вычислительных способностей типовых персональных компьютеров. Так, размер одного из анализируемых ортофотопланов в формате `TIFF` составляет 1884 Мбайт, а его разрешение – 30310×35939 px.

Операции с объектами такого размера требуют разработки алгоритмов оптимизации, в связи с чем разработан метод распараллеливания обработки ортофотопланов, который позволит производить трассировку контуров без разрывов на границах и потери информации об островах и внутренних озерах. Рассмотрим используемый метод, совместимый с уже функционирующими в аналитических центрах МЧС России, для нахождения контуров областей затопления на ортофотопланах в программе `AquaDetect_1.0`, написанной на языке программирования `Python` [5]. Для ускорения

обработки данных исходные файлы сжимаются до размера 10 Мбайт и анализируются алгоритмом Сатоши Судзуки [6]. При этом происходит потеря информативности на несколько порядков, и теряется возможность распознавать такие значительные объекты, как приусадебный участок. Для повышения качества отображения границ затопления предложен метод «Декомпозиция области». Данный метод обеспечивает ускоренную обработку большого изображения за счет разделения его на фрагменты (Рисунок 1а). Запустив функцию `cv2.findContours` на каждом фрагменте параллельно, мы сможем распределить обработку по разным ядрам процессора.

Так как обработка фрагментов изображения представляет собой задачу, где каждый фрагмент может обрабатываться независимо, применим для решения задачи параллельных вычислений в `Python` на ОС `Windows 10` следующие подходы [7]:

- Многопроцессорность – создание нескольких независимых процессов, каждый с собственным интерпретатором `Python`. Данный подход позволяет обойти ограничения `GIL (Global Interpreter Lock)`, но требует сериализации данных при межпроцессном взаимодействии. Объект `multiprocessing.Process()`.

- Многопоточность – использование нескольких потоков выполнения в рамках одного процесса. Преимуществом данного подхода является разделение общего адресного пространства, что минимизирует накладные расходы на передачу данных. Объект `threading.Thread()`.

В рассматриваемом примере входное бинарное изображение размером 2105×1471 px разделено на 16 равных частей (рис. 1а). Сравним результаты подходов параллелизации с последовательной

обработкой. Последовательная обработка показала время на выполнение операции 0,5845 сек., параллельная обработка – 0,1983 сек., что составило ускорение в 2.95 раза. Разница в выполнении операции на уровне долей секунды не имеет значимого влияния, но при увеличении анализируемого ортофотоплана до натуральных величин, время на обработку без алгоритмов оптимизации составило 39 часов. Необходимо

уточнить, что указанный временной промежуток включал в себя все этапы преобразований, включая обработку нейронной сетью, а не только трассировку контуров. Однако определение общего баланса приемлемого качества и подходов оптимизации является приоритетной задачей, решаемой опытными вычислениями на тестовых группах.

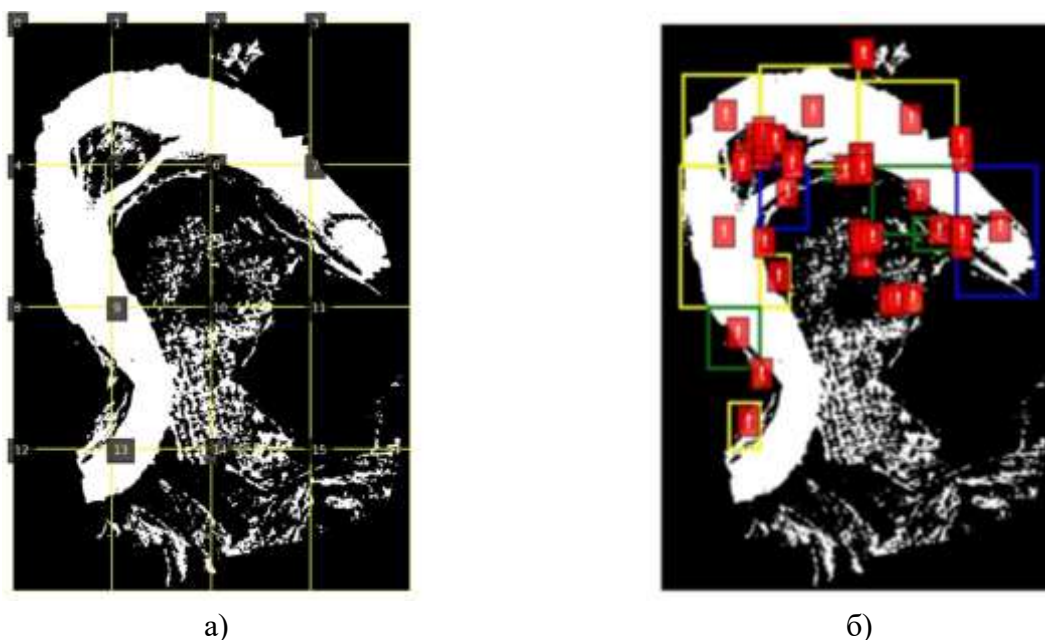


Рис. 1. Сегментация изображения с составной смысловой нагрузкой:  
а) бинарное изображение области подтопления, разбитое на фрагменты;  
б) контуры с ошибкой

Как видно по рисунку 1б, результаты для параллельных процессов при использовании библиотеки OpenCV на ОС Windows отражают фундаментальную проблему. После разделения на части для каждого вычислительного модуля, уменьшения нагрузки на оперативную память за счет выделения расчетной области и ускорения процесса, появляется необходимость обратного сопоставления векторных областей, что вводит дополнительную логическую операцию и без разработки дополнительных методов приводит к ошибке.

Для проведения тестовых циклических расчетов на основании исследования разработана и зарегистрирована программа для ЭВМ «Система параллельной обработки растровых данных дистанционного зондирования Земли для автоматизированного определения контуров водных поверхностей «VectorFlow\_1.0»» [8]. Предложенный метод оптимизации построения контуров бинарных изображений за счет параллелизации вычислений показал свою эффективность и требует дальнейшей проработки для получения комплексного

решения, позволяющего распознавать зоны паводка.

### Библиографический список

1. Королев Д.С., Калач А.В. Опыт применения информационных ресурсов для мониторинга и прогнозирования возникновения ЧС природного характера на примере Воронежской области // Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы. Мониторинг, предотвращение и ликвидация чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Материалы международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2021. С. 251-256.

2. Королев, Д. С. Анализ эффективности работы системы пожарной безопасности на основе цифрового двойника объекта защиты / Д. С. Королев, А. В. Вытовтов // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2022. – № 2(62). – С. 42-51. – EDN UWZLDE.

3. Conversion of a Color Image to a Binary Image [Преобразование цветного изображения в бинарное] // CoderSource.net. – 2005. – 18 April. – URL: [https://web.archive.org/web/20080610000000\\*/http://www.codersource.net/csharp\\_color\\_t\\_o\\_binary.html](https://web.archive.org/web/20080610000000*/http://www.codersource.net/csharp_color_t_o_binary.html) (дата обращения: 25.12.2025). – Архивная копия от 10.06.2008.

4. Miyatake, T., Matsushima, H. & Ejiri, M. Contour representation of binary images using run-type direction codes. Machine

Vision and Applications 9, 193–200 (1997).

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025693822 Российская Федерация. Система автоматизированного детектирования объектов на основе данных дистанционного зондирования Земли (АкваДетект 1.0): заявл. 17.10.2025; опубл. 02.12.2025 / А. В. Вытовтов; заявитель Российская Федерация, от имени которой выступает Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. – EDN LOZYNN.

6. Suzuki, S. and Keiichi, A. (1985) Topological Structural Analysis of Digitized Binary Images by Border Following. Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 30, 32-46.

7. Chang F., Chen C.-J., Lu C.-J. A linear-time component-labeling algorithm using contour tracing technique // Computer Vision and Image Understanding. – 2004. – Vol. 93, № 2. – P. 206–220.

8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2026614186 Российская Федерация. Система параллельной обработки растровых данных дистанционного зондирования Земли для автоматизированного определения контуров водных поверхностей «VectorFlow\_1.0»: заявл. 10.02.2026; опубл. 13.02.2026 / Н. Ю. Вытовтова. – EDN PXMDSI.

### Информация об авторах

**Вытовтова Наталья Юрьевна** – магистрант кафедры компьютерных интеллектуальных технологий проектирования, Воронежский государственный технический университет (394006, Россия, г. Воронеж, ул. Плехановская, 11), e-mail: natvito@yandex.ru

**Рындин Никита Александрович** – доктор технических наук, профессор кафедры искусственного интеллекта и цифровых технологий, Воронежский государственный технический университет (394006, Россия, г. Воронеж, ул. Плехановская, 11), e-mail: hrimfaxi@icloud.com

### Information about the author

**Natalya Yuryevna Vytovtova** – master's student, Department of Computer-Aided Intelligent Design Technologies, Voronezh State Technical University (11 Plekhanovskaya St., Voronezh, 394006, Russia), e-mail: natvito@yandex.ru

**Nikita Alexandrovich Ryndin** – doctor of Technical Sciences, Professor of the Artificial Intelligence and Digital Technologies Department, Voronezh State Technical University (394006, Russia, Voronezh, Plekhanovskaya st., 11), e-mail: hrimfaxi@icloud.com

## АКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ И БАЗЫ ДАННЫХ

УДК 004.4'226:656.13

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ  
АВТОМАТИЗАЦИИ РАБОТЫ АВТОСЕРВИСА  
ЛОГИСТИЧЕСКОЙ КОМПАНИИТ.В. Гладких<sup>1</sup><sup>1</sup> Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова

**Аннотация:** В статье представлена разработка программного приложения, предназначенного для автоматизации процессов работы автосервиса логистической компании. Основная цель приложения – оптимизация и повышение эффективности работы автосервиса, улучшение качества обслуживания клиентов и снижение временных и материальных затрат. Особое внимание уделено удобству интерфейса приложения и интеграции с корпоративными информационными системами компании. Предполагается, что внедрение приложения позволит значительно повысить пропускную способность автосервиса, снизить процент ошибок и недовольства клиентов, а также оптимизировать затраты на обслуживание и ремонт автопарка.

**Ключевые слова:** программное приложение, автоматизация, автосервис, логистическая компания, информационные технологии, оптимизация

DEVELOPMENT OF A SOFTWARE APPLICATION FOR AUTOMATING  
THE AUTO-SERVICE WORK OF A LOGISTICS COMPANYT.V. Gladkikh<sup>1</sup><sup>1</sup> G.F. Morozov Voronezh State Forestry University

**Abstract:** The article presents the development of a software application designed to automate the processes of a logistics company's auto-service. The main goal of the application is to optimize and improve the efficiency of the auto-service, enhance the quality of customer service, and reduce time and material costs. Special attention is paid to the convenience of the application interface and its integration with the company's corporate information systems. It is expected that the implementation of the application will significantly increase the capacity of the car service center, reduce the number of errors and customer dissatisfaction, and optimize the costs of maintaining and repairing the fleet.

**Keywords:** software application, automation, car service center, logistics company, information technology, optimization

Логистические компании располагают большим парком транспортных средств, которые регулярно нуждаются в обслуживании и ремонте. Эффективное управление этими процессами играет ключевую роль в обеспечении бесперебойной работы компании и сохранении ее конкурентоспособности. Современные технологии позволяют автоматизировать большинство рутинных задач, что существенно снижает затраты времени и ресурсов,

повышает качество обслуживания и уменьшает вероятность ошибок [1].

В настоящее время работа сервисного подразделения логистической компании по предоставлению услуг автосервисом осложняется значительным объёмом информации, большая часть которой хранится в бумажном виде. Это приводит к необходимости тратить много времени на поиск нужных данных, поскольку сотрудники вынуждены постоянно обращаться к

бумажным архивам и вручную обрабатывать информацию, не имея возможности использовать автоматизированные системы [2].

Поэтому применение современных средств автоматизации позволит решить поставленные задачи с требуемым качеством и оперативностью.

В связи с этим было принято решение о разработке программного приложения для автосервисного отдела логистической компании, которое позволит решить следующие задачи:

- проводить учет работников компании;
- проводить учет данных об исполненных заказах;
- проводить учет данных об автомобильном транспорте и водителях, которые им управляют;
- осуществлять фильтрацию данных;
- проводить учет данных о поставщиках, которые занимаются вопросами поставки запасных частей для автомобильного транспорта;
- проводить учет данных о запасных частях для автомобильного транспорта.

Проведя анализ предметной области, была составлена бизнес-модель ведения деятельности по учету и анализу оказанных

услуг автосервисным отделом логистической компании [3].

Графическое представление данной модели (диаграмма «как есть») показано на рис. 1.

На рис. 2 показаны подпроцессы, которые бывают в работе автосервисного отдела.

Анализ этих бизнес-процессов позволил выявить недоработки, которые существуют в работе автосервиса логистической компании без применения средств автоматизации:

- отсутствует система отчетов о выполненных заказах сотрудниками;
- присутствует ручное заполнения журналов учета в бумажном виде;
- присутствует риск внесения в журналы некорректной информации.

На основе проведенного анализа, был сделан вывод о необходимости разработки программного приложения, которое позволит устранить все выявленные в работе автосервисного отдела недостатки [4].

На рис.3 представлена диаграмма «Как будет», демонстрирующая описание бизнес-процесса по учету и анализу оказанных услуг в автосервисном отделе логистической компании с использованием разрабатываемого программного приложения.



Рис. 1. Диаграмма «Как есть»

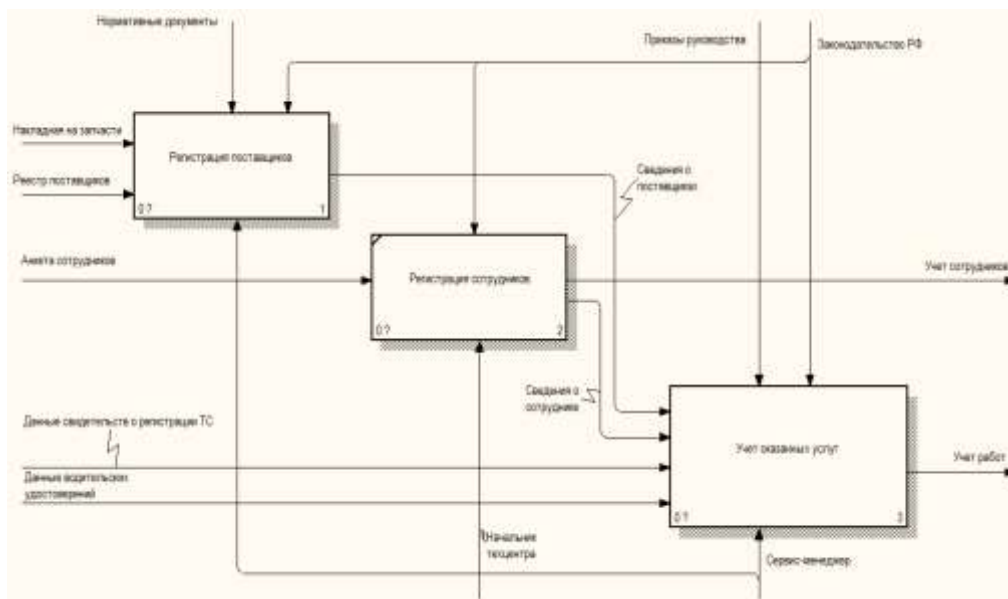


Рис. 2. Диаграмма декомпозиции «Как есть»



Рис. 3. Диаграмма «Как будет»

Рис.3 демонстрирует, что на выходе в результате использования программного приложения появляются отчеты о проделанных заказах и в качестве объекта управления появилась ПП и инструкция пользователя.

На рис.4 представлена диаграмма декомпозиции «Как будет», которая состоит из следующих процессов:

- регистрация поставщиков;

- регистрация сотрудников;
- учет выполненных услуг;
- формирование отчета о выполненных заказах.

На рис. 5 представлена структурная схема программного приложения, которая показывает состав и взаимодействие частей приложения, которое взаимодействует посредством базы данных.

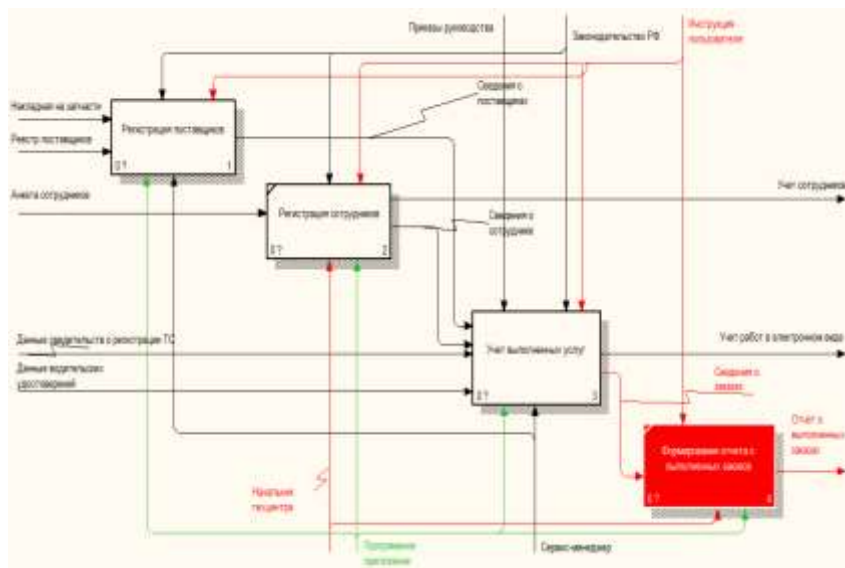


Рис. 4. Диаграмма декомпозиции модели «Как будет»

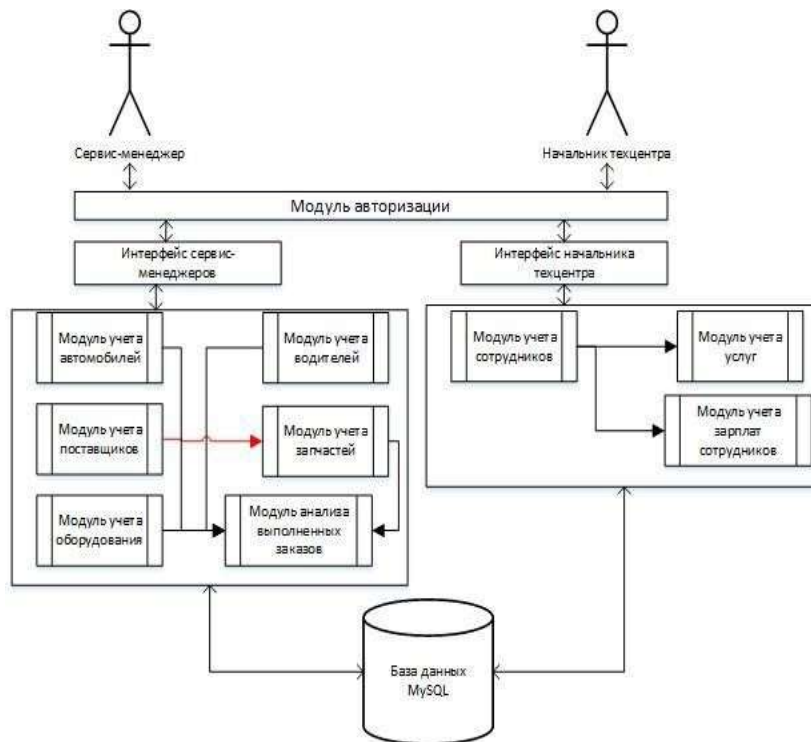


Рис. 5. Структурная схема программного приложения

Программное приложение разрабатывалось с помощью интегрированной среды разработки Microsoft Visual Studio и СУБД MySQL [5-7]. Физическая модель БД, изображенная на рис. 6, была сформирована в PhpMyAdmin.

В результате разработки

информационного обеспечения было выделено восемь сущностей, которые характеризуют бизнес-процесс по учету работ автосервисного отдела логистической компании.

Программным приложением может воспользоваться несколько участников

данного процесса, поэтому рис. 7 характеризует процесс авторизации [8].

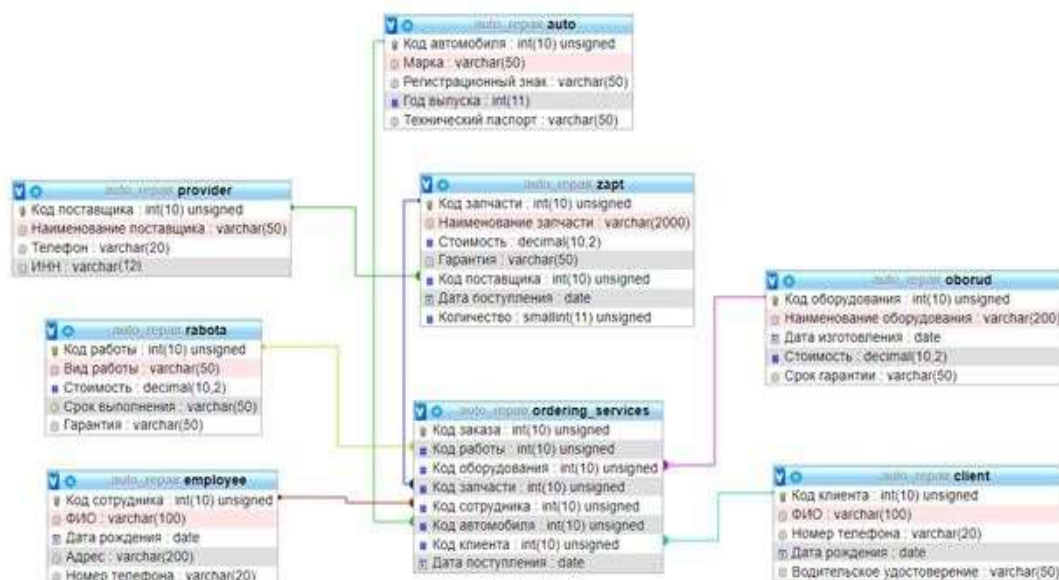


Рис. 6. Схема базы данных

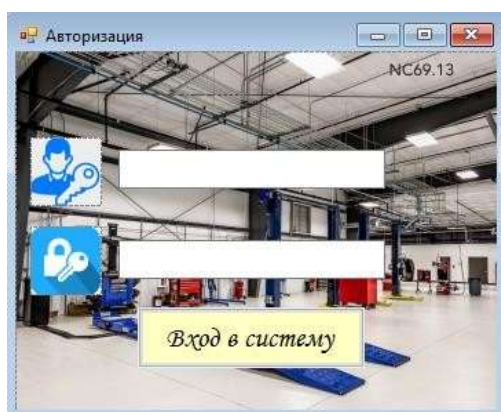


Рис. 7. Процесс авторизации



Рис. 8. Работа с данными об автомобиле

На рис. 8 представлена форма, позволяющая редактировать сведения об автомобилях, которые обслуживаются в автосервисе.

Макет раздела «Сотрудники» приведен на рис.9. Также на вкладках приведены отчеты о работе автосервиса. Данная форма предназначена для работы начальнику техцентра.

На рис.10 предоставлена форма, предоставляющая пользователю возможность работы с данными о водителях.



Рис. 9. Работа с данными о сотрудниках

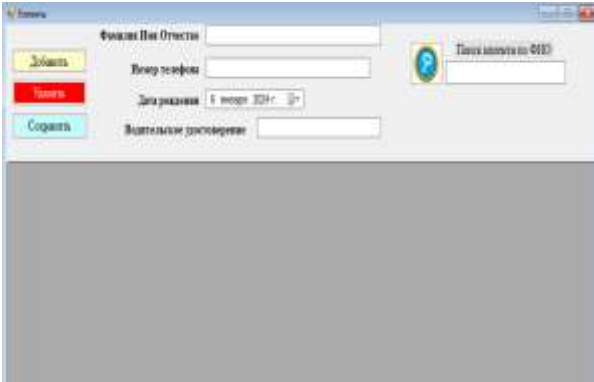


Рис. 10. Работа с данными о водителях

Рис. 11 демонстрирует возможность работы с данными о поставщиках.



Рис. 11. Работа с данными о поставщиках

Рис. 12 демонстрирует возможность работы с данными о запасных частях автомобильного транспорта.

Рис. 13 демонстрирует возможность работы пользователя с данными для сервис-менеджера.

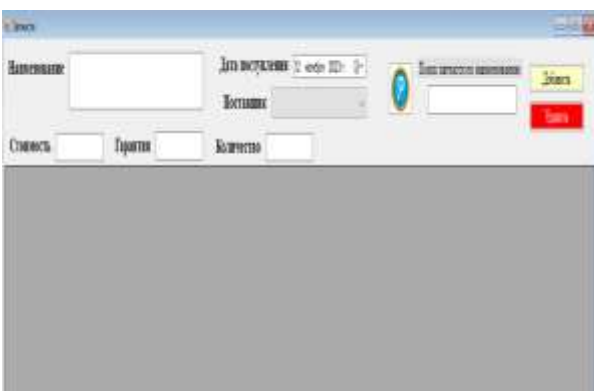


Рис. 12. Работа с данными о запасных частях автомобильного транспорта



Рис. 13. Макет главной формы

Выполненный контрольный пример, посредством данного приложения, показал высокую эффективность разработанного программного продукта. Кроме того, приложение имеет простой графический интерфейс, открытый исходный код, что позволит в дальнейшем усовершенствовать ее под нужды автосервиса, например, используя доступ к электронным видам документов.

Внедрение данного приложения позволит:

- повысить пропускную способность автосервиса;
- сократить время ожидания клиентов;
- оптимизировать затраты на обслуживание и ремонт автомобилей;
- повысить удовлетворенность клиентов качеством обслуживания.

Таким образом, разработанное приложение существенно увеличит эффективность работы автосервиса, снизит издержки и повысит общую конкурентоспособность логистической компании.

### Библиографический список

1. Бобылева М. П. Управленческий документооборот: от бумажного к электронному. Вопросы теории и практики. – 3-е изд, перераб. и доп.– М.: ООО

«ТЕРМИКА.РУ», 2023.-426 с.

2. Гладких Т. В. Программный инструментарий решения актуальных задач учета и управления. Учеб. пособие / Гладких Т. В., Коробова Л. А., Ивлиев М.Н. - Воронеж: ВГУИТ, 2022. – 71 с.

3. Автопредприятие [Электронный ресурс]. URL: <https://www.autosoft.ru/products/autoshop/> (дата обращения: 21.03.2026).

4. Исаев Г. Н. Проектирование информационных систем: учебное пособие. М.:

Омега-Л/ - 2015. - 424 с.

5. Конолли Т. Базы данных. Проектирование, реализация и сопровождение. Теория и практика. М.: Вильямс, 2017. - 1440 с.

6. Боуман Д. Практическое руководство по SQL. М.: Мир, 2015. - 328 с.

7. SQL Server [Электронный ресурс]. URL: <https://www.microsoft.com/ru-ru/sql-server> (дата обращения: 21.03.2026).

8. Бадд Т. Объектно-ориентированное программирование в действии. М.: Питер, 2016.-400 с.

#### Информация об авторах

Гладких Татьяна Васильевна – кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной техники и информационных систем, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова (394087, Россия, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8), e-mail: gtv1113@rambler.ru

#### Information about the author

Gladkikh Tatyana Vasilyevna – candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Computer Engineering and Information Systems, G.F. Morozov Voronezh State Forestry University (8 Timiryazeva Street, Voronezh, 394087, Russia), e-mail: gtv1113@rambler.ru

УДК 621.67:004.942

## АЛГОРИТМ ПРЕДИКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ НАСОСНОЙ СТАНЦИЕЙ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ С ВИБРАЦИОННЫХ ДАТЧИКОВ И ОБЛАЧНОЙ ПЛАТФОРМЫ

И.Р. Асадуллин <sup>1</sup>, В.Д. Сандаков <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Казанский государственный энергетический университет

**Аннотация:** Статья посвящена разработке алгоритма предиктивного управления насосной станцией. Предлагается использовать данные с вибрационных датчиков, передаваемые через облачную платформу, для прогнозирования отказа оборудования и изменения режима работы. Приведены математические выражения для оценки среднеквадратичного значения вибрации и скорости её роста. Описана логика принятия решений.

**Ключевые слова:** предиктивное управление, насосная станция, вибрационные датчики, интернет вещей, облачная платформа, MQTT, автоматизация технологических процессов.

## PREDICTIVE CONTROL ALGORITHM FOR A PUMPING STATION BASED ON DATA FROM VIBRATION SENSORS AND A CLOUD PLATFORM

I.R. Asadullin <sup>1</sup>, V.D. Sandakov <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Kazan State Power Engineering University

**Abstract:** The article is devoted to the development of a predictive control algorithm for a pumping station. It is proposed to use data from vibration sensors transmitted via a cloud platform to predict equipment failure and change the operating mode. Mathematical expressions for estimating the root mean square value of vibration and its growth rate are given. The decision-making logic is described.

**Keywords:** predictive control, pumping station, vibration sensors, Internet of Things, cloud platform, MQTT, process automation.

Начнём с того, что центробежные насосы являются одним из ключевых элементов современных систем водоснабжения, отопления и циркуляции теплоносителя на энергетических объектах. Как справедливо отмечается в классической работе по автоматизации [1], отказ такого оборудования часто приводит к аварийным простоям, дорогостоящему ремонту и, что самое опасное, к нарушению всего технологического процесса. Традиционные системы автоматизации, которые до сих пор используются на многих предприятиях, основаны на контроле предельных значений температуры подшипника или тока двигателя. Однако, как показывает практика, такой подход не способен обнаружить предотказное состояние оборудования на ранней стадии.

Перейдём к вопросу диагностики. Одним из наиболее информативных параметров, позволяющих «заглянуть внутрь» работающего агрегата, является вибрация. В учебном пособии по вибрационной диагностике [2] подчёркивается, что рост уровня вибрации даёт возможность своевременно выявить дисбаланс рабочего колеса, износ подшипников или ослабление креплений – задолго до того, как произойдёт авария. Стоит также отметить, что развитие технологий интернета вещей (Internet of Things, IoT) и облачных платформ, о которых подробно рассказано в обзоре [3], открывает новые горизонты для непрерывного мониторинга вибрации с последующей интеллектуальной обработкой данных. Как отмечает Ершов [4] в своей недавней статье, посвящённой проблемам предиктивной аналитики в России, ключевым вызовом является необходимость сбора и обработки огромных массивов достоверных данных

при минимальной нагрузке на вычислительную инфраструктуру. Именно поэтому в качестве альтернативы полностью облачным решениям предлагается использовать edge-вычисления, которые мы также задействуем в нашей работе.

С учётом сказанного, целью настоящей работы является разработка алгоритма предиктивного управления насосной станцией, который на основе данных с вибрационных датчиков прогнозирует приближение отказа и изменяет режим работы оборудования.

Теперь конкретизируем, что именно мы рассматриваем. В качестве объекта исследования взят центробежный насос, работающий в системе циркуляции теплоносителя типовой котельной. На корпусе насоса установлен трёхосный вибрационный датчик с рабочим диапазоном частот 10–1000 Гц. Дополнительно, как это обычно и делается на практике, контролируются ток двигателя и температура подшипника – эти параметры служат резервными каналами диагностики. Управление частотой вращения вала осуществляется преобразователем частоты (ПЧ).

Итак, перед нами стоит следующая задача. Требуется разработать алгоритм, который в реальном времени обрабатывает данные вибрации и формирует один из трёх управляющих сигналов:

1. Нормальный режим – работа без ограничений.
2. Предупредительный режим – снижение частоты вращения на 20% и уведомление оператора.
3. Аварийный режим – полная остановка насоса.

Как будет показано ниже, именно такое трехуровневое разделение позволяет

избежать как ложных срабатываний, так и пропуска опасной ситуации.

Прежде чем переходить к математическим выкладкам, давайте посмотрим, из

каких компонентов состоит предлагаемая система. На рисунке 1 представлена архитектура разработанного решения.

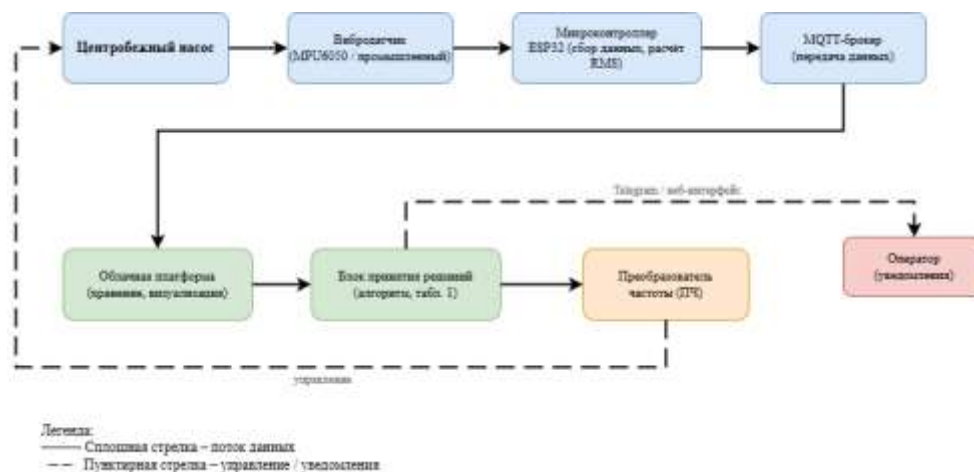


Рис. 1. Архитектура системы предиктивного управления насосной станцией

Обратим внимание на ключевые элементы этой схемы. Микроконтроллер ESP32, который обладает встроенным Wi-Fi и достаточной вычислительной мощностью для обработки сигналов в реальном времени, производит опрос датчика с частотой 1 кГц. Затем он вычисляет скользящее среднеквадратичное значение (RMS) вибрации за интервал 10 секунд и отправляет результат на MQTT-брокер. Почему выбран именно MQTT? Как показано в работе [5], где сравниваются MQTT, CoAP и HTTP, протокол MQTT благодаря своей лёгкости (lightweight), архитектуре «издатель-подписчик» и поддержке уровней качества обслуживания QoS 0, 1, 2 является наиболее подходящим для промышленных IoT-приложений с ограниченной пропускной способностью канала. Далее облачная платформа принимает данные, запускает алгоритм принятия решений и возвращает команды управления обратно на преобразователь частоты. Кроме того, как показано на схеме, оператор получает уведомления через веб-интерфейс или Telegram-бота.

Теперь перейдём к самому главному – к тому, как именно принимаются решения. Опишем алгоритм.

Для каждого момента времени  $t$  вычисляется RMS вибрации по формуле:

$$V_{RMS}(t) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i^2} \quad (1)$$

Где  $v_i$  – мгновенные значения виброускорения в окне из  $N$  отсчётов. Длительность окна принята равной 10 секундам. Такой подход позволяет сгладить случайные выбросы и получить устойчивую оценку.

Однако одного лишь абсолютного значения вибрации недостаточно. Ведь плавный износ и внезапный отказ требуют разных реакций системы. Поэтому для обнаружения резкого ухудшения состояния оборудования вычисляется производная RMS вибрации по времени:

$$\Delta V(t) = \frac{V_{RMS}(t) - V_{RMS}(t - T_0)}{T_0} \quad (2)$$

где  $T_0$  – интервал между измерениями. В нашей работе принят  $T_0=60$  секунд. Если эта величина превышает критический

порог, мы имеем дело с аварийно опасной ситуацией, даже если абсолютное значение вибрации ещё не достигло предела.

В таблице 1 приведены пороговые значения и соответствующие управляющие решения. Эти пороги не взяты «с потолка» – они определены на основе рекомендаций

Таблица 1 Логика принятия решений

Условие	Решение
$V_{RMS} < V_{норм}$	Нормальный режим. Частота вращения – по заданию оператора.
$V_{норм} \leq V_{RMS} < V_{пред}$ и $\Delta V < \Delta V_{крит}$	Предупреждение оператору. Режим работы не изменяется.
$V_{норм} \leq V_{RMS} < V_{пред}$ и $\Delta V \geq \Delta V_{крит}$	Предупредительный режим: снижение частоты вращения на 20%, уведомление оператора.
$V_{RMS} \geq V_{авар}$	Аварийный режим: остановка насоса, отправка аварийного сообщения.

Принятые значения:  $V_{норм}=2,5$  мм/с,  $V_{пред}=5,0$  мм/с,  $V_{авар}=7,5$  мм/с,  $\Delta V_{крит}=0,1$  мм/с<sup>2</sup>. Как уже было сказано, эти значения соответствуют рекомендациям стандартов [6, 7] для насосов средней мощности. В стандарте [6] предусмотрено четыре зоны вибрационного состояния: А (хорошо), В (удовлетворительно), С (недопустимо) и D (авария). Назначенные пороги  $V_{норм}$ ,  $V_{пред}$  и  $V_{авар}$  как раз соответствуют границам между этими зонами.

Перейдём теперь к проверке работоспособности разработанного алгоритма. Для этого был собран лабораторный стенд, включающий малогабаритный центробежный насос номинальной мощностью 250 Вт, вибродатчик MPU6050, микроконтроллер ESP32 и преобразователь частоты. Технические характеристики ESP32 подробно описаны в документации производителя [8]. Искусственный дисбаланс создавался простым, но эффективным способом – путём установки дополнительного груза на рабочее колесо.

международного стандарта ISO 10816-3:2009 [6] и его отечественного аналога ГОСТ Р ИСО 10816-3-2002 [7], которые регламентируют контроль вибрации промышленных машин мощностью свыше 15 кВт.

Для наглядного представления результатов на рисунке 2 представлены графики изменения RMS вибрации во времени при трёх характерных сценариях: нормальная работа, постепенный износ подшипника и аварийный дисбаланс.

Обратим внимание на ключевые моменты. В сценарии постепенного износа (зелёная кривая) алгоритм зафиксировал превышение порога  $V_{пред}$  через 150 секунд. Однако, поскольку скорость роста  $\Delta V$  была ниже критической, система выдала только предупреждение оператору, не останавливая процесс. Это разумно – зачем останавливать оборудование, если проблема развивается медленно и есть время на плановый ремонт?

Совсем иначе ведёт себя красная кривая, соответствующая внезапному дисбалансу. Здесь алгоритм обнаружил высокую скорость роста ( $\Delta V > \Delta V_{крит}$ ) уже через 15 секунд и немедленно инициировал снижение частоты вращения. А при достижении уровня  $V_{авар}=7,5$  мм/с была выдана

команда на аварийную остановку насоса. Время от момента первого превышения порога до остановки составило около 25

секунд – этого достаточно, чтобы безопасно завершить технологический цикл.

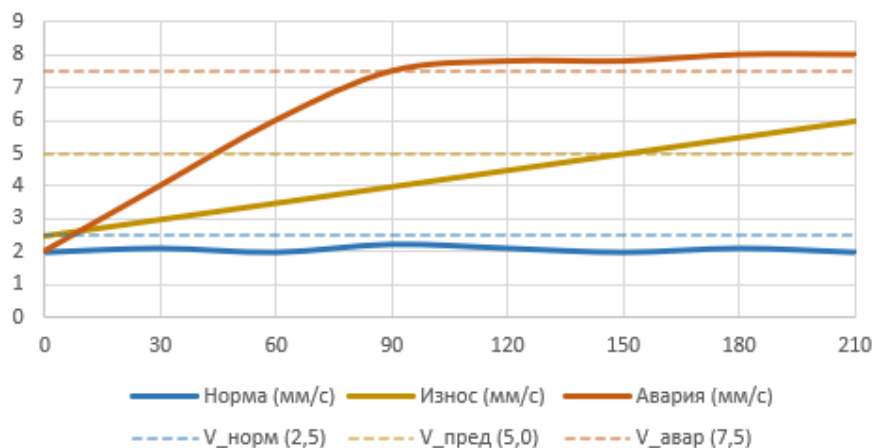


Рис. 2. Графики изменения RMS вибрации во времени при нормальной работе, износе подшипника и аварийном дисбалансе

Подведём итоги. В ходе выполнения данной работы был разработан и экспериментально апробирован алгоритм предиктивного управления насосной станцией, использующий данные с вибрационных датчиков, передаваемые через облачную платформу. Позволим себе перечислить основные результаты:

1. Предложены математические выражения для расчёта RMS вибрации и скорости её роста – они просты, но в то же время эффективны.

2. Разработана пороговая логика принятия решений, которая позволяет различать плавный износ и внезапный отказ. Как показано в таблице 1, именно учёт производной  $\Delta V$  играет здесь ключевую роль.

3. Экспериментально подтверждена возможность обнаружения предотказного состояния за 15–30 секунд до достижения критического уровня вибрации.

4. Алгоритм может быть реализован на стандартных микроконтроллерах (ESP32, Arduino) и интегрирован с любым MQTT-совместимым облачным сервисом,

что делает его доступным для широкого круга промышленных предприятий.

В заключение стоит сказать несколько слов о перспективах. Дальнейшие исследования могут быть направлены на добавление спектрального анализа вибрации для идентификации конкретного типа дефекта (например, дисбаланс, расцентровка или кавитация), а также на применение простых нейросетевых классификаторов. Как отмечает Ершов [4], именно мультимодальные подходы, сочетающие экспертные знания и методы машинного обучения, зачастую лучше подходят для решения сложных задач современной промышленности. Однако и предложенный пороговый алгоритм, как показали эксперименты, уже даёт вполне практический результат, особенно на начальном этапе внедрения систем предиктивной аналитики.

#### Библиографический список

1. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем: Пер. с англ. / Дж. Питерсон; под ред. В.А. Горбатова. – М.: Мир, 1984. – 264 с.

2. Барков А.В., Баркова Н.А. Вибрационная диагностика машин и оборудования: учебное пособие. – Красноярск, 2015. – 84 с.

3. Mineraud J., Mazhelis O., Su X., Tarkoma S. Contemporary Internet of Things platforms // Journal of Network and Computer Applications. – 2016. – Vol. 69. – P. 51-71.

4. Ершов А.Н. Актуальные проблемы развития предиктивной аналитики в промышленности // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2025. – Т. 23, № 3. – С. 187-194.

5. Jaggi S. IoT Protocols: Comparing MQTT, CoAP, and HTTP for Efficient Device Communication // Department of Computer Science and Engineering, Chandigarh College

of Engineering and Technology. – Chandigarh, India. – P. 1-8.

6. ISO 10816-3:2009. Mechanical vibration – Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts – Part 3: Industrial machines with nominal power above 15 kW and nominal speeds between 120 r/min and 15000 r/min.

7. ГОСТ Р ИСО 10816-3-2002. Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 3. Промышленные машины номинальной мощностью свыше 15 кВт и номинальной частотой вращения от 120 до 15000 мин<sup>-1</sup>.

8. Espressif Systems. ESP32 Series Datasheet v5.2. – 2025. – 78 p.

#### Информация об авторах

**Асадуллин Ислам Ровшанович** – студент, Казанский государственный энергетический университет (420066, Россия, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51), e-mail: islam.asadullin@mail.ru

**Сандаков Виталий Дмитриевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий и интеллектуальных систем, Казанский государственный энергетический университет (420066, Россия, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51), e-mail: vitalysandakov@gmail.com

#### Information about the author

**Islam R. Asadullin** – student, Kazan State Power Engineering University (51 Krasnoselskaya str., Kazan, 420066, Russia), e-mail: islam.asadullin@mail.ru

**Vitaly D. Sandakov** – candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information Technologies and Intelligent Systems, Kazan State Power Engineering University (51 Krasnoselskaya str., Kazan, 420066, Russia), e-mail: vitalysandakov@gmail.com

УДК 004.418

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ МАЛОГО БИЗНЕСА

Р.Р. Сагидуллин<sup>1</sup>, Е.А. Салтанаева<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Казанский государственный энергетический университет

**Аннотация:** Статья посвящена проектированию информационно-аналитической системы для малого бизнеса. Предложена функциональная модель IDEF0 с аналитическим ядром на основе ABC-анализа, XYZ-анализа и метода скользящего среднего. Спроектированы логическая модель базы данных и трёхуровневая архитектура.

**Ключевые слова:** информационно-аналитическая система, малый бизнес, бизнес-аналитика (BI), цифровая трансформация, прогнозирование спроса, управление данными, проектирование.

## DESIGNING OF AN INFORMATION AND ANALYTICAL SYSTEM FOR SMALL BUSINESSES

R.R. Sagidullin<sup>1</sup>, E.A. Saltanaeva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Kazan State Power Engineering University

**Abstract:** The article is devoted to the design of an information and analytical system for small businesses. An IDEF0 functional model with an analytical core based on ABC analysis, XYZ analysis, and the moving average method is proposed. A logical database model and a three-tier architecture are designed.

**Keywords:** information and analytical system, small business, business intelligence (BI), digital transformation, demand forecasting, data management, and design.

Цифровая трансформация малого предпринимательства является ключевым драйвером экономического роста: по оценкам SCG, вклад малого и среднего бизнеса (МСБ) в экономику России в 2025 году достиг 20 – 23%, а среднегодовой темп роста рынка цифровой трансформации составляет около 21%. Цифровизация необходима для масштабирования и сохранения конкурентоспособности бизнеса на рынке, поэтому 9 из 10 представителей МСБ активно внедряют цифровые решения в свою структуру [1]. Однако эффективная цифровизация невозможна без внедрения инструментов бизнес-аналитики. Информационно-аналитические системы (ИАС) – комплекс программ, предназначенных для обработки информации, с последующей ее трансформацией в наглядные форматы, позволяющие руководителю принимать решения не на основе интуиции, а опираясь на объективные данные о продажах, складских остатках и поведении клиентов [2].

Современный рынок BI (Business Intelligence) – решений ориентирован преимущественно на средний и крупный бизнес. Минимальная стоимость внедрения промышленной BI-системы, включающей базовые лицензии и интеграцию, начинается от нескольких миллионов рублей, что неприемлемо для микропредприятий. В то же время результаты опросов показывают: 25% представителей малого бизнеса уже используют те или иные BI-инструменты, 26% ведут аналитику в Excel, а 31% не знакомы с данным классом программных

продуктов [3]. Вместе с тем облачные BI-сервисы, формально доступные по цене, создают для малого бизнеса скрытые барьеры: необходимость интеграции разрозненных данных, потребность в квалифицированном специалисте и длительная адаптация универсальных платформ под конкретные задачи предприятия. В результате совокупная стоимость владения оказывается неприемлемой для микропредприятий [4].

Таким образом, актуальной задачей становится проектирование специализированной ИАС, сочетающей доступность, простоту использования и функциональность, достаточную для поддержки принятия управленческих решений в малом бизнесе. Система должна включать модули сбора данных, анализа, визуализации и прогнозирования ключевых показателей.

Анализ предметной области и постановка задачи

Стандартное малое предприятие характеризуется ограниченным набором бизнес-процессов: закупка товаров у поставщиков, складской учёт, розничные или мелкооптовые продажи, работа с клиентской базой. Информационные потоки при этом распределены между несколькими источниками: кассовым терминалом, складской программой, таблицами учёта клиентов. В результате данные о деятельности предприятия оказываются разрозненными, что затрудняет их комплексный анализ [5]. Для принятия управленческих решений руководителю требуется в оперативная сводная аналитика основных финансовых

показателей: выручки, прибыли, скорости реализации товаров в реальном времени и структуре продаж [6].

При выборе математической основы, внедряемой в систему аналитики, необходимо учитывать два условия. Во-первых, экономичность реализации, во-вторых, результаты расчётов должны быть интуитивно понятны руководителю без глубоких знаний математики. Именно поэтому наша проектируемая система будет основана на комбинации классических методов.

Базовые финансовые метрики. Выручка рассчитывается как сумма продаж за выбранный период. Валовая прибыль определяется как разность между выручкой и закупочной стоимостью реализованных товаров. Средний чек даёт возможность оценить покупательскую активность и вычисляется делением общей выручки на количество транзакций. Оборачиваемость товарного запаса показывает, сколько раз за период склад полностью обновляется, и равна отношению себестоимости проданных товаров к среднему остатку.

ABC-анализ. Является инструментом классификации товаров, находящихся на складе предприятия. Алгоритм включает в себя: расчёт доли каждого объекта в общей сумме показателя, сортировку объектов по убыванию доли, расчет доли прибыли в процентах каждого товара, после чего осуществляется последовательное суммирование долей, формируя нарастающий итог. Группа А – ключевая товарная группа, составляющая 15 – 20% ассортимента, но приносящая 80% общего результата. Группа В представляет собой средний сегмент: 25-35% запасов, генерирующих 15% прибыли, с прогнозируемой стабильностью в краткосрочной перспективе. Группа С, напротив, наименее прибыльна, занимая

45-55% номенклатуры, но принося лишь 5% результата. Преимущество ABC-анализа для малого бизнеса заключается в его простоте и наглядности: руководитель сразу видит, на каких товарах или клиентах следует сконцентрировать усилия.

XYZ-анализ. Дополняет ABC-классификацию оценкой стабильности спроса. Ключевой метрикой выступает коэффициент вариации  $V$ :

$$V = (\sigma / \bar{x}) * 100\% \quad (1)$$

где  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение продаж по периодам,  $\bar{x}$  – среднее арифметическое.

При  $V < 10\%$  – группа X, характеризующаяся стабильным прогнозируемым спросом, при  $10\% \leq V < 25\%$  – группа Y (умеренные колебания),  $V \geq 25\%$  – группа Z (нерегулярный спрос) [7]. Совмещение результатов ABC- и XYZ-анализа в матрице  $3 \times 3$  даёт двумерную картину ассортимента: например, товары категории AZ – высокодоходны, но с хаотичным спросом – требуют особой стратегии управления запасами. Пример такой матрицы представлен на рисунке 1.

Прогнозирование спроса. Для краткосрочного прогнозирования спроса проектом предусмотрено использование метода простого скользящего среднего (Simple Moving Average, SMA). Суть метода заключается в расчёте прогнозного значения как среднего арифметического фактических продаж за несколько предшествующих периодов (месяцев или недель). Выбор данного метода обоснован его вычислительной простотой, наглядностью для конечного пользователя и доказанной эффективностью при работе с относительно стабильными временными рядами, характерными для малого розничного бизнеса. Скользящее среднее хорошо сглаживает случайные

колебания спроса и позволяет руководителю получить реалистичную оценку

ожидаемых продаж без погружения в сложные статистические модели [8].

<b>AX</b>	<b>AY</b>	<b>AZ</b>
Высокая прибыльность, стабильный спрос Товары должны быть на складе всегда	Высокая прибыльность, нестабильный спрос Должен быть резерв на случай спроса	Высокая прибыльность, случайный спрос Не держать на складе, но иметь возможность быстро получить от поставщика
<b>BX</b>	<b>BY</b>	<b>BZ</b>
Средняя прибыльность, стабильный спрос Товары должны быть на складе всегда	Средняя прибыльность, нестабильный спрос Должен быть резерв на случай спроса	Средняя прибыльность, случайный спрос Не держать на складе, но иметь возможность быстро получить от поставщика
<b>CX</b>	<b>CY</b>	<b>CZ</b>
Низкая прибыльность, стабильный спрос Иметь запас, исходя из обычного объема продаж	Низкая прибыльность, нестабильный спрос Создавать запас, если остался бюджет	Низкая прибыльность, случайный спрос Продавать только под заказ

Рис. 1. Матрица ABC/XYZ-анализа

Функциональные требования к проектируемой ИАС формулируются следующим образом:

1. централизованный сбор данных о продажах, товарных остатках и клиентах;
2. автоматический расчёт выручки, прибыли, среднего чека, оборачиваемости;
3. ABC- и XYZ-классификация с настраиваемым периодом анализа;
4. интерактивная дашборд-визуализация с фильтрацией по периодам и товарным группам;
5. краткосрочный прогноз спроса на основе скользящего среднего;
6. низкая совокупная стоимость владения, возможность локального развёртывания и последующего переноса в облако.

Помимо функциональных, к системе предъявляются следующие нефункциональные требования: время отклика дашборда не более 2 секунд при выборке до 10 000 записей, поддержка одновременной работы до 5 пользователей, возможность восстановления данных из резервной

копии, а также авторизация и разграничение прав доступа.

Проектирование функциональной модели системы

Для формализованного описания проектируемой системы выбрана методология IDEF0, входящая в семейство стандартов SADT. Выбор IDEF0 обусловлен наглядностью функциональной декомпозиции и возможностью представления информационных потоков независимо от организационной структуры предприятия [9].

Контекстная диаграмма IDEF0 верхнего уровня представляет систему как функциональный блок «Управлять аналитикой малого бизнеса». Входами служат данные о продажах, поступлениях товаров и клиентах; выходами — аналитические отчёты, дашборды и прогнозы. Управляющие воздействия включают регламенты учёта и стратегические цели бизнеса; механизмами выступают программное обеспечение и руководитель. Диаграмма представлена на рисунке 2.



Рис. 2. Диаграмма блока «Управлять аналитикой малого бизнеса»

Декомпозиция контекстной диаграммы позволяет выделить четыре функциональные подсистемы:

А1. Сбор и первичная обработка данных. Подсистема обеспечивает ввод информации о продажах и складских операциях, её нормализацию и сохранение в централизованной базе данных. Предполагается как ручной ввод через веб-интерфейс, так и автоматическая загрузка из внешних источников.

А2. Аналитическая обработка. Реализует алгоритмы расчёта ключевых показателей: выручка и прибыль по периодам, динамика продаж в разрезе товарных групп, оборачиваемость запасов, ABC-классификация товаров и клиентов. Расчёт выполняется на стороне сервера баз данных с использованием агрегирующих SQL-запросов.

А3. Визуализация и формирование отчётности. Преобразует результаты аналитической обработки в интерактивные дашборды: графики динамики выручки, круговые диаграммы структуры продаж, тепловые карты активности клиентов. Предусмотрена фильтрация по временным периодам и категориям товаров.

А4. Прогнозирование. Обеспечивает

расчёт прогнозных значений спроса методом простого скользящего среднего по накопленным историческим данным. Модуль проектируется с перспективой расширения до методов машинного обучения по мере роста объёма выборки.

Проектирование архитектуры и выбор технологий

Для проектируемой ИАС обоснована трёхуровневая архитектура «клиент-сервер» с тонким веб-клиентом. Данный архитектурный шаблон оптимален для малого бизнеса, поскольку не требует установки специализированного ПО на рабочих местах пользователей и обеспечивает централизованное хранение и обработку данных.

Уровень представления (клиент) реализуется в виде веб-интерфейса на HTML/CSS/JavaScript. Выбор тонкого клиента продиктован требованием доступности системы с любого устройства, включая мобильные, без необходимости установки дополнительного программного обеспечения.

Уровень бизнес-логики (сервер приложений) обрабатывает запросы клиента, реализует алгоритмы расчёта показателей и прогнозирования, управляет правами доступа. В качестве технологической

платформы рассматривается бесплатный фреймворк Django (Python), позволяющий сократить время разработки за счёт встроенных средств аутентификации, ORM и шаблонизации.

Уровень данных представлен реляционной СУБД PostgreSQL, обеспечивающей надёжность, соответствие ACID-требованиям и возможность масштабирования при росте нагрузки [10]. Логическая модель базы данных включает следующие ключевые сущности:

1. Сущность «Товар» (Product) состоит из идентификатора, наименования, категории товара, закупочной цены, розничной цены и текущего остатка на складе;

2. Сущность «Клиент» (Customer)

состоит из идентификатора, ФИО и контактных данных клиента;

3. Сущность «Продажа» (Sale) состоит из идентификатора, даты и времени продажи, клиента и общей суммы чека;

4. Сущность «Позиция продажи» (Sale\_item) состоит из идентификатора, ссылок на таблицы «Продажа» и «Товар», затем идет количество проданного товара, цена продажи на момент совершения операции и суммы.

Связи в таблице определяются следующим образом: один клиент может совершить много продаж (1:M), одна продажа включает несколько позиций (1:M) и каждая позиция ссылается на конкретный товар (M:1).

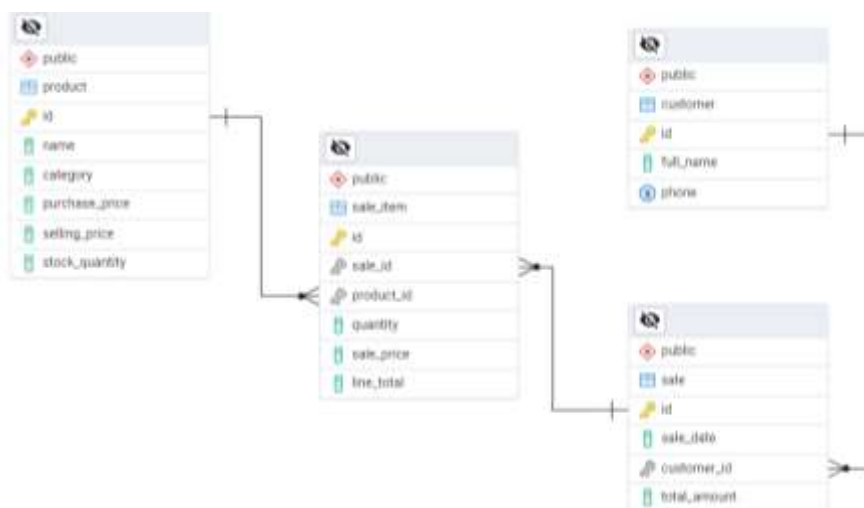


Рис. 3. ER-диаграмма логической модели данных

Такие сущности выбраны неслучайно, так как если не выделять отдельную таблицу позиций, а пытаться хранить всё в одной таблице продаж, то возникнет либо дублирование, либо потеря детализации, что сделает невозможным ABC-анализ товаров, расчёт среднего чека, анализ структуры продаж и другие функции, ради которых и проектируется система. Представленная на рисунке 3 ER-диаграмма отражает логическую модель данных, аналогичную

применяемым в современных системах учёта складских запасов [11].

Уровень безопасности обеспечивается разграничением ролей. Предусмотрены три роли пользователей:

1. Администратор, имеющий полный доступ ко всем функциям и данным;
2. Руководитель имеет доступ ко всему функционалу, включая аналитические отчёты и дашборды и прогнозы;
3. Менеджер, которому доступен ввод

данных о продажах.

Аутентификация реализуется посредством JWT-токенов, авторизация — на основе ролевой модели, что гарантирует конфиденциальность коммерческой информации [12].

В результате выполненного проектирования предложена архитектура информационно-аналитической системы для малого бизнеса, интегрирующая функции сбора и учёта данных, анализа ключевых показателей, визуализации и прогнозирования. Применение методологии IDEF0 позволило формализовать функциональные требования и построить декомпозированную модель системы. Спроектированная логическая модель базы данных и обоснованная трёхуровневая клиент-серверная архитектура обеспечивают целостность данных и масштабируемость решения.

#### Библиографический список

1. Specter Consulting Group. Цифровизация малого и среднего бизнеса 2025: что реально работает, а что модный шум // 2025
2. Котанджян А. В., Биндзяр Д. А. Анализ современных информационно-аналитических систем // Студент. Наука. Регион. 2023. №1. – 65 с.
3. Корус консалтинг. Как инструменты аналитики помогают повысить управляемость бизнеса // 2025
4. Измайлов Т. Р. Анализ инструментов бизнес-аналитики для малого бизнеса / Измайлов Т. Р. Зарипова Р. С. // Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. – 2026. – № 1(39). – 52 – 53 с.
5. Захарова А. В. Анализ информационных систем для автоматизации управления складом / Захарова А. В., Зарипова Р. С., Чупаев А. В. // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2025. – Т. 11, № 5(158). – 114 – 115 с.
6. Пашкеева В. А. Информационные технологии как фактор повышения эффективности бизнес-процессов предприятия / Пашкеева В. А., Куценко С. М. // Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. – 2024. – № 3-4. – 88 с.
7. Ариничева И. В., Фощан Г. И., Куркаев М. А. ABC/XYZ-анализ в складской логистике // ЕГИ. 2025. №2 (58). – 24 с.
8. Шилов А. В. Возможности и недостатки использования скользящей средней при выработке прогнозных решений // Приоритетные научные направления: от теории к практике. 2015. №19. – 89 с.
9. Бикеева Н. Г. Современные подходы к проектированию информационных систем / Бикеева Н. Г., Салтанаева Е. А. // Экономика и предпринимательство. – 2025. – № 8(181). – 907 с.
10. Гайфуллин С. Р. Разработка веб-ориентированной информационно-аналитической системы для оптимизации складских запасов / Гайфуллин С. Р., Салтанаева Е. А. // Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. – 2026. – № 1(39). – 86 – 88 с.
11. Эшелиоглу Р. И. Методология и практическая реализация системы учета складских запасов / Эшелиоглу Р. И., Айязтова А. Н., Салтанаева Е. А. // Экономика и предпринимательство. – 2025. – № 7(180). – 910 – 912 с.
12. Базаева А. А. Информационная безопасность в системном анализе и управлении / Базаева А. А., Разина И. С., Натальсон А. В. // Научно-технический вестник Поволжья. – 2023. – № 12. – 180 с.

**Информация об авторах**

Сагидуллин Роберт Рафаилевич – студент, Казанский Государственный Энергетический Университет (420066, Россия, г. Казань, ул. Красносельская, 51), тел.: 8-960-046-5296, e-mail: sagrobert111@gmail.com

Салтанаева Елена Андреевна – кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий и интеллектуальных систем, Казанский Государственный Энергетический Университет (420066, Россия, г. Казань, ул. Красносельская, 51), email: elena\_maister@mail.ru

**Information about the author**

Sagidullin Robert Rafailevich – student, Kazan State Power Engineering University (51 Krasnoselskaya str., Kazan, 420066, Russia), ph.: 8-960-046-5296, e-mail: sagrobert111@gmail.com

Saltanaeva Elena Andreevna – candidate of technical sciences, associate Professor of the Department of information technologies and intelligent systems, Kazan State Power Engineering University (51 Krasnoselskaya str., Kazan, 420066, Russia), email: elena\_maister@mail.ru

УДК 004.421.2

**АВТОМАТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕРТВОГО КОДА В CI/CD С ПОМОЩЬЮ AST И ГРАФА ВЫЗОВОВ****М.Р. Хузин<sup>1</sup>, Е.А. Салтанаева<sup>1</sup>**<sup>1</sup> *Казанский государственный энергетический университет*

**Аннотация:** Статья посвящена мертвому коду, возникающему при разработке программного обеспечения и его обнаружению с помощью технологий абстрактного синтаксического дерева и графа вызова. Рассмотрены преимущества и недостатки данного алгоритма, и возможность внедрения алгоритма в CI/CD процесс.

**Ключевые слова:** мертвый код, статический анализ, абстрактное синтаксическое дерево, граф вызовов, CI/CD, технический долг, ложные срабатывание

**AUTOMATIC DETECTION OF DEAD CODE IN CI/CD USING AST AND CALL GRAPH****M.R. Khuzin<sup>1</sup>, E.A. Saltanaeva<sup>1</sup>**<sup>1</sup> *Kazan State Power Engineering University*

**Abstract:** The article is devoted to dead code, appearing in development of software and the detection of it using abstract syntax tree technology and call graph. Reviewed pros and cons of this algorithm and possibility of integration in CI/CD pipeline.

**Keywords:** dead code, static analysis, abstract syntax tree, call graph, CI/CD, technical debt, false positive

В процессе разработки программного кода неизбежно появляются компоненты, которые никогда не выполняются (мертвый код). Это могут быть неиспользуемые функции, переменные и импорты. Все это приводит к серьезному замедлению выполнения кода, увеличение времени сборки и общей захламленности проекта, что затруднит его поддержка и развитие.

Рассматривая данные статистических анализаторов, доля мертвого кода в legacy-проектах в среднем достигает 10-15%. Это

в свою очередь затрудняет работу новых разработчиков с этим проектом, вынуждая их дополнительно разбираться в дополнительных сущностях. Кроме того, мертвый код вызывает ложные срабатывания в системах тестирования и может скрывать в себе угрозу безопасности [1].

Существуют различные инструменты мертвого кода такие как линтеры, анализаторы покрытия. Эти способы имеют как плюсы, так и серьезные недостатки. Они обычно ограничены одним файлом,

требуют выполнения приложения либо сложны в интеграции в CI/CD конвейер. В ответ на это, а статье предлагается подход, основанный на совместном использовании абстрактного синтаксического дерева и синтаксического дерева. AST позволяет извлечь структуру программы на уровне исходного кода, а граф вызова выявит достижимость функции от точек входа.

Целью данной статьи является рассмотрение теоретических основ определения мертвого кода с использованием абстрактного синтаксического дерева и графа вызовов. В статье рассматриваются основные виды мертвого кода, алгоритмы построения графа вызовов на основе AST,

Таблица 1 Тестирование скорости выполнения запросов

количество строк	запросов/сек	среднее время на запрос	доля мертвого кода
2000	72.24	0.013	0
5000	32.20	0.031	0.6
10000	15.97	0.062	0.75

Из этого можно сделать вывод что мертвый код оказывает высокое влияние на производительность программы.

Для автоматического определения причисленных видов мертвого кода оптимальным будет взаимодействовать с исходным кодом напрямую. Наиболее подходящим инструментом для этого будет абстрактное синтаксическое дерево и граф вызова. Рассмотрим их суть и возможности.

AST – это конечное помеченное ориентированное дерево, в котором внутренние вершины сопоставлены с операторами языка программирования, а листья с операндами. Каждый из узлов хранит в себе тип конструкции, позицию в исходном файле и, при необходимости, имя функции. Для статического анализа ключевым является возможность обходы дерева с целью

метода обработки ложных срабатываний, а также практические аспекты интеграции подобного инструмента в CI/CD конвейер.

Для начала нужно рассмотреть виды мертвого кода и то, как он влияет на программное обеспечение. Есть несколько основных категорий подобного кода:

4. Неиспользуемые определения
5. Неиспользуемые импорты
6. Недостижимый код

Все эти виды кода так или иначе замедлят общую скорость работы. Это можно узнать в таблице 1 по уже произведенным тестам с разной загруженностью программы мертвым кодом [2, 3].

поиска всех определений (функции, переменные, импорты) и всех использований. Обход AST обычно выполняется с помощью паттерна «Посетитель», он рекуррентно обходит все узлы и выполняет заданное действие, например запись названия функции [4]. Такой подход позволяет за один подход извлечь всю необходимую информацию. Для выявления мёртвого кода необходима понимать различие между определением и использованием. Определение – это место, где создается именованная сущность (переменная, функция, параметр и т.д.). Использование – это место, где имя сущности читается или вызывается.

Простейший случай: объявляется функция и нигде не вызывается. Это кандидат на мертвый код. Однако возникает сложность из-за области видимости. Одно и

тоже имя может использоваться в нескольких функциях и использоваться в разных блоках кода. Поэтому анализатор должен корректно связывать использование и определение, учитывая правила конкретного языка. Дополнительную трудность представляет разрешение импортов. Если в файл А импортируется функция из файла Б, то ее использование должно быть связано с определениями в файле Б. Для этого анализатору необходимо проверять несколько файлов и выстраивать глобальную таблицу символов.

Граф вызовов – это ориентированный граф, в котором узлы представляют функции или методы, а рёбра — отношение «функция А вызывает функцию В». Такой граф позволяет наглядно представить, какой код потенциально выполняется при работе программы. Построение такого графа используя ATS включает в себя несколько этапов. После того как мы обошли код в ATS первый раз мы записываем все определения функцию. Далее мы совершаем второй проход с целью обнаружения вызовов и записываем именованные вызываемых функцию. И наконец сравниваем два полученных списка (с учетом видимости и импортов). Если определение находится в обоих списках, то в граф добавляется ребро от функции, содержащей вызов к функции-определению.

Проведем данную операцию для следующего кода:

```
def helper():  
    return 1  
def worker():  
    return helper()  
def main():  
    return worker()
```

В данном случае граф будет содержать 3 узла (helper, worker, main) и 2 ребра

(worker -> helper, main -> worker). Однако в реальных проектах построение графа может быть осложнено тем, как вызывается конкретная функция. Есть три вида вызова функции:

7. Прямой вызов – это функция, которая вызывается по своему имени. Самый простой вариант, который легко определить.

8. Косвенный вызов – это вызов через переменную. Что бы распознать такой вызов необходим анализ потока данных, что выходит за рамки обхода AST.

9. Динамический вызов – этот вызов функции формируется в ходе работы программы. Статический анализ в общем случае не может определить, какая функция будет вызвана. Такие функции либо игнорируются, что может вызвать ложноположительные срабатывания, либо предполагается способным вызвать любую функцию в своей области видимости, что в свою очередь «оживит» большую часть кода.

Рассмотрев вызовы функций, не стоит забывать про методы внутри данных функций. Так вызов метода obj.method() требует знание типа obj. Без него анализатор не сможет однозначно определить, какой именно метод будет вызван. В объектно-ориентированных языках это ведет к необходимости строить граф вызова с учетом иерархии наследования, что в свою очередь увеличивает сложность задачи [5].

Несмотря на перечисленные сложности, для многих проектов, написанных на языках высокого уровня (Python, GO, TypeScript) оказывается достаточно построения упрощённого графа вызовов, учитывающего только прямые вызовы и импорты. Такой граф сможет определить от 80% до 90% мёртвого кода. Оставшиеся сложные случаи предлагается обрабатывать путем конфигурации исключений или ручной

проверкой.

На основе ATS и графа вызовов можно построить формальный алгоритм для нахождения мертвого кода не требующий выполнения программы [6]. Алгоритм состоит из 4 этапов: извлечение определений и использований, построение графа вызовов, определение точек входа и анализ достижимости.

Извлечение подразумевает под собой разбор каждого файла на составляющие с построением AST. Затем производится обход с целью регистрации всех определений и использований. Определения фиксируются для функций, классов, глобальных переменных, констант, импортов, а также параметров функции. Использования фиксируются для вызовов функции, обращений к переменным в выражениях и имен в правой части присвоений. Каждая такая запись содержит как минимум: Уникальный идентификатор, позицию в исходном коде и тип. Для межфайлового анализа нужно использовать глобальную таблицу символов, которая объединяет определения из всех файлов. При этом импорты будут связывать символы из одного файла с определениями из другого [7].

После того как AST было построено, алгоритм строит ориентированный граф вызова. Узлами графа являются определения функций и методов. Рёбра добавляются по следующему правилу: если в теле функции А встречается использование, которое является вызовом функции Б, и это использование можно однозначно сопоставить с определением Б (с учетом области видимости), то в граф добавляется ребро А->Б. В простой реализации рассматриваются только прямые вызовы, когда имя вызываемой функции статически известно. Для косвенных вызовов и динамических вызовов

алгоритм либо не добавляет рёбер, либо отмечает вызываемую функцию как потенциально живую.

Нужно не забывать, что у каждой программы есть входные точки. Это функции или глобальные вызовы, которые по умолчанию считаются «живыми», даже если у них нет входных ребер в графе. Без этого алгоритм может ошибочно пометить весь существующий код как мертвый. На практике входные точки часто задаются в файле конфигурации, что позволяет легко внести их в алгоритм.

Следующим действием необходимо произвести анализ достижимости. Для этого мы производим обход в глубину (DFS) и ширину (BFS) от точек входа. Для этого создается множество достижимых определений и записываются все известные точки входа. Далее производится рекурсивный обход всех потомков данных функций и добавляем их в созданный массив. По завершению мы получаем массив всех достижимых определений, а все остальные будут считаться мертвыми [8]. Сложность данного действия определяется по формуле

$$O(V + N)$$

где V – число функций в проекте, N – число ребер графа. Для проекта размером 10-20 тысяч функций анализ занимает доли секунд на современном оборудовании. По проделанной работе была составлена UML диаграмма для визуализации процесса (рис.1).

Описанный алгоритм сталкивается с рядом проблем главная из которых это ложноположительные срабатывания. Рассмотрим их подробнее.

Ложноположительный срабатывания – это ситуации, когда живой код отмечается как мертвый. Это серьезная проблема, которая мешает полной автоматизации чистки

кода. Основными источниками ложных срабатываний являются динамические вызовы. Статический анализатор в общем случае не может предсказать, какая функция будет вы. Следовательно вызов функции не будет представлен ребром в графе и может быть ошибочно отмечен как мертвый код. Также алгоритм может проигнорировать некоторые функции, которые передаются как аргумент в другую функцию. Без анализа потока данных анализатор не узнает об

использовании данной функции и отметит ее как мертвую [9].

Полное решение проблемы ложных срабатываний невозможно решить полностью. Однако на практике есть способы, позволяющие достичь высокой точности. Можно использовать систему белого списка, в котором будут записаны функции, которые, даже если они считаются мертвыми, не будут удалены.

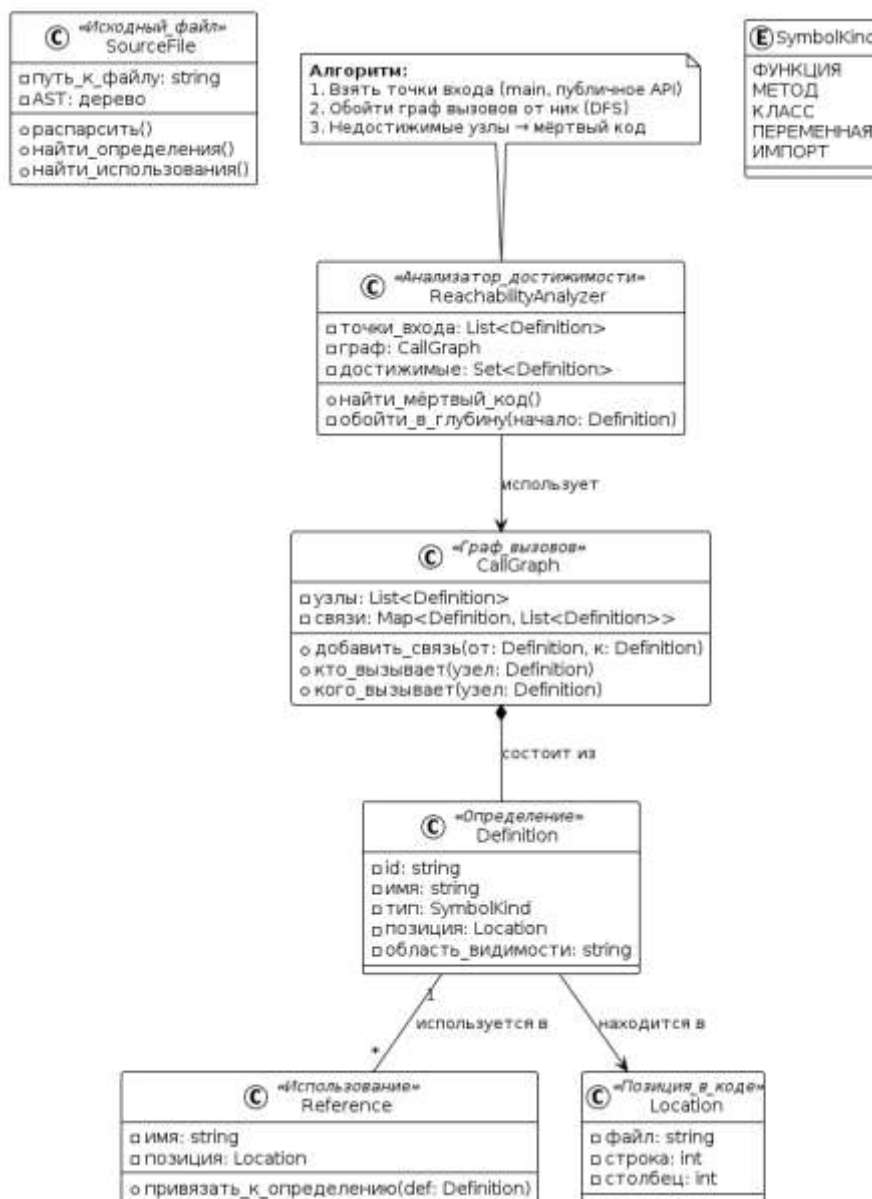


Рис. 1. Структура детектора мертвого кода

Для реализации можно использовать

несколько вариантов:

1. Файл конфигурации, в который будут записываться подобные функции.

2. Комментарии в коде программы.

3. Правила для имен. Если в названии функции есть определенная приписка, то она не может быть удалена.

Еще одним из вариантов решения будет более консервативный подход. Вместо того чтобы пытаться точно определить все вызовы, анализатор может предполагать, что любой символ, который может быть вызван динамически, действительно вызывается. Этот метод исключает ложноположительные срабатывания, но создает большое количество ложноотрицательных.

На практике должна быть возможность настраивать алгоритм на определенный уровень консерватизма (таблица 2).

Таблица 2 Возможные виды настроек

Режим	Характеристика	Ложные срабатывания	Пропуски мертвого кода
Агрессивный	Прямые вызовы	Высокие	Нет
Умеренный	Прямые вызовы + белые списки	Средние	Средние
Консервативный	Прямые вызовы + все публичные символы + динамические вызовы	Нет	Высокие

Несмотря на указанные сложности, предложенный подход можно интегрировать в CI/CD системы, что дает ощутимый прирост эффективности. Внедрение данного алгоритма будет выявлять неработающие компоненты на раннем этапе.

Типичный процесс CI/CD включает такие стадии: линтинг, статический анализ, компиляция, тестирование, развертывание. Логичнее всего разместить детектор мертвого кода на этапе статического кода. Такое расположение дает преимущество раннего обнаружения, быстрой обратной связи и экономии ресурсов.

В зависимости от потребностей команды разработчиков можно выбрать различные режимы работы (таблица 3) [10].

Таблица 3 Режимы работы при интеграции

Режим	Описание	Поведение CI/CD	Типичное применение
Только отчет	Инструмент собирает информацию, но не влияет на статус сборки	Процесс продолжается как обычный	Первичное внедрение, ознакомление команды
Предупреждение	Выводит предупреждения в лог или комментарий PR, но сборка не прерывается	Процесс успешно завершается	Команды, которые хотят видеть проблему, но не блокировать разработку
Блокировка	При обнаружении мертвого кода процесс останавливается	Процесс заканчивается с ошибкой	Команды с высокой дисциплиной, стремящиеся к нулевому техдолгу

Для результативного анализа работы CI/CD, алгоритм должен поддерживать несколько видов вывода:

1. Консольный вывод – это текст пригодный для прочтения человеком. Удобен для ручной проверки и локальных запусков.

2. JSON файл – это машиночитаемый формат для последующей работы других инструментов.

3. SARIF – это стандарт OASIS, поддерживаемый GitHub Code Scanning, GitLab Code Quality, Azure DevOps и многими другими платформами. Его использование позволяет отображать предупреждения непосредственно в интерфейсе рядом с изменёнными строками кода.

Для комфортной работы с инструментом необходимо соблюдать некоторые требования, такие как: быстрое действие, работа без необходимости в настройке, возможность изменить конфигурацию, работа без сложных зависимостей, понятные коды для ошибок и предупреждений и возможность интеграции с системами анализа версий.

В заключении стоит отметить, что использование алгоритма для поиска мертвого кода сильно повышает эффективность работы кода, а также снижает общую загруженность разработчиков.

### Библиографический список

1. Абдулатипов Р.А. Методы и абстракции языков программирования в задачах работы с базами данных / Р.А. Абдулатипов, И.Р. Ханафиев, Е.В. Савельев, Е.А. Салтанаева – Современные научные исследования и разработки, 2018. – 36-40с.

2. Напольский А. Разбираемся с проблемой мертвого кода и инклюдями [Электронный ресурс]. <https://habr.com/ru/articles/77364/> (дата обращения: 25.04.2026).

3. Подгорнова М.И. Методы оптимизации программного кода для повышения производительности / М.И. Подгорнова, С.М. Куценко – Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах, 2025. – 207-210с.

4. Низамов Д.И. Реализация частной задачи синтаксического анализа средствами структурного программирования / Д.И. Низамов, Е.А. Салтанаева, А.В. Манукян – Modern Science, 2022. – 147-152с.

5. Петрова Н.К. Применение объектно-ориентированного подхода в синтаксическом анализе для интеллектуальных систем / Н.К. Петрова, С.Ю. Ситников, Р.М. Хамитов, П.В. Журавлев – Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки, 2025. 125-136с.

6. Романов А.А. Алгоритмизация и программирование / А.А. Романов, Е.А. Салтанаева – Научные исследования XXI века, 2020. 111-114с.

7. Чжао М.Н. Современные методы оптимизации программного кода / М.Н. Чжао, И.С. Крылов, Б.Р. Онищенко – Молодой ученый, 2022. 7-10с.

8. Юсупова Р.И. Интеллектуальное обнаружение ошибок в программном коде / Р.И. Юсупова, Р.С. Зарипова – Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах, 2025. 91-94с.

9. Мартынюк А.В. Анализ ошибок, возникающих при оптимизации программного кода / А.В. Мартынюк, Е.В. Бурданова – Наука и инновации современные концепции : Сборник научных статей по итогам работы Международного научного форума, Москва, 12 июля 2019 года / Отв. ред. Хисматуллин Д.Р. Том 2. – Москва: Инфинити, 2019. 97-100с.

10. Зарипова Р.С. Кибербезопасность в

код: стратегии написания безопасного  
программного обеспечения / Р.С. Зарипова,  
Ю.Х. Тарамов, С.А.А. Сугаипов –

Экономика и предпринимательство, 2023.  
919-921с.

#### Информация об авторах

**Хузин Марат Расимович** – студент кафедры информационных технологий и интеллектуальных систем, Казанский государственный энергетический университет (420066, Россия, г. Казань, ул. Красносельская, 51), e-mail: maratkuzin2004@gmail.com

**Салтанаева Елена Андреевна** – кандидат технических наук, Доцент кафедры информационных технологий и интеллектуальных систем, Казанский государственный энергетический университет (420066, Россия, г. Казань, ул. Красносельская, 51), e-mail: elena\_maister@mail.ru

#### Information about the author

**Khuzin Marat Rasimovich** – student of the Department of Information Technology and Intelligent Systems, Kazan State Power Engineering University (420066, Russia, Kazan, Krasnoselskaya St., 51), e-mail: maratkuzin2004@gmail.com

**Saltanaeva Elena Andreevna** – candidate of technical sciences, Associate professor of the department of information technologies and intelligent systems, Kazan state power engineering University (51 Krasnoselskaya str., Kazan, 420066, Russia), e-mail: elena\_maister@mail.ru

УДК 004.65

## РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УЧЕТА ПРОДАЖ АВТОМОБИЛЕЙ С АНАЛИТИЧЕСКИМИ ОТЧЕТАМИ В POSTGRESQL

**М.В. Матюшевский<sup>1</sup>, Е.А. Салтанаева<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Казанский государственный энергетический университет*

**Аннотация:** В статье описан процесс разработки информационной системы для учёта продаж автомобилей на базе СУБД PostgreSQL. Приведены анализ бизнес-процессов типового дилерского центра, построение функциональной модели в нотации IDEF0, проектирование реляционной базы данных, реализация триггера для контроля скидок, а также примеры аналитических SQL-запросов, включая RFM-сегментацию клиентов и прогнозирование объёма продаж методом скользящего среднего.

**Ключевые слова:** информационная система, PostgreSQL, базы данных, учёт продаж, SQL, триггеры, RFM-анализ, скользящее среднее.

## DEVELOPMENT OF A CAR SALES ACCOUNTING INFORMATION SYSTEM WITH ANALYTICAL REPORTS IN POSTGRESQL

**M.V. Matyushevskiy<sup>1</sup>, E.A. Saltanaeva<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Kazan State Power Engineering University*

**Abstract:** The article describes the process of developing an information system for car sales accounting based on the PostgreSQL DBMS. An analysis of business processes of a typical dealership is presented, a functional model in the IDEF0 notation is constructed, a relational database is designed, a discount control trigger is implemented, and examples of analytical SQL queries are given, including RFM customer segmentation and sales volume forecasting using the moving average method.

**Keywords:** information system, PostgreSQL, databases, sales accounting, SQL, triggers, RFM analysis, moving average.

На сегодняшний день рассматриваемое предприятие (розничная торговая организация, специализирующаяся на продаже автомобилей) использует для учёта преимущественно табличные процессоры и

устаревшую базу данных в Microsoft Access. Среди ключевых проблем данного положения можно отметить следующие. Во-первых, формирование сводных отчётов (например, по продажам за месяц или

рейтингу менеджеров) занимает несколько часов из-за необходимости вручную собирать данные из разных файлов. Во-вторых, отсутствует автоматический контроль вводимых данных – в частности, ничто не мешало оформить продажу с заведомо заниженной ценой. В-третьих, руководству не хватает инструментов для анализа клиентской базы и прогнозирования будущих продаж.

В качестве решения вышеперечисленных проблем может служить разработка базы данных на PostgreSQL – спроектированная структура хранения данных и реализованные в ней базовые механизмы автоматизации (триггеры) на подготовленных наборах аналитических запросов, позволяющих получать управленческую отчетность без ручной обработки [1, 2]. Для этого потребуется спроектировать информационную систему для учёта продаж автомобилей: от анализа бизнес-процессов до написания SQL-запросов для RFM-сегментации и прогнозирования, взятых в качестве средств аналитики данных.

Приступая к проектированию

информационной системы, необходимо сначала понять, какие процессы в ней будут автоматизироваться. В первую очередь были изучены бизнес-процессы типового предприятия по продаже автомобилей. В укрупнённом виде вся деятельность, связанная с учётом продаж, может быть описана тремя основными процессами. Учёт клиентов – регистрация и обновление данных клиента (имя, телефон, email, дата регистрации), хранение истории покупок. Учёт автомобилей – добавление сведений о новых машинах (марка, модель, год, цена, VIN), отслеживание факта продажи без удаления записи. Учёт продаж – связь клиента, автомобиля и менеджера с фиксацией даты и фактической цены сделки (с учётом скидок или доп. оборудования).

Для формального описания того, как должна работать проектируемая информационная система, была построена функциональная модель в нотации IDEF0 [3]. Эта модель включает в себя контекстную диаграмму (рисунок 1) и диаграмму декомпозиции, которая раскрывает внутреннее устройство основного блока (рисунок 2).



Рис. 1. Контекстная диаграмма основного процесса

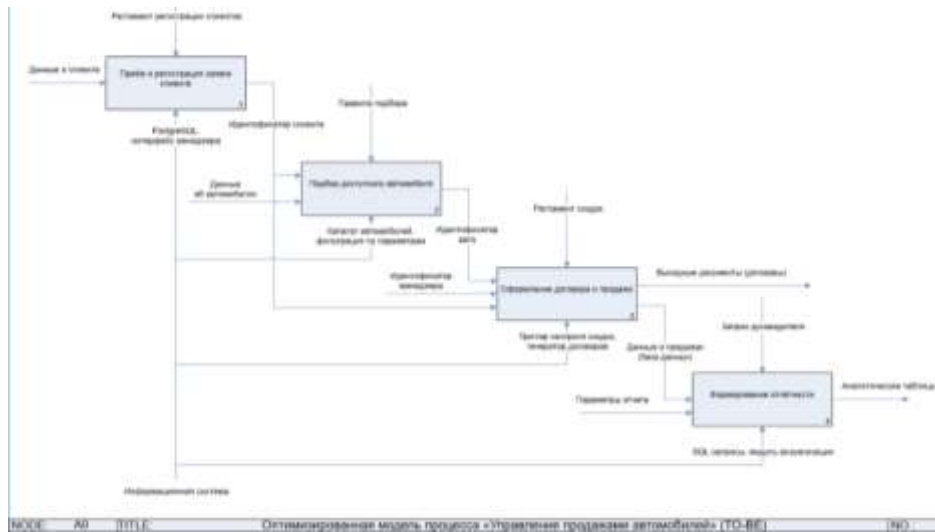


Рис. 2. Диаграмма декомпозиции основного процесса

На верхнем уровне вся система учёта продаж автомобилей рассматривается как один функциональный блок с названием «Управление продажами автомобилей». На вход этого блока подаётся информация о клиенте (его данные и желаемые параметры автомобиля), а также данные о поступивших в салон автомобилях (их характеристики и цены). На выходе формируются три основных результата: оформленный договор купли-продажи (на бумажном носителе или в виде электронного документа), обновлённая база данных с зафиксированной продажей и аналитические отчёты (например, сводка продаж за период).

Контекстная диаграмма была декомпозирована на четыре взаимосвязанных блока, которые последовательно описывают весь процесс продажи автомобиля.

Блок 1 – регистрация клиента: проверка наличия в БД, при отсутствии – добавление нового. Выход: идентификатор клиента.

Блок 2 – подбор автомобиля: поиск по критериям (марка, модель, бюджет). Выход: идентификатор выбранного автомобиля.

Блок 3 – оформление продажи: запись

в таблицу sales (дата, цена, идентификаторы клиента, автомобиля, менеджера), генерация номера договора. Выход: запись в базу данных продаж и печатная форма договора.

Блок 4 – формирование отчётности: выполнение предварительно сохранённых SQL-запросов по запросу руководителя или по расписанию. Выход: аналитические таблицы и графики.

Общим механизмом выступает проектируемая информационная система (PostgreSQL). Блоки связаны потоками данных и обмениваются информацией с общей базой данных.

Построенная IDEF0-модель в дальнейшем была использована для определения состава таблиц и связей в реляционной базе данных.

На основе выделенных бизнес-процессов и функциональной модели была спроектирована реляционная база данных, состоящая из четырёх основных таблиц: «Клиенты», «Автомобили», «Менеджеры» и «Продажи».

Таким образом, ER-диаграмма базы данных (рисунок 3) включает четыре выбранные сущности. Связи типа «один ко

многим» установлены от каждой из первых трёх сущностей к сущности «Продажи», которая является центральной и содержит внешние ключи, ссылающиеся на первичные ключи связанных таблиц. Данная связь оставлена у «Автомобили» для возможности учёта перепродаж автомобилей, хотя в текущей версии предполагается только первичная продажа.

База данных наполнена синтетическими данными за 2024–2025 годы (около 50 записей в таблице продаж), что достаточно для демонстрации всех аналитических возможностей.

Как уже было сказано, на предприятии отсутствует автоматический контроль

размера скидки, предоставляемой клиенту. Менеджеры могли устанавливать цену продажи значительно ниже рекомендованной, что снижало прибыль и создавало риски злоупотреблений. Для контроля скидок разработан триггер, срабатывающий перед добавлением или изменением записи в таблице продаж. Он извлекает рекомендованную цену автомобиля и проверяет, не превышает ли скидка 15% (порог – 85% от цены). Если цена продажи ниже порога, операция отклоняется с сообщением об ошибке.

Пример реализации функции и триггера на языке PL/pgSQL приведён ниже (рисунки 4).

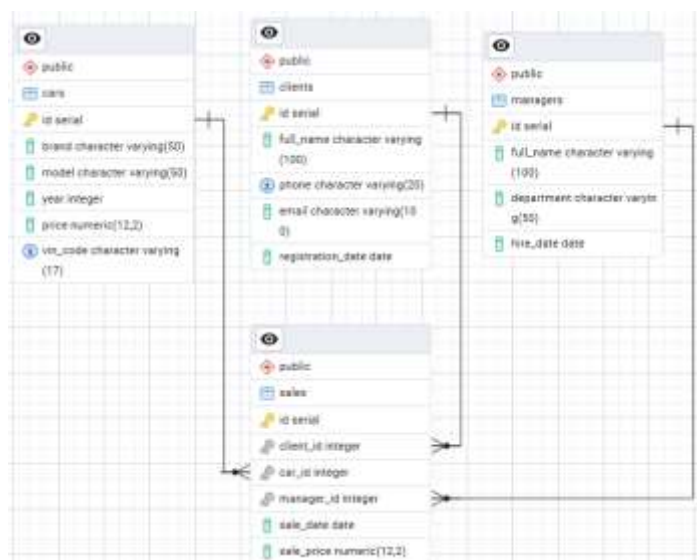


Рис. 3. ER-диаграмма базы данных

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION check_discount()
RETURNS TRIGGER AS $$
DECLARE
    car_original_price NUMERIC;
BEGIN
    SELECT price INTO car_original_price
    FROM cars
    WHERE id = NEW.car_id;

    IF NEW.sale_price < car_original_price * 0.85 THEN
        RAISE EXCEPTION 'Скидка не может превышать 15 процентов от исходной цены автомобиля. Исходная цена: %, предлагаемая цена: %',
            car_original_price, NEW.sale_price;
    END IF;

    RETURN NEW;
END;
$$ LANGUAGE plpgsql;

CREATE TRIGGER trg_discount_check
BEFORE INSERT OR UPDATE ON sales
FOR EACH ROW
EXECUTE FUNCTION check_discount();
```

Рис. 4. Функция для контроля скидки

После установки триггера любая попытка зафиксировать продажу с ценой, составляющей менее 85 процентов от рекомендованной, блокируется на уровне базы данных. Это исключает возможность ошибки или намеренного занижения цены без соответствующих полномочий.

Для быстрого доступа к сводной аналитике без ручного сведения данных были подготовлены несколько типовых SQL-запросов, которые руководство предприятия может выполнять регулярно.

Фрагмент запроса на рисунке 5 позволяет определить, какие марки и модели автомобилей пользуются наибольшим спросом. Запрос соединяет таблицы продаж и автомобилей, группирует записи по марке и модели, вычисляет количество проданных единиц, среднюю цену продажи, а также минимальную и максимальную цену. Результат сортируется по убыванию количества продаж, и ограничивается первыми пятью строками для наглядности.



Рис. 5. Топ-5 автомобилей по объёму продаж

Запрос из рисунка 6 полезен для оценки общего тренда и сезонных колебаний. Дата каждой продажи округляется до первого дня месяца с помощью функции DATE\_TRUNC, затем подсчитывается количество продаж и суммарная выручка за

каждый месяц. Дополнительно с помощью оконной функции вычисляется накопленная сумма выручки с начала первого месяца в выборке.

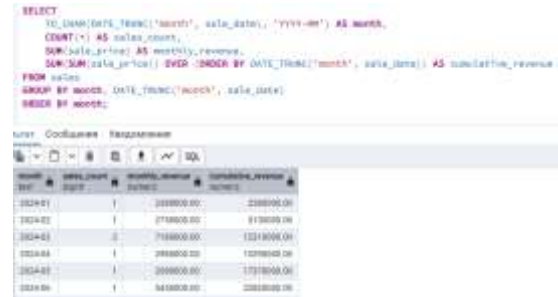


Рис. 6. Ежемесячная динамика с нарастающим итогом

Для расчёта премий и оценки эффективности работы персонала используется запрос (рисунок 7), который группирует продажи по менеджерам, подсчитывает количество заключённых сделок, общую выручку и средний чек. Результат упорядочивается по убыванию выручки, что позволяет быстро выявить лучших сотрудников.

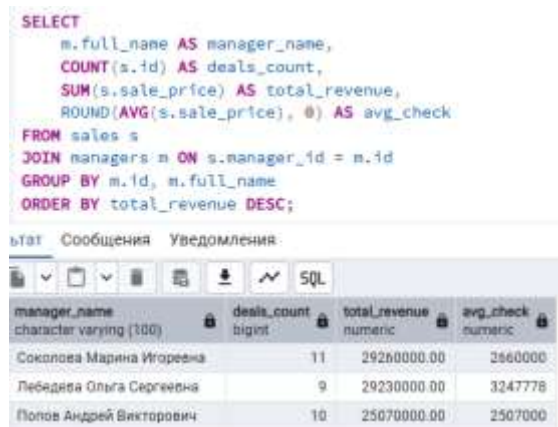


Рис. 7. Сводка по менеджерам

Все перечисленные запросы выполняются на тестовых данных менее чем за 100 миллисекунд, в то время как в ранее использовавшейся системе на основе табличных процессоров аналогичные отчёты требовали от 30 минут до двух часов ручной работы.

Помимо стандартной оперативной отчётности, в информационную систему были добавлены два аналитических инструмента, которые позволяют руководству принимать более обоснованные решения на основе накопленных данных.

RFM-анализ (Recency, Frequency, Monetary) – это метод сегментации клиентской базы [4]. Данный метод оценивает каждого клиента по трём параметрам: давность последней покупки (чем меньше дней прошло с момента последней сделки, тем выше оценка), частота покупок (чем больше покупок совершил клиент, тем выше оценка) и суммарная выручка от клиента (чем больше денег он потратил, тем выше оценка). На основе комбинации этих трёх показателей клиенты распределяются по сегментам – например, «VIP-клиенты», «постоянные покупатели», «спящие клиенты», «потерянные клиенты».

```

WITH rfm_metrics AS (
    SELECT
        client_id,
        CURRENT_DATE - MAX(sale_date) AS recency_days,
        COUNT(*) AS frequency,
        SUM(sale_price) AS monetary
    FROM sales
    GROUP BY client_id
);
rfm_scores AS (
    SELECT
        client_id,
        NTILE(4) OVER (ORDER BY recency_days ASC) AS r_score,
        NTILE(4) OVER (ORDER BY frequency DESC) AS f_score,
        NTILE(4) OVER (ORDER BY monetary DESC) AS m_score
    FROM rfm_metrics
);
SELECT
    c.full_name,
    r.recency_days,
    r.frequency,
    r.monetary,
    CONCAT(rfm_r_score, rfm_f_score, rfm_m_score) AS rfm_code,
    CASE
        WHEN rfm_r_score = 3 AND rfm_f_score = 3 AND rfm_m_score = 3 THEN 'VIP-клиент'
        WHEN rfm_r_score = 3 AND rfm_f_score = 2 THEN 'Постоянный покупатель'
        WHEN rfm_r_score = 2 AND rfm_f_score = 3 THEN 'Потенциальный клиент'
        WHEN rfm_r_score = 2 AND rfm_f_score = 2 THEN 'Спящий клиент'
        ELSE 'Обычный клиент'
    END AS segment
    FROM rfm_scores r
JOIN rfm_metrics m ON r.client_id = m.client_id
JOIN clients c ON r.client_id = c.id
ORDER BY monetary DESC;

```

Рис. 8. RFM-сегментация клиентов

Реализация RFM-анализа была выполнена полностью на SQL без использования внешних языков программирования. В

общем табличном выражении (CTE) для каждого клиента вычисляются три метрики: количество дней, прошедших с последней продажи, количество совершённых покупок и общая потраченная сумма. Затем с помощью оконной функции NTILE(4) каждому клиенту присваиваются оценки от 1 до 4 по каждому из трёх параметров (оценка 4 соответствует лучшему значению). На основе комбинации этих трёх цифр формируется RFM-код, и с помощью оператора CASE клиент относится к одному из сегментов.

Для краткосрочного планирования закупок и графика работы персонала был реализован простейший метод прогнозирования – скользящее среднее за четыре недели (SMA-4) [5]. Суть метода заключается в том, что прогноз на следующую неделю рассчитывается как среднее арифметическое фактически продаж за последние четыре недели.

На сгенерированных тестовых данных, имитирующих работу небольшой торговой точки, метод SMA-4 продемонстрировал корректную работу алгоритма. Для реального применения рекомендуется накопление исторических данных за 6–12 месяцев.

В результате была спроектирована и реализована информационная система учёта продаж автомобилей на базе PostgreSQL: проведён анализ бизнес-процессов (учёт клиентов, автомобилей, продаж) и построена функциональная модель IDEF0; спроектирована реляционная база данных из четырёх таблиц с ограничениями целостности; реализован триггер на PL/pgSQL, блокирующий продажу со скидкой более 15%; подготовлены аналитические SQL-запросы для управленческой отчётности (рейтинг моделей, динамика продаж,

рейтинг менеджеров); добавлены элементы интеллектуального анализа данных – RFM-сегментация клиентов и прогнозирование продаж методом скользящего среднего.

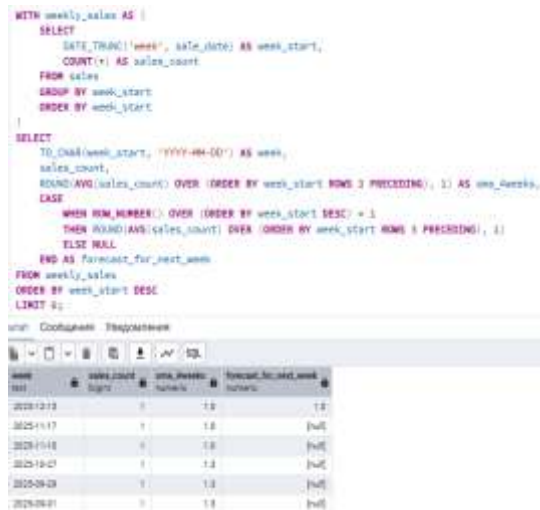


Рис. 9. Прогноз скользящим средним

Разработанная информационная система может быть использована в качестве основы для автоматизации учёта продаж в небольших розничных организациях, торгующих автомобилями или другими товарами длительного пользования. Дальнейшее развитие проекта предполагает создание веб-интерфейса для удобной работы менеджеров, а также подключение инструментов визуализации для построения интерактивных дашбордов [6]. В качестве альтернативы возможна реализация прикладного программного решения [7], позволяющего работать с учётом продаж и отчётами без прямого написания SQL-запросов.

**Информация об авторах**

**Салтанаева Елена Андреевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий и интеллектуальных систем, Казанский государственный энергетический университет (420066, Россия, г. Казань, ул. Красносельская, 51), e-mail: elena\_maister@mail.ru

**Матюшевский Марк Вадимович** – студент, Казанский государственный энергетический университет (420066, Россия, г. Казань, ул. Красносельская, 51), e-mail: markwen-ix@mail.ru

**Библиографический список**

1. PostgreSQL. Основы языка SQL: учеб. пособие / Моргунов Е.П.; под ред. Рогова Е.В., Лузанова П.В. – СПб.: БХВ-Петербург, 2018. – 336 с.
2. Каттави Р.З. Сравнительный анализ баз данных: MySQL и Postgresql / Каттави Р.З., Куценко С.М. // Студенческий. – 2019. – № 41-1(85). – С. 46-48
3. Остроух А.В. Проектирование информационных систем: монография / Остроух А.В., Суркова Н.Е. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2021. – 164 с.
4. Скляр А.Я. Прогнозно-аналитические системы: учебное пособие / Скляр А.Я. – Москва: РТУ МИРЭА, 2023. – 79 с.
5. Феррари А. Шаблоны DAX: руководство / Феррари А., Руссо М.; перевод с английского Гинько А.Ю. – Москва: ДМК Пресс, 2021. – 408 с.
6. Золкин А.Л. Автоматизация и диспетчеризация систем. Применение языковых средств высокоуровневого программирования: учебник для вузов / Золкин А.Л., Мунистер В.Д. – Санкт-Петербург: Лань, 2025. – 164 с.
7. Нгуен Фук Хау. Программное обеспечение для учета и контроля рабочего времени сотрудников / Нгуен Фук Хау, Зарипова Р.С., Зинченко В.Э. // Научно-технический вестник Поволжья. – 2023. – № 7. – С. 233-236.

**Information about the author**

**Saltanaeva Elena Andreevna** – candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information Technologies and Intelligent Systems, Kazan State Power Engineering University (51 Krasnoselskaya St., Kazan, 420066, Russia, Republic of Tatarstan), e-mail: elena\_maister@mail.ru

**Matyushevskiy Mark Vadimovich** – student, Kazan State Power Engineering University (51 Krasnoselskaya St., Kazan, 420066, Russia, Republic of Tatarstan), e-mail: markwen-ix@mail.ru

УДК 004.9:628.8

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА ВОЗДУХА В ЖИЛЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

А.А. Олейников<sup>1</sup>, Е.А. Салтанаева<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Казанский государственный энергетический университет*

**Аннотация:** рассматривается проектирование информационной системы мониторинга качества воздуха в жилых помещениях. Предлагается структура системы, включающая модули сбора, хранения, анализа и визуализации данных о параметрах воздушной среды. Определены основные контролируемые показатели и функциональные возможности системы. Обоснован выбор технологий реализации для разработки программного проекта.

**Ключевые слова:** качество воздуха, жилое помещение, информационная система, мониторинг, анализ данных, UML, цифровые технологии

## DESIGN OF AN INFORMATION SYSTEM FOR AIR QUALITY MONITORING IN RESIDENTIAL PREMISES

A.A. Oleynikov<sup>1</sup>, E.A. Saltanaeva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Kazan State Power Engineering University*

**Abstract:** the paper considers the design of an information system for air quality monitoring in residential premises. A system structure including modules for data collection, storage, analysis and visualization of air environment parameters is proposed. The main monitored indicators and functional capabilities of the system are determined. The choice of implementation technologies for software development is substantiated.

**Keywords:** air quality, residential premises, information system, monitoring, data analysis, UML, digital technologies

Качество воздуха в квартире или доме заметно влияет на повседневное самочувствие человека. Обычно в первую очередь обращают внимание на температуру и влажность, но этим микроклимат не ограничивается. Важны также уровень углекислого газа, количество взвешенных частиц и наличие летучих органических соединений. Если эти показатели долго выходят за рекомендуемые значения, воздух в помещении становится менее комфортным, а это может отражаться на работоспособности, общем состоянии и здоровье человека [1-3].

С развитием информационных технологий контролировать такие параметры стало проще. Вместо отдельных приборов, показывающих один-два показателя, можно использовать комплексную систему мониторинга. Она собирает данные,

сохраняет их, анализирует и выводит результат в понятном виде. Для жилых помещений это особенно важно: человек проводит дома много времени и должен быстро узнавать, если качество воздуха начинает ухудшаться.

При этом многие бытовые решения пока остаются ограниченными. Одни устройства показывают только температуру и влажность, другие — CO<sub>2</sub> или пыль, но общей картины пользователь часто не видит. Данные могут храниться в разных приложениях или вовсе не сохраняться, поэтому проследить изменения за день, неделю или месяц бывает сложно. Не всегда есть и удобный интерфейс, который помогает быстро оценить состояние помещения.

Именно поэтому проектирование информационной системы мониторинга

качества воздуха в жилых помещениях можно рассматривать как актуальную и практически значимую задачу [4,5]. Проблема здесь заключается не только в самих измерениях, а в их разрозненности. На практике датчики, мобильные приложения и бытовые устройства часто работают отдельно друг от друга и не образуют единую систему.

Из-за этого становится сложнее собирать данные в одном месте, сравнивать показатели между собой, анализировать изменения и показывать результат пользователю в удобном виде. В такой ситуации ухудшение параметров воздуха может быть замечено не сразу, а принятие решений по улучшению микроклимата становится менее оперативным.

Для решения этой проблемы предлагается спроектировать информационную систему, которая будет обеспечивать постоянный мониторинг качества воздуха, сохранять результаты измерений, выполнять их первичный анализ и отображать данные в понятной форме. Такая система должна быть ориентирована именно на жилое помещение как объект наблюдения, поскольку условия в квартире или доме отличаются от производственных и общественных пространств. При этом система должна поддерживать работу с основными параметрами воздушной среды, которые наиболее часто используются при оценке качества воздуха [4,5].

При проектировании информационной системы необходимо решить следующие задачи:

1. рассмотреть предметную область мониторинга качества воздуха в жилых помещениях;

2. выделить основные параметры воздушной среды, которые необходимо

контролировать;

3. определить функциональные требования к проектируемой системе;

4. описать структуру программного обеспечения, базы данных и пользовательского интерфейса;

5. обосновать выбор технологий для реализации информационной системы.

Качество воздуха в жилом помещении зависит от нескольких групп показателей. К наиболее важным из них относятся температура, относительная влажность, концентрация углекислого газа, содержание взвешенных частиц PM2.5 и PM10, а также уровень летучих органических соединений. Эти параметры позволяют оценить не только общий комфорт в помещении, но и возможные риски, связанные с ухудшением внутренней воздушной среды. Их регулярный контроль помогает быстрее выявлять неблагоприятные изменения микроклимата и снижать вероятность негативного воздействия на человека [1-3].

Причины ухудшения качества воздуха в жилых помещениях могут быть разными. Например, недостаточная вентиляция приводит к накоплению углекислого газа, повышенная влажность может способствовать появлению плесени, а пыль и бытовая химия увеличивают количество загрязняющих веществ в воздухе. При этом у пользователя обычно нет удобного инструмента, который позволял бы оценивать все эти параметры одновременно. Многие бытовые устройства показывают только отдельные значения и не дают возможности полноценно анализировать общую картину. Поэтому возникает необходимость в системе, которая объединяет сбор, хранение и обработку данных о качестве воздуха в одной цифровой среде [6-7].

Для проектируемой системы были

выделены следующие контролируемые параметры:

- температура воздуха, отражающая уровень теплового комфорта в помещении;
- относительная влажность, влияющая на состояние микроклимата и качество дыхательной среды;
- концентрация  $\text{CO}_2$ , позволяющая оценить эффективность вентиляции;
- содержание твердых взвешенных частиц  $\text{PM}_{2.5}$  и  $\text{PM}_{10}$ , характеризующее степень запыленности воздуха;
- уровень летучих органических соединений, указывающий на возможное наличие химических загрязнителей [1-3,6-7].

На основе выбранных параметров система должна не просто показывать текущие значения датчиков, а сохранять

историю измерений и помогать пользователю понять, как меняется состояние воздуха в помещении.

Важно, чтобы система могла фиксировать отклонения от допустимых или рекомендуемых уровней и отображать результаты мониторинга в понятной форме, без необходимости вручную сравнивать каждый показатель с нормативами.

Таким образом, рассматриваемая предметная область связана с построением непрерывного контроля качества воздуха в жилых помещениях. Такой подход позволяет использовать данные не только для наблюдения за текущим состоянием воздушной среды, но и для более обоснованного принятия решений по улучшению микроклимата [3,6,7].

Таблица 1 Контролируемые параметры качества воздуха в жилом помещении

Параметр	Назначение мониторинга	Возможные последствия отклонения
Температура	Контроль теплового комфорта	Ухудшение самочувствия, снижение комфорта
Влажность	Оценка состояния микроклимата	Сухость воздуха, сырость, образование плесени
$\text{CO}_2$	Контроль качества вентиляции	Духота, сонливость, ухудшение самочувствия
$\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$	Контроль запыленности воздуха	Ухудшение качества воздушной среды
VOC	Выявление химических загрязнителей	Снижение экологической безопасности помещения

Проектируемая информационная система должна автоматизировать мониторинг качества воздуха в жилом помещении. Ее работа строится по достаточно простой логике: датчики фиксируют параметры воздушной среды, затем данные передаются в общее хранилище, обрабатываются и выводятся пользователю в удобном виде. За счет этого контроль воздуха становится не набором отдельных измерений, а единым процессом, в котором можно видеть как

текущее состояние помещения, так и изменения показателей во времени [4,5].

В структуре системы можно выделить несколько основных компонентов. Сначала данные поступают в модуль сбора, который получает значения температуры, влажности, концентрации  $\text{CO}_2$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{PM}_{10}$  и VOC. После этого измерения сохраняются в базе данных, где формируется история наблюдений. Далее аналитический модуль обрабатывает полученную информацию:

сравнивает показатели с заданными пороговыми значениями, определяет отклонения и подготавливает результаты для отображения. Отдельную роль выполняет пользовательский интерфейс, через который человек может просматривать текущие данные, историю изменений и уведомления о возможных проблемах.

С функциональной точки зрения система должна выполнять несколько базовых задач: принимать и сохранять измерения, показывать актуальные параметры воздуха, фиксировать выход показателей за установленные пределы и формировать предупреждения. При этом структура системы остается достаточно простой для реализации, но не является закрытой. В

дальнейшем ее можно расширять: подключать новые датчики, добавлять дополнительные способы анализа данных, улучшать визуализацию и развивать механизм уведомлений.

Для наглядного представления структуры системы удобно использовать UML-диаграмму компонентов. Она позволяет показать не только отдельные части проектируемого решения, но и связи между ними: источниками данных, серверной частью, базой данных, аналитическим модулем и пользовательским интерфейсом. Такой формат хорошо подходит для данной работы, так как делает общую архитектуру системы понятной без подробного описания программного кода [10].

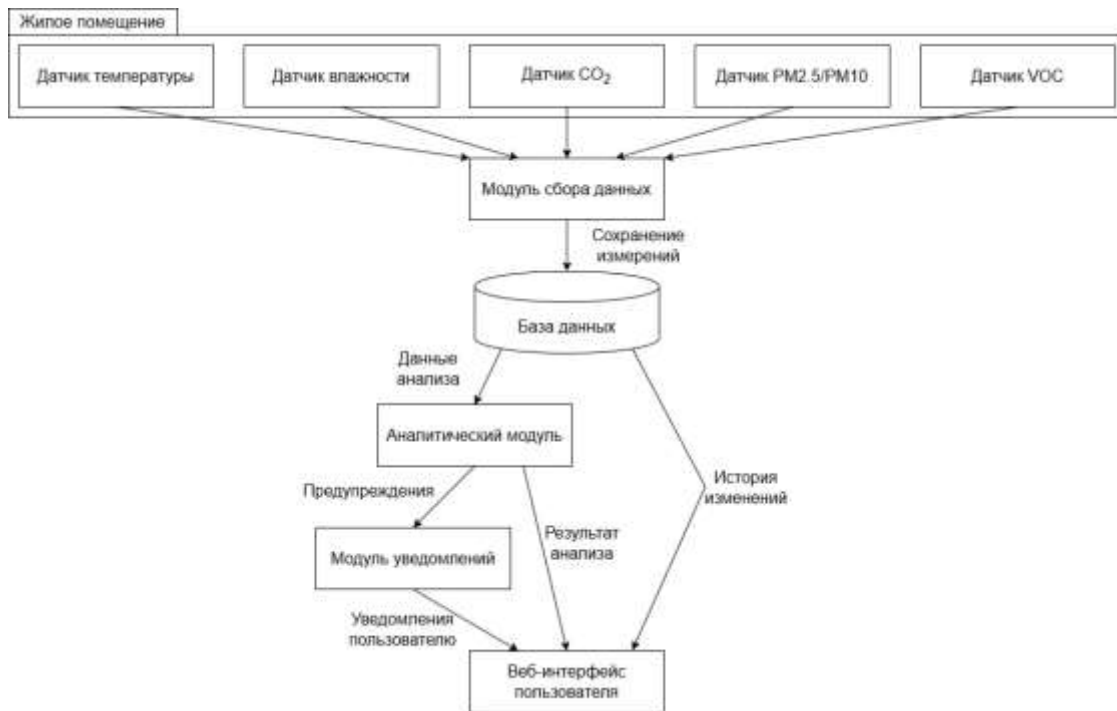


Рис. 1. UML-диаграмма компонентов информационной системы мониторинга качества воздуха в жилом помещении

Проектируемая система должна выполнять несколько связанных между собой функций: получать данные, сохранять их, обрабатывать и показывать пользователю в понятном виде. В рамках данной работы

она рассматривается как единая цифровая среда для контроля состояния воздуха в жилом помещении, а не как набор отдельных приборов, работающих независимо друг от друга.

К основным возможностям системы можно отнести прием данных от датчиков, регистрацию измерений в базе данных, отображение текущих значений, хранение истории наблюдений и отправку уведомлений при отклонении показателей от заданных пределов. Пользователь при этом должен видеть не только отдельные числа, но и общую картину состояния воздушной среды: какие параметры находятся в норме, какие требуют внимания и как они изменились за выбранный период времени [4,5].

Аналитическая обработка в такой системе может строиться на сравнении поступающих измерений с нормативными или рекомендуемыми значениями. Например, система способна определить превышение уровня CO<sub>2</sub>, рост концентрации взвешенных частиц или наличие неблагоприятных значений по летучим органическим соединениям. Кроме того, важно учитывать

Таблица 2 Основные модули и функции проектируемой системы

Модуль	Функция	Результат работы
Модуль сбора данных	Прием измерений от датчиков	Формирование потока входных данных
База данных	Хранение параметров и истории измерений	Накопление и структурирование информации
Аналитический модуль	Обработка измерений и сравнение с порогами	Выявление отклонений и формирование результатов анализа
Модуль уведомлений	Передача предупреждений пользователю	Информирование о неблагоприятных изменениях
Пользовательский интерфейс	Отображение текущих и архивных данных	Визуальное представление состояния воздушной среды

Для реализации такой системы нужен не столько сложный, сколько связанный между собой набор технологий. В данной работе в качестве основы проектирования используется UML, а для программной реализации рассматриваются Python, SQL и JavaScript. Такой выбор выглядит достаточно практичным: UML позволяет наглядно описать структуру будущего

сочетание параметров, например температуру и влажность, поскольку по отдельности они могут находиться в допустимых пределах, но вместе создавать некомфортный микроклимат. По результатам такой проверки система формирует предупреждение и выводит пользователю информацию, необходимую для оценки качества воздуха в помещении [1-3,7].

Дополнительно аналитический модуль может работать с накопленной историей измерений. Это позволяет не ограничиваться текущими значениями, а видеть повторяющиеся отклонения, сравнивать показатели за разные периоды и оценивать динамику изменения воздушной среды. Такая функция делает систему более полезной на практике, поскольку пользователь получает возможность не только заметить проблему в конкретный момент, но и понять, появляется ли она регулярно [8-9].

решения, Python подходит для серверной логики и обработки данных, SQL — для хранения результатов измерений, а JavaScript — для вывода информации в пользовательском интерфейсе [9-11].

Если говорить о серверной части, то Python удобен прежде всего тем, что на нем несложно организовать обработку входящих измерений, проверку показателей по

порогам и подготовку данных для дальнейшего отображения. SQL в этой связке нужен уже на уровне хранилища: с его помощью можно не просто записывать новые значения, но и работать с историей наблюдений, отбирать данные по отдельным параметрам и временным промежуткам. Пользовательская часть, в свою очередь, может быть построена на JavaScript, поскольку именно он позволяет сделать интерфейс более наглядным: выводить текущие показатели, историю изменений и уведомления о неблагоприятных отклонениях [10,11].

Сама логика проектирования системы тоже важна. Для подобных решений удобнее модульный подход, когда сбор данных, хранение, аналитическая обработка и интерфейс пользователя разделены между собой. В таком виде систему проще разрабатывать поэтапно, проверять и дорабатывать без полной переделки уже готовой структуры [12]. Важен также и вопрос организации базы данных: для мониторинга качества воздуха мало просто накапливать показания датчиков, нужно еще обеспечить нормальную работу с историей измерений и возможность гибких выборок для анализа [13].

Результатом работы стала схема информационной системы для мониторинга качества воздуха в жилом помещении. В ней показано, какие модули нужны системе, как должны храниться измерения и каким образом данные переходят от аналитического блока к пользовательскому интерфейсу.

Практическая ценность решения в том, что пользователь видит не разрозненные цифры с датчиков, а общую картину состояния воздуха: какие параметры изменились, где есть превышения и

повторяются ли они со временем. Такой подход делает накопленные данные полезными не только для хранения, но и для анализа [14].

Система также оставляет возможность для развития. Позже к ней можно подключить новые датчики, добавить рекомендации, расширить аналитику или связать ее с устройствами управления микроклиматом. Поэтому проект можно рассматривать не как разовую разработку, а как основу для дальнейшего цифрового контроля качества воздуха в жилой среде [15].

### Библиографический список

1. ГОСТ 30494–2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях [Электронный ресурс]. – URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293788/4293788520.pdf> (дата обращения: 28.04.2026).
2. WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide [Электронный ресурс]. – Geneva: World Health Organization, 2021. – 290 p. – URL: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228> (дата обращения: 28.04.2026).
3. Gabriel M.F., Marques G., Filipe D., Felgueiras F., Cardoso J.P., Azeredo J. et al. Implementation of an IoT architecture for promoting healthy air quality in 84 homes of families with children // Building and Environment. – 2024. – Vol. 266. – Art. 112040. – DOI: 10.1016/j.buildenv.2024.112040.
4. Mota A., Serôdio C., Briga-Sá A., Valente A. Implementation of an Internet of Things Architecture to Monitor Indoor Air Quality: A Case Study During Sleep Periods // Sensors. – 2025. – Vol. 25, № 6. – Art. 1683. – DOI: 10.3390/s25061683.
5. Dai X., Liu J., Li X., Zhao L. Long-term

monitoring of indoor CO<sub>2</sub> and PM<sub>2.5</sub> in Chinese homes: Concentrations and their relationships with outdoor environments // *Building and Environment*. – 2018. – Vol. 144. – P. 238–247. – DOI: 10.1016/j.buildenv.2018.08.019.

6. Yin H., Zhai X., Ning Y., Li Z., Ma Z., Wang X., Li A. Online monitoring of PM<sub>2.5</sub> and CO<sub>2</sub> in residential buildings under different ventilation modes in Xi'an city // *Building and Environment*. – 2022. – Vol. 207. – Art. 108453. – DOI: 10.1016/j.buildenv.2021.108453.

7. Rescio G., Manni A., Caroppo A., Carluccio A.M., Siciliano P., Leone A. Multi-Sensor Platform for Predictive Air Quality Monitoring // *Sensors*. – 2023. – Vol. 23, № 11. – Art. 5139. – DOI: 10.3390/s23115139.

8. Yao H., Shen X., Wu W., Lv Y. et al. Assessing and predicting indoor environmental quality in 13 naturally ventilated urban residential dwellings // *Building and Environment*. – 2024. – Vol. 253. – Art. 111347. – DOI: 10.1016/j.buildenv.2024.111347.

9. Object Management Group. Unified Modeling Language (UML), Version 2.5.1 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.omg.org/spec/UML/2.5.1> (дата обращения: 28.04.2026).

10. Python Software Foundation. sqlite3 — DB-API 2.0 interface for SQLite databases [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.python.org/3/library/sqlite3.html>

(дата обращения: 28.04.2026).

11. MDN Web Docs. JavaScript Guide [Электронный ресурс]. – URL: <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/JavaScript/Guide> (дата обращения: 28.04.2026).

12. Бикеева, Н. Г. Современные подходы к проектированию информационных систем / Н. Г. Бикеева, Е. А. Салтанаева // *Экономика и предпринимательство*. – 2025. – № 8(181). – С. 905–908. – DOI: 10.34925/EIP.2025.181.8.169. – EDN VGEPT.

13. Соловьева, А. А. Проектирование эффективной базы данных для анализа демографических показателей региона / А. А. Соловьева, Е. А. Салтанаева // *Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах*. – 2025. – № 3(37). – С. 157–162. – EDN NXZLVF.

14. Файзрахманова, Н. Н. Реализация программных механизмов и аналитический потенциал ИС для расчета экологического следа на платформе 1С: Предприятие / Н. Н. Файзрахманова, Е. А. Салтанаева // *Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах*. – 2026. – № 1(39). – С. 75–80. – EDN GJLINK.

15. Пырнова, О. А. Внедрение информационных технологий в сферу здравоохранения / О. А. Пырнова, Р. С. Зарипова // *Наука и образование: новое время*. – 2018. – № 5(28). – С. 132–134. – EDN YOBQWD.

#### Информация об авторах

**Олейников Александр Анатольевич** – студент кафедры информационных технологий и интеллектуальных систем, Казанский государственный энергетический университет (420066, Россия, г. Казань, ул. Красносельская, 51), e-mail: shimiaku1990@gmail.com

**Салтанаева Елена Андреевна** – кандидат технических наук, Доцент кафедры информационных технологий и интеллектуальных систем, Казанский государственный энергетический университет (420066, Россия, г. Казань, ул. Красносельская, 51), e-mail: elena\_maister@mail.ru

#### Information about the author

**Oleynikov Alexander Anatolyevich** – student of the Department of Information Technology and Intelligent Systems, Kazan State Power Engineering University (420066, Russia, Kazan, Krasnoselskaya St., 51), e-mail: shimiaku1990@gmail.com

**Saltanaeva Elena Andreevna** – candidate of technical sciences, Associate professor of the department of information technologies and intelligent systems, Kazan state power engineering University (51 Krasnoselskaya str., Kazan, 420066, Russia), e-mail: elena\_maister@mail.ru

УДК 004.65

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ИНКРЕМЕНТАЛЬНОЙ ЗАГРУЗКИ ДАННЫХ ИЗ REST API ПЛАТЕЖНЫХ ШЛЮЗОВ И БАНКОВСКИХ СЕРВИСОВ В DATA LAKE

А.Н. Павлов<sup>1</sup>, Е.А. Салтанаева<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Казанский государственный энергетический университет

**Аннотация:** В статье рассмотрены подходы к проектированию системы инкрементальной загрузки данных из REST API платёжных шлюзов и банковских сервисов в Data Lake. Описаны архитектурные решения, механизмы обработки изменений, обеспечения надёжности и согласованности данных. Показаны ключевые проблемы и пути их решения.

**Ключевые слова:** Data Lake, REST API, инкрементальная загрузка, платёжные системы, поток данных, ETL, интеграция данных

## DESIGNING A SYSTEM FOR INCREMENTAL DATA LOADING FROM REST APIS OF PAYMENT GATEWAYS AND BANKING SERVICES INTO A DATA LAKE

A.N. Pavlov<sup>1</sup>, E.A. Saltanaeva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Kazan state power engineering University

**Abstract:** Approaches to designing a system for incremental data loading from REST APIs of payment gateways and banking services into a Data Lake are considered. Architectural solutions, mechanisms for change data processing, and methods for ensuring reliability and data consistency are described. Key challenges and possible solutions are identified.

**Keywords:** Data Lake, REST API, incremental loading, payment systems, data flow, ETL, data integration

Современные платёжные шлюзы и банковские сервисы предоставляют доступ к транзакционной информации через REST API. Получение этих данных в аналитических хранилищах - ключевая задача для построения систем мониторинга, фрод-аналитики и финансовой отчётности. Однако прямое копирование всех данных при каждом запросе быстро становится неэффективным: объёмы информации растут, а время загрузки увеличивается. В таких условиях на первый план выходит инкрементальная загрузка - передача только тех записей, которые изменились или добавились после последнего обращения [7].

В качестве целевого хранилища часто выбирается Data Lake. Эта архитектура позволяет сохранять данные в исходном виде

без жёсткой схемы, что особенно удобно при работе с разнородными ответами разных API. Проектирование системы, которая соединяет REST API платёжных систем и Data Lake с поддержкой инкрементальности, требует учёта множества факторов: ограничений по частоте запросов, возможных сбоев, дублирования транзакций и необходимости обеспечивать согласованность с исходными системами [8].

Платёжные API редко предоставляют возможность получать все данные за произвольный интервал. Чаще всего доступны методы с пагинацией, фильтрацией по дате и ограничением глубины истории. Стандартный подход - выгрузка за последние сутки - не учитывает возможность задержек в проведении операций. Банковские

системы могут отдавать транзакции со значительными лагами, вплоть до нескольких дней. При проектировании инкрементального процесса это обстоятельство нельзя игнорировать [9].

Кроме того, многие шлюзы вводят лимиты на число запросов в минуту. При попытке выгрузить большой объём данных за один раз легко превысить эти лимиты и получить блокировку. Вследствие этого требуется строить систему, которая адаптируется к ограничениям источника и распределяет нагрузку во времени. Также стоит учитывать, что одни и те же транзакции могут обновляться (менять статус, сумму комиссии, время подтверждения). Простая загрузка по дате создания не позволит отследить такие изменения.

Выбор Data Lake в качестве приёмника данных обоснован несколькими факторами. Во-первых, ответы REST API платёжных шлюзов часто имеют вложенную структуру (JSON с массивами, вложенными объектами). Складируют такие данные в классическом реляционном хранилище пришлось бы с нормализацией, что усложняет ETL-процессы. Во-вторых, схемы API могут меняться - добавляются новые поля, устаревшие помечаются как deprecated. Data Lake позволяет держать сырые данные как есть и применять схему только при чтении. В-третьих, объёмы финансовых логов легко достигают терабайтов в месяц, и объектное хранилище (S3 или его аналоги) обходится дешевле специализированных СУБД. Это позволяет накапливать историю без необходимости дорогостоящей архивации [1].

На основе анализа типичных задач были сформулированы следующие требования:

– Поддержка нескольких источников с

различными параметрами пагинации, фильтрации и аутентификации.

– Возможность checkpoint'a - запоминания позиции, до которой данные уже загружены.

– Обработка обновлений существующих записей без потери истории изменений.

– Устойчивость к сбоям сети и превышению лимитов запросов.

– Согласованность: каждая транзакция должна попасть в озеро данных ровно один раз (или с возможностью дедупликации).

– Автоматическое восстановление после ошибок без ручного вмешательства.

В дополнение к этому система должна позволять перезагружать произвольные интервалы - например, при обнаружении проблем с качеством данных за прошлый период.

Предложенная архитектура включает четыре основных слоя: слой источников, слой оркестрации, слой обработки и слой хранения.

Слой источников представляет собой набор коннекторов к конкретным API. Каждый коннектор инкапсулирует логику аутентификации (OAuth2, API-ключ), формирование запросов, работу с пагинацией и преобразование ошибок. Коннекторы реализованы как независимые модули, что позволяет добавлять новые платёжные шлюзы без изменения остальной системы. Для унификации используется общий интерфейс: метод `fetch_incremental (start_token, limit)` возвращает итератор записей и маркер следующей страницы.

Слой оркестрации отвечает за планирование задач и управление состоянием загрузки. Информация о последних успешно обработанных точках для каждого источника и для каждого типа данных

сохраняется в служебной таблице (например, в PostgreSQL или Redis) [6]. Типичный параметр `checkpoint` - временная метка последней загруженной транзакции или уникальный идентификатор последней записи. В случае использования курсоров API в `checkpoint` сохраняется этот токен. Оркестратор запускает задачи по расписанию или по триггеру от источника [2].

Слой обработки выполняет трансформацию: нормализацию полей, приведение типов, обогащение справочными данными. Важно, что инкрементальный процесс не перезаписывает партиции целиком, а добавляет новые файлы в соответствующие директории Data Lake. Шаблоны хранения позволяют легко обрабатывать данные за конкретный день без сканирования всего озера. Для дедупликации на уровне файлов применяется подход с временными таблицами, где сначала накапливаются записи за интервал, а затем выполняется merge с основным хранилищем по первичному ключу.

Слой хранения базируется на объектном хранилище (MinIO, S3) с форматом файлов Parquet – он обеспечивает хорошее сжатие и поддержку колоночного чтения. Поверх сырых данных могут быть построены витрины в формате Iceberg или Delta Lake, добавляющие поддержку транзакций и временных срезов. Однако для начального проектирования достаточно организации в виде иерархии папок с партициями по дате.

Выбор конкретной стратегии зависит от возможностей API. Проанализировано три основных варианта.

Стратегия на основе временных меток. API позволяет фильтровать записи по полю `updated_at` или `created_at`. Система запоминает максимальную метку из

предыдущей загрузки и запрашивает все записи с `updated_at > checkpoint`. Этот подход прост, но имеет недостатки: если в одной временной метке содержится много записей, они могут быть обрезаны пагинацией, а при новой загрузке часть записей с той же меткой может быть пропущена. Решение - использовать строгое больше плюс небольшое перекрытие (например, загружать на минуту назад и удалять дубли на этапе обработки). Банковские API часто предоставляют такой механизм, однако не все гарантируют монотонный рост метки обновления [10].

Стратегия на основе последовательных идентификаторов. Если каждая транзакция имеет монотонно возрастающий целочисленный ID, система хранит последний загруженный ID и запрашивает записи с `id > checkpoint`. Это позволяет избежать пропусков и перекрытий. Но далеко не все платёжные шлюзы выдают сквозную нумерацию. К тому же, для разных валют или типов операций ID могут быть независимыми. Вследствие этого нужна отдельная логика для каждого эндпоинта [3].

Стратегия на основе курсоров. Многие современные REST API используют курсоры - непрозрачные строки, которые возвращаются в ответе и позволяют запросить следующую страницу. Храня последний курсор, система может продолжить загрузку с того же места. Проблема в том, что курсоры часто ограничены по времени жизни и не позволяют перезагрузить произвольный интервал назад. Поэтому для надёжности приходится сочетать курсоры с временными метками или создавать собственный слой индексации.

В разрабатываемой системе реализована комбинированная схема: для каждого источника определяется приоритетная

стратегия, но также ведётся журнал всех полученных временных меток и идентификаторов. Это позволяет в случае сбоя восстановиться не только по checkpoint, но и по вспомогательным ключам.

При работе с внешними API отказы неизбежны. Были выделены типы ошибок и соответствующие реакции:

Сетевые сбои, таймауты - повторы с экспоненциальной задержкой (до 5 попыток).

– HTTP 429 (Too many request) - чтение заголовка Retry-After или ожидание по умолчанию (1 минута), затем повтор. Для каждого источника настраивается максимальная частота запросов (через token bucket или sliding window на стороне клиента).

– HTTP 4xx (кроме 429) - обычно означает проблему с параметрами запроса или правами доступа. Такие ошибки не лечатся повтором, система логирует их и переходит к следующему источнику (или останавливает задачу для ручного анализа).

– HTTP 5xx - временные проблемы сервера. На них делается несколько повторов с увеличивающейся задержкой.

Важно, что при любом сбое во время получения страницы результат не считается успешным, и checkpoint не обновляется. В противном случае возможна потеря данных. Для минимизации повторной загрузки уже полученных страниц применяется идемпотентность: каждая запись перед записью в Data Lake проверяется по комбинированному ключу (источник + внешний ID). Дубликаты отбрасываются, но не останавливают процесс. Благодаря этому даже если после сбоя система перезапросит ту же пару страниц, конечное состояние озера не испортится [4].

Транзакции в платёжных системах

могут меняться. Например, статус «pending» переходит в «success» или «failed». При инкрементальной загрузке система должна не только добавлять новые записи, но и обновлять существующие. Однако Data Lake в классическом понимании не поддерживает операции update. Обходных путей несколько [11].

Первый - хранить все версии записей, добавляя каждое изменение как отдельную запись с временной меткой загрузки. Тогда при анализе всегда можно взять последнюю версию по состоянию на нужный момент. Второй - поддерживать «снимок» в виде партиционированной таблицы, где при обновлении перезаписывается только файл, содержащий изменённую запись. Для этого используются форматы с поддержкой merge. В рамках проектирования был выбран гибридный подход: сырой слой хранит все версии в виде append-only логов, а на слое очищенных данных периодически выполняется merge с созданием актуального снимка.

Для дедупликации внутри одного инкрементального окна используется хэш-таблица по ключу транзакции. Если за один запуск из API получено несколько одинаковых записей (например, из-за перекрытия интервалов), сохраняется только последняя по времени получения. Это позволяет избежать дублей даже без глобального состояния.

Достижение семантики «ровно один раз» в распределённой системе с внешними API - сложная задача. Обычно приходится довольствоваться компромиссом: «хотя бы один раз» с последующей дедупликацией. Проектируемая система реализует следующий протокол:

1. Перед началом загрузки интервала в служебной базе создаётся запись о запуске

задачи с уникальным идентификатором.

2. Все полученные данные сохраняются в staging-директорию с именем, включающим ID задачи.

3. После успешного завершения всех страниц выполняется атомарное перемещение файлов из staging в основное хранилище.

4. Обновляется checkpoint.

Если на любом этапе происходит сбой, при следующем запуске система видит незавершённую задачу и может либо откатить её, либо повторить. При повторной загрузке того же интервала из API возможно дублирование, но на этапе дедупликации лишние записи отбрасываются. Такой подход гарантирует, что ни одна транзакция не будет потеряна, а дубли не нарушат аналитику [5].

Любая инкрементальная система требует средств наблюдения. В процессе проектирования заложены следующие метрики:

– Задержка - разница между максимальным временем транзакции в Data Lake и текущим моментом.

– Количество полученных записей за запуск, количество дублей, количество пропусков (если ID не монотонны).

– Частота ошибок по типам.

– Время выполнения каждого коннектора, размер переданных данных.

– Состояние checkpoint для каждого источника.

Для визуализации используется связка Prometheus + Grafana. Также настраиваются алерты: если lag превышает заданный порог или частота ошибок выше 5%, отправляется уведомление.

В итоге были рассмотрены ключевые аспекты проектирования системы инкрементальной загрузки финансовых данных

из REST API в Data Lake. Показано, что универсального решения не существует - выбор стратегии зависит от возможностей конкретного платёжного шлюза. Тем не менее, предложенная архитектура с разделением на слои, гибкими коннекторами, checkpoint`ами и механизмами дедупликации покрывает большинство реальных сценариев. Внедрение такой системы позволяет сократить объём передаваемых данных на 90–95% по сравнению с полными выгрузками, снизить нагрузку на источники и обеспечить оперативную аналитику. Вследствие этого организации, работающие с множеством банковских API, получают надёжный инструмент для построения единого озера транзакционных данных.

#### Библиографический список

1. Алекс Горелик. Корпоративное озеро больших данных: новый подход к использованию Big Data и Data Science в бизнесе. – Москва: Эксмо, 2023. – 272 с.

2. Проектирование информационных систем: учебник и практикум для среднего профессионального образования / Д. В. Чистов, П. П. Мельников, А. В. Золотарюк, Н. Б. Ничепорук. – 2-е изд. – Москва: Юрайт, 2026. – 273 с.

3. Проектирование архитектуры API: Дж. Гоф, Д. Брайант, М. Оберн – Астана: АЛИСТ, 2024. – 288 с.

4. Bill Inmon. Data Lake architecture: designing the Data Lake and avoiding the garbage dump: first edition. – Basking Ridge, NJ: Technical publications, 2016. – 218 p.

5. Питхейн Стренгхольт. Масштабируемые данные. Высоконагруженные архитектуры, Data Mesh и Data Fabric. 2-е изд. – Астана: Sprint Book, 2025. – 416 с.

6. Каттави Р. З. Сравнительный анализ баз данных: MySQL и PostgreSQL / Р. З.

Каттави, С. М. Куценко // Студенческий. – 2019. – № 41-1(85). – С. 46-48.

7. Булычев В. А. Применение проектирования и разработки автоматизированных информационных систем на предприятиях / В. А. Булычев, Р. М. Хамитов. – Мелитополь: Мелитопольский государственный университет, 2025. – С. 97-100.

8. Бикеева Н. Г. Современные подходы к проектированию информационных систем / Н. Г. Бикеева, Е. А. Салтанаева. – 2025. – № 8(181). – С. 905-908.

9. Гарипова А. Д. Методология построения систем управления базами знаний для интеллектуальных систем / А. Д. Гарипова,

Р. С. Зарипова. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2025. – С. 142-144.

10. Веденин Д. И. Определение требований rest API для эффективного взаимодействия банкомата с сервером / Д. И. Веденин, Р. М. Романов. – Москва: Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ", 2024. – С. 257-259.

11. Шихвеледова Т. А. Сравнительный анализ архитектур данных Data Fabric и Data Lake применительно к оперативным сценариям / Т. А. Шихвеледова, А. Г. Саидбегова, З. А. Сеферова. – 2022. – № 17(412). – С. 375-377.

#### Информация об авторах

**Павлов Андрей Николаевич** – студент, Казанский государственный энергетический университет (420066, Россия, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51), e-mail: pavlov.nikol2@yandex.ru

**Салтанаева Елена Андреевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий и интеллектуальных систем, Казанский государственный энергетический университет (420066, Россия, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51), e-mail: elena\_maister@mail.ru

#### Information about the author

**Andrey N. Pavlov** – student, Kazan state power engineering University (51 Krasnoselskaya str., Kazan, 420066, Russia), e-mail: pavlov.nikol2@yandex.ru

**Elena A. Saltanaeva** – candidate of technical sciences, associate professor of the department of information technologies and intelligent systems, Kazan state power engineering University (51 Krasnoselskaya str., Kazan, 420066, Russia), e-mail: elena\_maister@mail.ru

УДК 004.4

## РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ СТОМАТОЛОГИЧЕСКОЙ КЛИНИКИ

**С.А. Баушов<sup>1</sup>, В.А. Ключкина<sup>1</sup>, С.В. Игрунова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Белгородский государственный национальный исследовательский университет*

<sup>2</sup> *Воронежский государственный технический университет*

**Аннотация:** В статье рассматривается процесс автоматизации деятельности стоматологической клиники на основе технологии WPF платформы .NET. Проведён анализ предметной области, выявлены недостатки существующих решений, предложена функциональная модель бизнес-процессов в нотации IDEF0. Представлена реализация системы, описаны основные функциональные возможности для клиентов и врачей.

**Ключевые слова:** информационная система, .NET, C#, IDEF0, бизнес-процесс, QL Server, клиника.

## DEVELOPMENT OF AN INFORMATION SYSTEM FOR A DENTAL CLINIC

**S.A. Baushov<sup>1</sup>, V.A. Klyuchkina<sup>1</sup>, S.V. Igrunova<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Belgorod State National Research University*

<sup>2</sup> *Voronezh State Technical University*

**Abstract:** The article discusses the process of automating the activities of a dental clinic based on the WPF technology of the .NET platform. The subject area has been analyzed, the shortcomings of existing solutions have been identified, and a functional model of business processes in IDEF0 notation has been proposed. The implementation of the system has been presented, and the main functionality for customers and doctors has been described.

**Keywords:** information system, .NET, C#, IDEF0, business process, SQL Server, clinic

В современных условиях рынка успешная работа предприятий, предоставляющих услуги, возможна только при автоматизации их процессов с помощью информационных систем. Основная цель любой стоматологической клиники — получение прибыли, и в этом контексте внедрение современных цифровых решений играет ключевую роль. Особенно эффективными оказываются системы управления, которые позволяют минимизировать издержки, связанные с ошибками персонала и выполнением однообразных задач. «Автоматизация операций не только ускоряет рабочие процессы, но и повышает точность ведения учёта» [1]. Пациенты охотнее обращаются в учреждения, где всё организовано чётко и надёжно, а это, в свою очередь, помогает привлекать новых клиентов.

«Стоматологическая клиника ежедневно работает с большим количеством информации — от расписания врачей до деталей оказанных услуг» [2]. При этом

именно высокое качество обслуживания и профессионализм специалистов формируют лояльную клиентскую базу, которая и становится главным источником устойчивого дохода. Рассмотренные системы не обеспечивают полноценного сочетания выделенных критериев одновременно — наблюдается явный разрыв между удобством для пользователя, технической интеграцией и автоматизацией финансово-материальных процессов.

В рамках данного исследования было разработано приложение, в качестве среды разработки была выбрана платформа Visual Studio. Разработка проводилась после построения функциональных моделей [3,4]. В нотации IDEF0 были построены контекстная и диаграммы декомпозиции процесса, указанного на рисунке 1. На рисунке 2 приведена диаграмма, которая позволяет более подробно рассмотреть этапы выполнения процесса регистрации.



Рис. 1. Контекстная диаграмма «Деятельность стоматологической клиники»

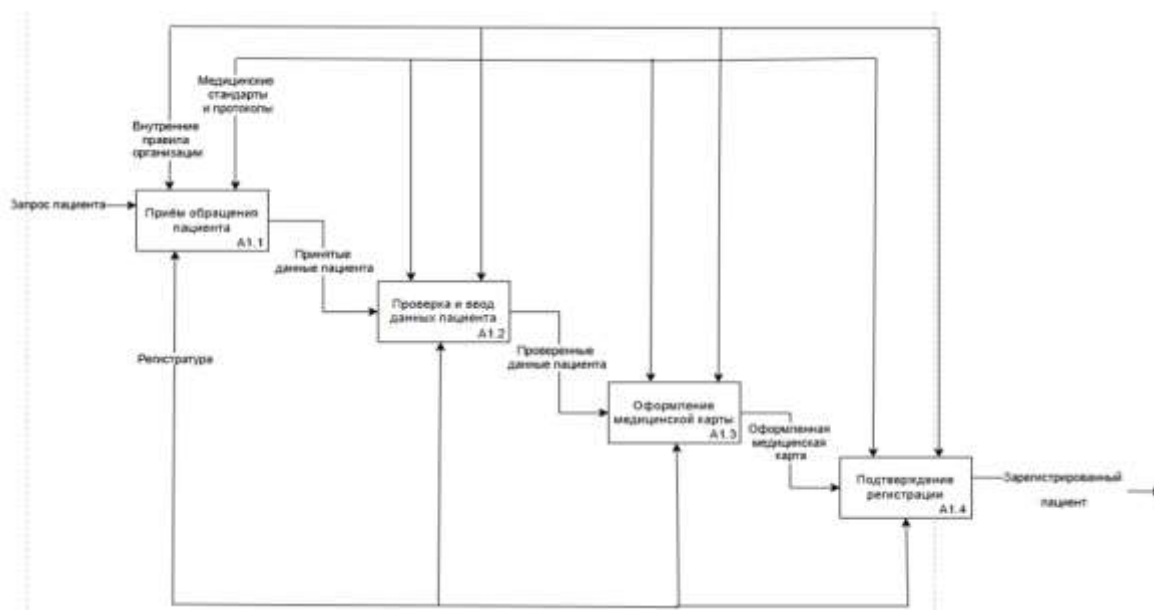


Рис. 2. Диаграмма декомпозиции процесса «Регистрация пациента»

Также были построены диаграммы 2-го уровня для остальных процессов.

В результате анализа модели «КАК ЕСТЬ» были выявлены основные недостатки функционирования текущего процесса оказания стоматологических услуг. Ключевые проблемы связаны с ручной обработкой и поиском информации о пациентах, что повышает вероятность возникновения ошибок и значительно увеличивает время обслуживания. Использование разрозненных источников данных приводит к неполному и несогласованному учёту информации, а отсутствие единой автоматизированной системы усложняет процесс ведения медицинской документации и управления приёмами пациентов. Для устранения выявленных проблем целесообразно внедрение информационной системы, обеспечивающей автоматизацию сбора, хранения и обработки данных, что позволит повысить точность, удобство и эффективность работы стоматологической клиники.

Следующим этапом было построение

логической модели базы данных для информационной системы стоматологической клиники была разработана детализированная структура, охватывающая все ключевые аспекты предметной области. Центральное место в модели занимает сущность «Приём», которая включает следующие атрибуты: уникальный код приёма (первичный ключ), код пациента, код сотрудника, код кабинета (внешние ключи), дата и время приёма, сумма оплаты, статус и комментарий. Данные атрибуты обеспечивают полноту описания процесса оказания медицинских услуг и позволяют однозначно идентифицировать каждое посещение клиники.

Процесс оказания медицинских услуг отражается через сущности «Состав приёма», «Работник», «Должность», «Кабинет». Таким образом, разработанная логическая модель базы данных обеспечивает комплексное покрытие процессов записи пациентов и оказания стоматологических услуг, поддерживает масштабирование



подтвердить запись или перевести её в архив).

На странице «Регистрация

сотрудника», показанной на рисунке 6, расположена форма для ввода данных нового пользователя системы.

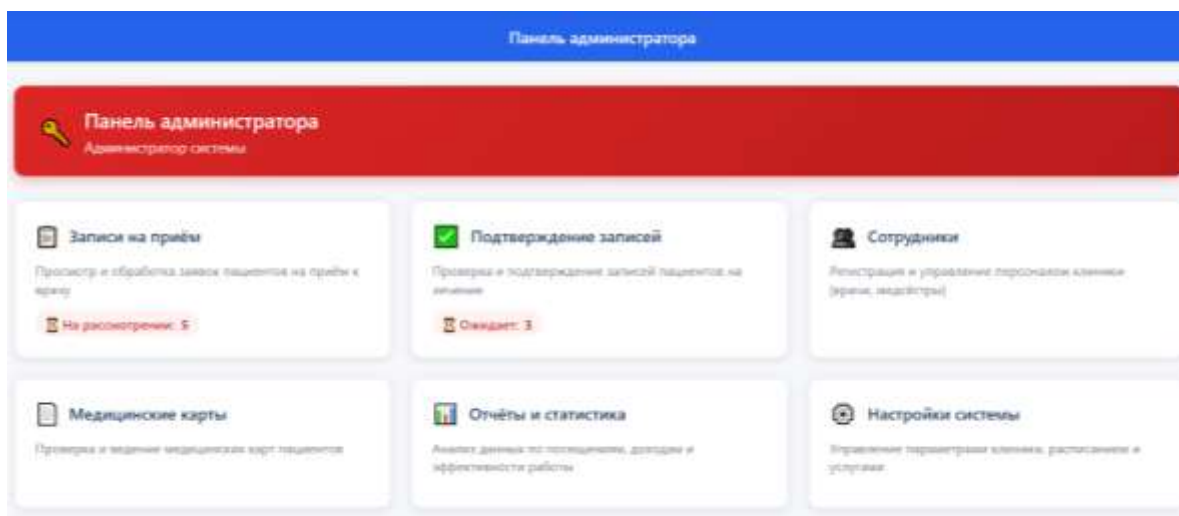


Рис. 4. Панель администратора

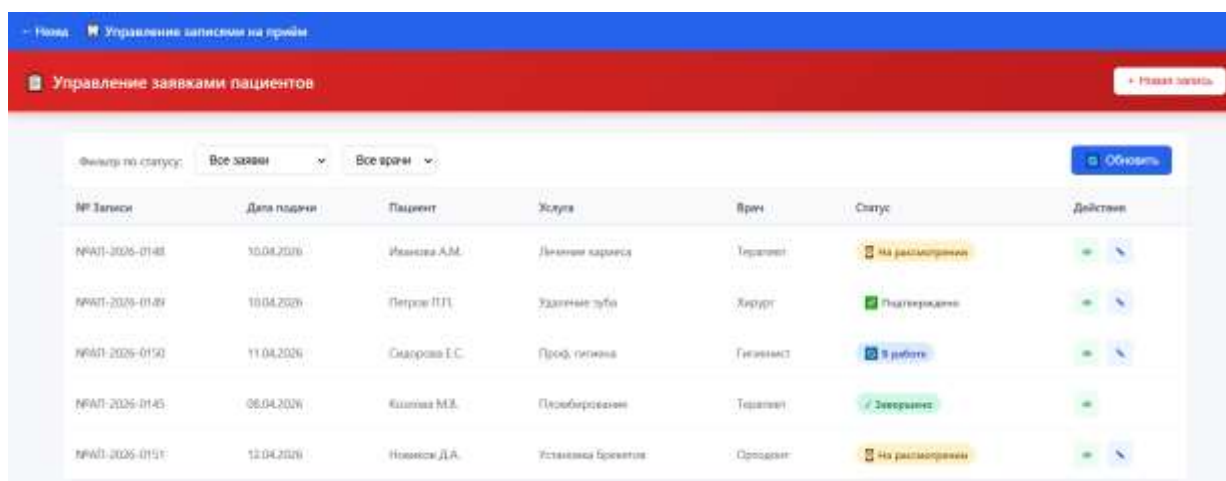


Рис. 5. Управление записями

Интерфейс содержит обязательные поля для заполнения личных данных: логин, пароль, фамилия, имя и отчество сотрудника. Особое внимание уделяется полю «Роль», которое представляет собой выпадающий список для выбора должности (например, Администратор, Врач-стоматолог, Гигиенист). После нажатия кнопки сохранения информация записывается в таблицу «Работник», и пользователь получает доступ к системе с соответствующими его

роли правами (например, доступом к панели администратора или медицинским картам).

На интерфейсе личного кабинета пациента информационной системы стоматологической клиники в верхней части страницы расположена информационная панель с указанием ФИО пользователя (Иванова Мария Петровна). Основное меню организовано в виде шести функциональных карточек, предоставляющих доступ к

основным разделам системы: записи на приём, медицинская карта, документы, профиль и история посещений. Данный интерфейс обеспечивает пациенту удобный доступ ко всем необходимым функциям для взаимодействия с клиникой и управления своими данными, рисунок 7.

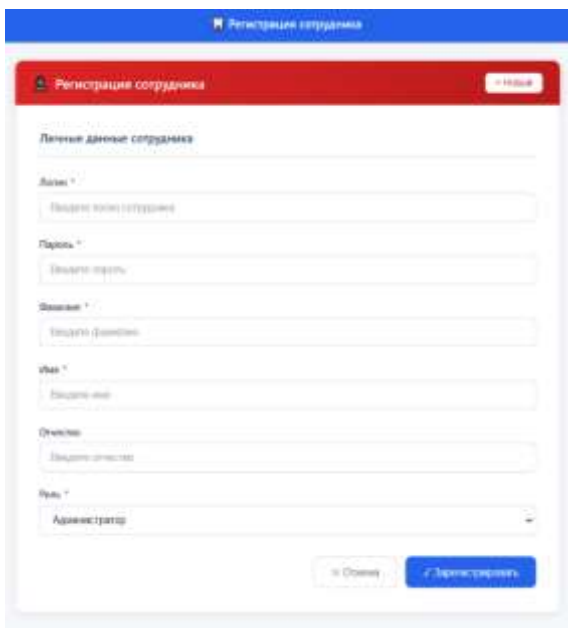


Рис. 6. Регистрация сотрудника

На странице записи в стоматологию пользователь выбирает тип приёма (первичный, повторный или консультация), врача, дополнительные услуги (рентген, анестезия) и заполняет остальные поля. Внизу формы — кнопки сохранения черновика и отправки заявки.

После входа в систему врачу представлено рабочее место, предназначенное для проведения приёма пациентов и ведения медицинской документации. Основная функция страницы, представленной на рисунке 8, – предоставление врачу доступа к расписанию приёмов, медицинским картам пациентов и возможность внесения результатов осмотра и назначений.

Разработанная информационная система обеспечивает удобное взаимодействие всех категорий пользователей с платформой стоматологической клиники. Для каждой роли (пациент, администратор, врач) реализован специализированный набор функций, соответствующий их задачам, полномочиям и потребностям.

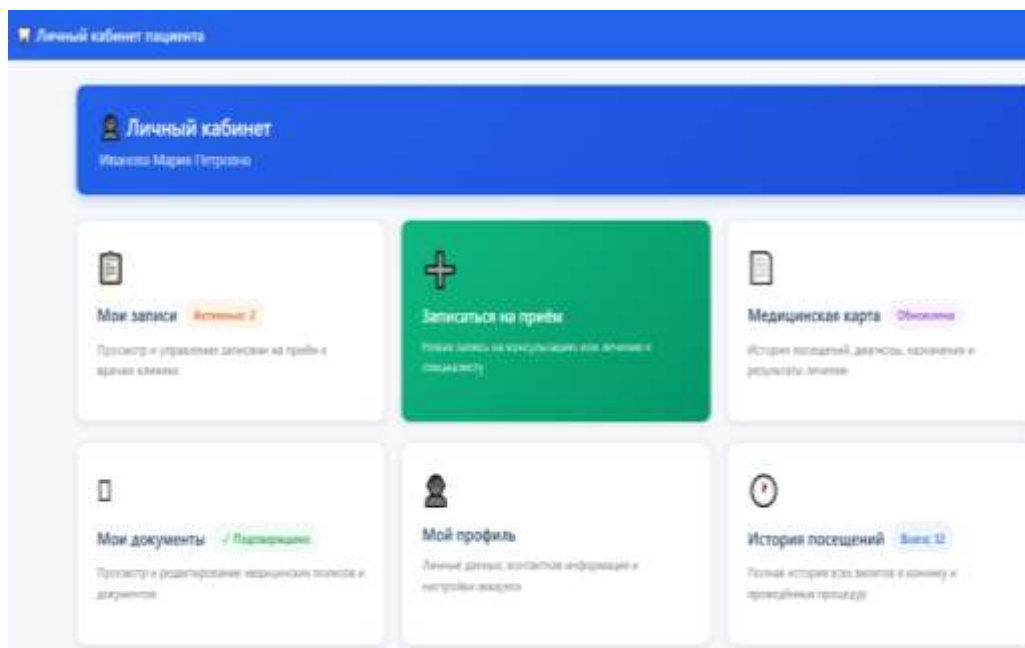


Рис. 7. Личный кабинет пациента

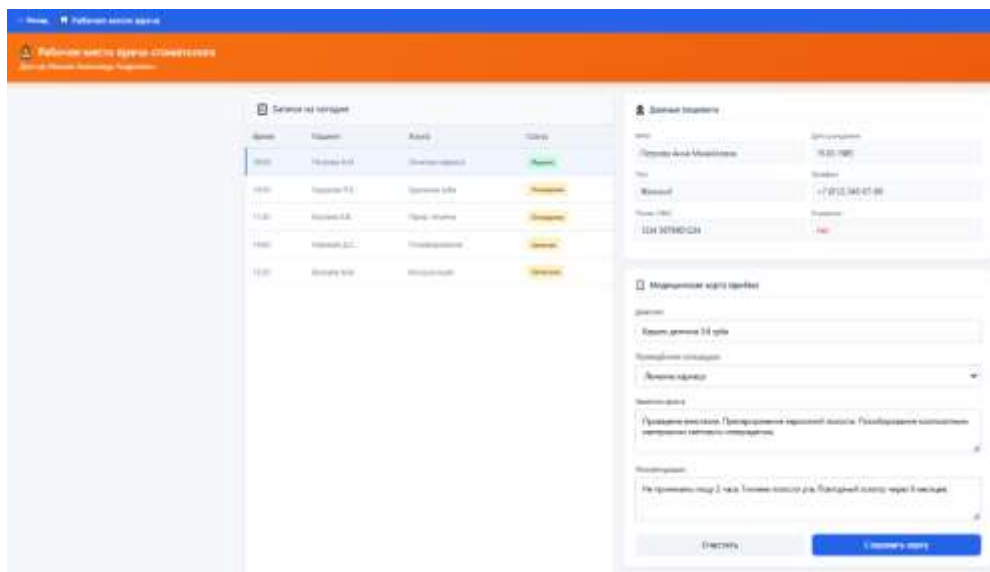


Рис. 8. Рабочее место врача

В ходе разработки информационной системы применялось ручное тестирование. Выбор данного подхода обусловлен относительно компактным функционалом системы, вследствие чего создание автоматизированных тестовых скриптов было признано избыточным. Кроме того, ручная проверка позволила параллельно оценивать не только корректность выполнения операций, но и эргономику интерфейса с точки зрения конечного пользователя.

Тестирование осуществлялось по сценариям, определённым на этапе проектирования при построении диаграммы вариантов использования. Обнаруженные проблемы были оперативно устранены. По результатам проверки система демонстрирует устойчивую работу при некорректных действиях пользователя, обеспечивает целостность хранимых данных и стабильность интерфейса, что позволяет сделать вывод о готовности системы к промышленной эксплуатации.

### Библиографический список

1. Зараменских, Е. П. Информационные системы: управление жизненным циклом:

учебник и практикум для среднего профессионального образования / Е. П. Зараменских. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2023. — 497 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-16179-3. — Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/530571>.

2. Васильев, В. И., Стоматология терапевтическая: учебник для среднего профессионального образования / В. И. Васильев. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2025. — 445 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-14045-3. — Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/567360>.

3. Нестерова Е.В., Игрунова С.В., Игрунов К.К. Технология моделирования информационных систем в учебном процессе с помощью CASE-средств. В сборнике: Опыт образовательной организации в сфере формирования цифровых навыков // Сборник материалов Всероссийской научно-методической конференции с международным участием, 2019. - С. 213-216.

4. Белкин И.В., Игрунова С.В.,

Удовенко И.В. Построение информационной системы экологического мониторинга для дошкольного учреждения // В сборнике: Информационно-аналитические

системы и технологии. Материалы XI Международной научно-практической и научно-методической конференции. Белгород, 2024. С. 168-175.

#### Информация об авторах

**Баушов Сергей Александрович** – студент 4-го курса, Инжиниринговый колледж, Белгородский государственный национальный исследовательский университет (308015, Россия, ул. Победы, 85, Белгород), e-mail: 1672565@bsuedu.ru

**Ключкина Виктория Александровна** – аспирант 1-го курса, ассистент кафедры информационных и робототехнических систем, Белгородский государственный национальный исследовательский университет (308015, Россия, ул. Победы, 85, Белгород), e-mail: dunaeva@bsuedu.ru, тел.: 8-920-205-28-07

**Игрунова Светлана Васильевна** – канд. социол. наук, доц., доцент кафедры компьютерных интеллектуальных технологий проектирования, Воронежский государственный технический университет (394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20 лет Октября, 84), e-mail: igrunovasv@mail.ru, тел.: 8-910-329-61-86.

#### Information about the author

**Sergey A. Baushov** – 4th-year student, Engineering College, Belgorod State National Research University (st. Pobedy, 85, Belgorod, 308015, Russia), e-mail: 1672565@bsuedu.ru

**Victoria A. Klyuchkina** – postgraduate, assistant professor at the Department of Information and Robotic Systems, Belgorod State National Research University (st. Pobedy, 85, Belgorod, 308015, Russia), e-mail: dunaeva@bsuedu.ru, ph.: 8-920-205-28-07

**Svetlana V. Igrunova** – associate Professor, Candidate of Sociological Sciences, Associate Professor at the Department of Applied Informatics, Voronezh State Technical University (84 20-letiya Oktyabrya str., Voronezh 394006, Russia), e-mail: igrunovasv@mail.ru, ph.: 8-910-329-61-86

УДК 004.65

## РАЗРАБОТКА OLAP-МОДУЛЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ЛОГИСТИЧЕСКИХ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ POSTGRESQL И PANDAS

**Х.Ш. Усманов<sup>1</sup>, Е.А. Салтанаева<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Казанский государственный энергетический университет*

**Аннотация:** Представлена разработка OLAP-модуля для анализа логистических бизнес-процессов на основе PostgreSQL и библиотеки Pandas языка Python. Решение включает проектирование схемы данных «звезда», ETL-загрузку в реляционную СУБД и построение многомерных срезов для расчёта ключевых показателей эффективности. Метод позволяет выявлять узкие места логистической сети, оценивать загрузку транспорта и анализировать распределение задержек по маршрутам и дням недели. Приведены результаты апробации на сгенерированных данных, визуализированные в виде дашборда из четырёх графиков.

**Ключевые слова:** базы данных, SQL, алгоритмы анализа данных, бизнес-аналитика, персонализация, авиаперевозки, информационная система.

## ON THE DEVELOPMENT OF AN OLAP MODULE FOR LOGISTICS BUSINESS PROCESSES ANALYSIS BASED ON POSTGRESQL AND PANDAS

**K.S. Usmanov<sup>1</sup>, E.A. Saltanaeva<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Kazan State Power Engineering University*

**Abstract:** The paper presents the development of an OLAP module for logistics business process analysis based on PostgreSQL and the Python Pandas library. The solution includes the design of a star schema data model, ETL loading into a relational database, and the construction of multidimensional cubes for calculating key performance indicators. The method enables the identification of bottlenecks in the logistics network, the assessment of vehicle load factors, and the analysis of delay distribution across routes and weekdays. The results of testing on generated data are presented, visualized as a four-chart dashboard.

**Keywords:** databases, SQL, data analysis algorithms, business analytics, personalization, air transportation, information system.

Современное логистическое предприятие ежедневно генерирует значительные объёмы разнородных данных: заказы, маршруты, временные метки доставки, загрузка транспорта, задержки и причины их возникновения. Как показывает практика, наиболее распространённой ошибкой при управлении такими данными является их фрагментация – часть информации хранится в Excel-таблицах, часть – в бумажных журналах, а часть – в учётной системе, не предназначенной для аналитики. В результате диспетчер или логист вынуждены тратить до нескольких часов в неделю на ручное сведение отчётов, что не только отнимает время, но и создаёт риск ошибок и запаздывания управленческих решений [1, 2].

Особую ценность для транспортных компаний представляет многомерный анализ (OLAP – On-Line Analytical Processing), позволяющий оперативно получать срезы данных по различным измерениям: маршрутам, дням недели, моделям автомобилей, временным периодам [3]. Такой анализ даёт возможность не просто констатировать факт задержки, а выявлять устойчивые закономерности – например, что определённый маршрут задерживается в 10 раз чаще других или что пик проблем приходится на конкретный день недели.

Для анализа логистических бизнес-процессов, который обеспечивал бы централизованное хранение данных в реляционной СУБД, автоматическую многомерную агрегацию показателей и визуализацию ключевых метрик в виде дашборда, имеет смысл разработать OLAP-модуль [4]. При разработке следует реализовать проектирование схемы данных «звезда», генерацию тестовых данных, имитирующих реальную деятельность логистической компании, реализацию загрузки данных в

PostgreSQL, построение OLAP-куба средствами Pandas с расчётом нескольких KPI, а также создание итогового дашборда и формулировка рекомендаций на основе выявленных закономерностей.

Рассмотрим типовой логистический процесс небольшой транспортной компании, специализирующейся на доставке грузов по пяти фиксированным маршрутам в пределах региона. В существующем варианте (обозначим его как «как есть») процесс включает следующие основные этапы: поступление заявки от клиента, назначение диспетчером маршрута и выбор доступного транспортного средства, выполнение доставки водителем, а затем фиксация фактического времени прибытия и отметки о наличии или отсутствии задержки. Модель описанного бизнес-процесса представлена на рисунке 1.

Несмотря на кажущуюся простоту, эта схема обладает рядом существенных недостатков. Во-первых, данные о заказах, маршрутах и автомобилях не связаны между собой в единой базе данных – каждое подразделение ведёт учёт в собственных Excel-файлах, что приводит к дублированию и рассогласованию информации. Во-вторых, отсутствует возможность автоматически сопоставить задержку с конкретным маршрутом или днём недели – для такого анализа требуется вручную сводить несколько таблиц. В-третьих, диспетчер не имеет оперативной визуализации ключевых показателей (например, доли задержек по направлениям или загрузки парка), что затрудняет принятие своевременных управленческих решений [5].

В качестве альтернативы предлагается архитектура «как будет» (рисунок 2), в основе которой лежит централизованная база данных PostgreSQL, ETL-процесс

(Extract, Transform, Load) на Python для загрузки и трансформации данных, слой многомерной аналитики на базе библиотеки

Pandas и слой визуализации на основе Matplotlib.

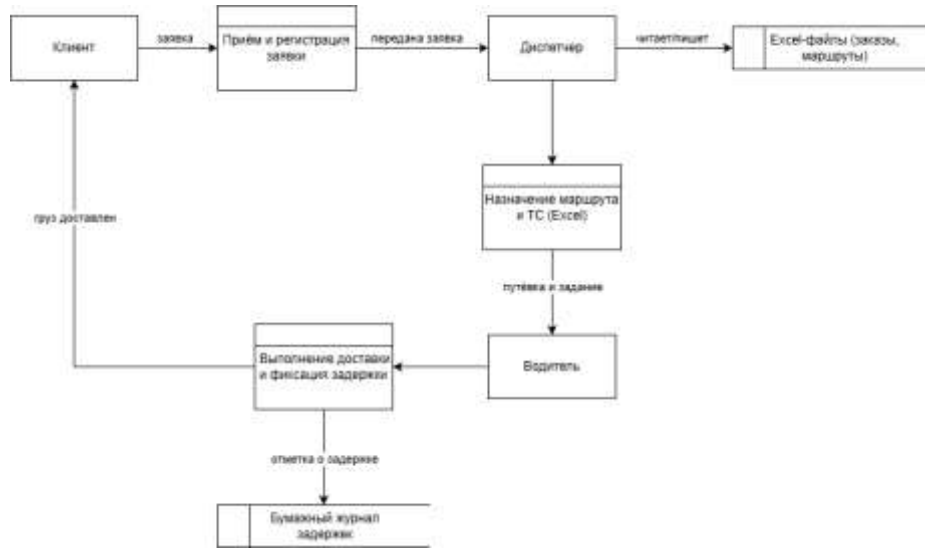


Рис. 1. Диаграмма бизнес-процесса «как есть» в нотации DFD

В такой архитектуре диспетчер или руководитель получает возможность не просто просматривать отдельные записи, а формировать агрегированные отчёты по любому сочетанию измерений – например, «доля задержек по маршруту «Центр-Восток» по средам» или «средняя загрузка

автомобилей марки Volvo FH». Более того, все отчёты строятся автоматически при каждом обновлении данных, что исключает ручной труд и снижает вероятность ошибок.

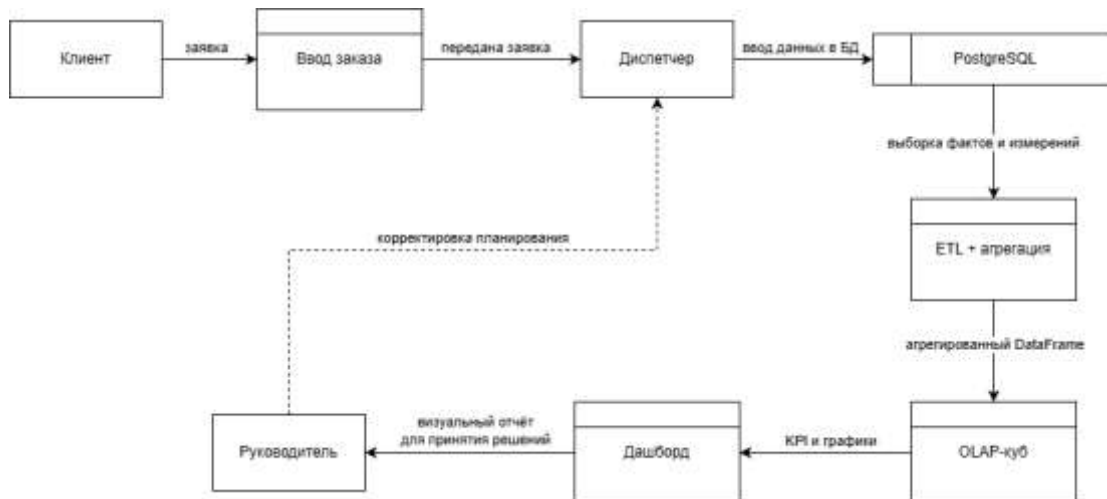


Рис. 2. Диаграмма бизнес-процесса «как будет» в нотации DFD

Для поддержки многомерного анализа была спроектирована реляционная схема, выполненная в нотации «звезда»

(Star Schema). Данная нотация является классической для OLAP-систем, поскольку она разделяет факты (события, которые

можно измерять, например заказы) и измерения (характеристики, по которым выполняется анализ, например маршруты или автомобили). В предложенной схеме выделены следующие таблицы: routes (маршруты), содержащая название, расстояние в километрах и нормативное время доставки; trucks (транспортные средства), содержащая модель, грузоподъемность в килограммах и стоимость топлива на километр; orders (заказы), которая является таблицей фактов и включает дату заказа, ссылки на маршрут и автомобиль, вес груза и сумму в долларах; а также delivery\_log (журнал доставки), в которой фиксируется фактическое время доставки, отметка о задержке и её причина.

Такое разделение позволяет выполнять агрегацию по любому из измерений без изменения структуры таблиц. Например, для расчёта средней загрузки

автомобилей достаточно связать таблицу заказов с таблицей транспортных средств, а для анализа задержек по дням недели – добавить извлечение дня недели из даты заказа. Рисунок 3 выполнен согласно выше-сказанному.

Поскольку целью работы является демонстрация подхода, а не внедрение на реальном предприятии (что требует отдельных согласований и доступа к коммерческой информации), все необходимые данные были сгенерированы синтетически. Такой подход является стандартным при разработке прототипов аналитических систем. Для генерации использовался язык Python с библиотеками Faker (для формирования реалистичных названий маршрутов и моделей автомобилей) и random (для стохастического моделирования весов грузов, задержек и фактического времени доставки).

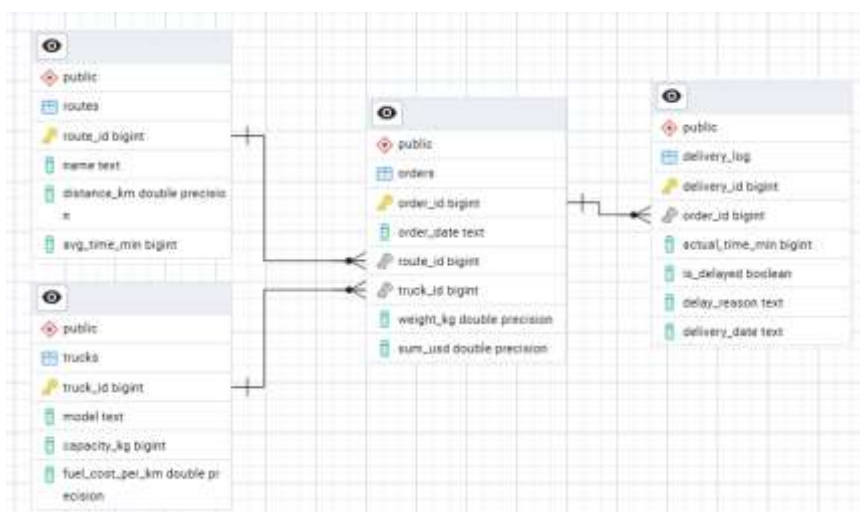


Рис. 3. ER-диаграмма в виде схемы «звезда»

Общий объём сгенерированной выборки составил 200 заказов за период с января 2025 года по июнь 2026 года. Было определено пять маршрутов с расстояниями от 18,7 до 89,3 км и пять моделей грузовых автомобилей грузоподъемностью от 10 до 20 тонн. Ключевым элементом

генерации стала дифференцированная вероятность задержки для каждого маршрута: намеренно задавались разные значения, чтобы впоследствии на реальных данных (пусть и синтетических) проверить способность OLAP-модуля выявлять аномалии. В частности, для одного из маршрутов

вероятность задержки была задана на уровне 68%, тогда как для другого – всего 5%. Рисунок 4 показывает фрагмент кода, реализующий эту логику.

```
# Вероятность задержки зависит от маршрута
delay_prob = {
    1: 0.12, # Центр-Север
    2: 0.08, # Центр-Юг
    3: 0.23, # Центр-Запад
    4: 0.68, # Центр-Восток (проблемный)
    5: 0.05 # Центр-Пригород
}.get(route_id, 0.15)

is_delayed = random.random() < delay_prob
```

Рис. 4. Фрагмент генерации задержек с дифференцированной вероятностью

После загрузки сгенерированных данных в PostgreSQL следующим шагом стало построение OLAP-куба. В рамках данной работы под OLAP-кубом понимается многомерная агрегированная структура,

```
delay_by_route = fact_df.groupby('name').agg(
    total_orders=('order_id', 'count'),
    delayed_orders=('is_delayed', 'sum'),
    avg_delay_time=('actual_time_min', lambda x: x[fact_df.loc[x.index, 'is_delayed']].mean() if x[fact_df.loc[x.index, 'is_delayed']].any() else 0)
).reset_index()

delay_by_route['delay_percent'] = (delay_by_route['delayed_orders'] / delay_by_route['total_orders'] * 100).round(1)
```

Рис. 5. Построение OLAP-среза «доля задержек по маршрутам»

Аналогичным образом были рассчитаны загрузка транспортных средств (отношение фактического веса к грузоподъемности), экономическая эффективность маршрутов (выручка на километр пути для каждого направления), а также выполнены срезы по дням недели с использованием встроенных возможностей Pandas по извлечению компонентов даты.

Финальным компонентом разработанного OLAP-модуля стал дашборд, включающий четыре графических элемента, каждый из которых визуализирует определенный KPI. Для построения использовалась библиотека Matplotlib в связке с Seaborn [7].

На рисунке 6 представлена

позволяющая получать значения KPI в различных разрезах. Для построения использовалась библиотека Pandas, которая прочитала данные из PostgreSQL через интерфейс SQLAlchemy, объединила таблицы фактов и измерений в один плоский DataFrame (операция, аналогичная SQL-JOIN), после чего применила методы groupby и pivot\_table для агрегации.

Преимущество использования Pandas перед выполнением всех агрегаций непосредственно в SQL заключается в гибкости построения визуализаций. Полученный агрегированный DataFrame легко передать в библиотеки построения графиков, такие как Matplotlib или Seaborn [6]. Рисунок 5 иллюстрирует расчёт одного из ключевых KPI – доли задержек в процентах по каждому маршруту.

гистограмма доли задержек по маршрутам, где сразу заметно значительное превышение значений для одного из направлений по сравнению с остальными.

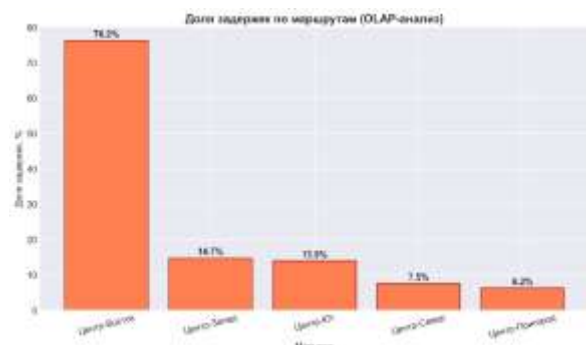


Рис. 6. Доля задержек по маршрутам

Рисунок 7 показывает среднюю загрузку пяти моделей транспортных средств

– этот график полезен для выявления как недогруза, так и перегруза (когда среднее значение превышает 100%).

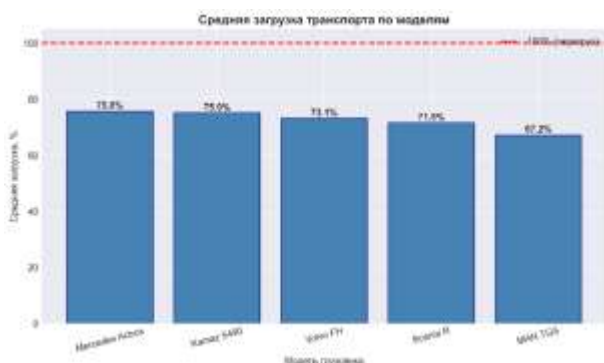


Рис. 7. Средняя загрузка транспорта по моделям

Рисунок 8 выполнен в виде тепловой карты, где строки соответствуют дням недели, столбцы – маршрутам, а цвет ячейки кодирует долю задержек в процентах. Такая визуализация позволяет мгновенно обнаруживать сочетания «день недели – маршрут», которые являются проблемными.

Наконец, рисунок 9 отображает экономическую эффективность маршрутов в виде выручки на один пройденный километр, что даёт руководству компании инструмент для оценки рентабельности каждого направления.

OLAP-анализ позволил выявить критическое узкое место – маршрут «Центр-Восток», на котором доля задержек составляет 76,2%, а выручка на километр – лишь 13,45 USD, что в 4,7 раза ниже показателя маршрута «Центр-Пригород» (63,44 USD/км). Тепловая карта показала, что по средам задержки на этом маршруте достигают 100%, а в целом по предприятию пик задержек приходится на четверг (31,0%), минимум – на субботу (17,9%). Загрузка транспортных средств находится в диапазоне 67–76%, однако у модели Kamaz 5490

треть заказов (10 из 33) выполняется с превышением грузоподъёмности.



Рис. 8. Тепловая карта задержек (день недели vs маршрут)

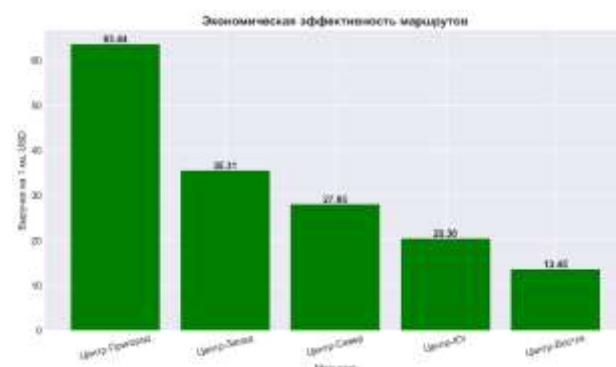


Рис. 9. Выручка на 1 км по маршрутам

Таким образом, полученные результаты указывают на три основные проблемные зоны: восточное направление с аномально высокими задержками, среду как наиболее проблемный день недели для этого маршрута и систематическое нарушение правил загрузки на одной из моделей транспорта. В противоположность этому маршрут «Центр-Пригород» может рассматриваться как эталонный с точки зрения пунктуальности и рентабельности.

Результатом стал разработанный и протестированный OLAP-модуль для анализа логистических бизнес-процессов, построенный на основе СУБД PostgreSQL и библиотеки Pandas языка Python.

Спроектирована схема данных «звезда», обеспечивающая разделение

фактов и измерений и поддерживающая многомерную агрегацию без изменения структуры таблиц. Сгенерирован синтетический набор данных, включающий 200 заказов, пять маршрутов с расстояниями от 18,7 до 89,3 км и пять моделей грузовых автомобилей. Реализован ETL-процесс загрузки данных в PostgreSQL, после чего с использованием Pandas построены многомерные срезы по маршрутам, дням недели и моделям транспортных средств. Разработан дашборд из четырёх графиков, визуализирующих различные целевые метрики.

Проведённый анализ выявил критическое узкое место: маршрут «Центр-Восток» демонстрирует долю задержек 76,2% при выручке на километр 13,45 USD, что в 4,7 раза ниже эталонного маршрута «Центр-Пригород». Тепловая карта показала, что по средам задержки на этом маршруте достигают 100%, что требует немедленного управленческого вмешательства. Также выявлен систематический перегруз у модели Kamaz 5490 (треть заказов с превышением грузоподъёмности).

Разработанный OLAP-модуль может быть интегрирован в активную систему поддержки принятия решений логистического предприятия [8, 9]. Дальнейшее развитие работы может идти по пути добавления прогнозных моделей на основе машинного обучения (например, для предсказания вероятности задержки по комбинации маршрута и дня недели), а также внедрения интерактивного дашборда в Power BI или Tableau.

### Библиографический список

1. Юсупова Р.И. Роль информационных систем в оптимизации логистики и цепочек поставок / Юсупова Р.И., Зарипова Р.С. // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2024. – Т. 7, № 4(145). – С. 170-175.
2. Силкина О.Ю. Актуальные проблемы моделирования логистических систем и пути их решения / О. Ю. Силкина, Р. С. Зарипова // Актуальные проблемы транспорта и энергетики: пути их инновационного решения : материалы XI Международной научно-практической конференции, Астана, 16 марта 2023 года. – Астана: Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, 2023. – С. 216-218.
3. Дубовкин М.С., Пономарева О.А. Применение OLAP-технологий анализа международной логистической системы // Информационные технологии и технические средства в управлении. – 2015. – № 26. – С. 153–158.
4. Современные технологии повышения качества услуг в транспортной отрасли / Князькина О.В., Хамитов Р.М., Дмитриев Г.В., Черникова О.П. // Компетентность. – 2025. – № 1. – С. 22-27.
5. Хамитов Р.М. Умная логистика: как цифровые технологии трансформируют цепочки поставок / Р. М. Хамитов, Н. А. Натальсон // Экономика и предпринимательство. – 2025. – № 5(178). – С. 825-830.
6. Python & Pandas in Supply Chain Analytics. – 2025. – URL: <https://log-hub.com/python-and-pandas-in-supply-chain-analytics/>
7. Руководство по Pandas на Metanit. – URL: <https://metanit.com/python/pandas/>
8. Шагмарданова Г.Ф. Цифровая трансформация автотранспортных предприятий: роль информационных систем в повышении эффективности / Г. Ф. Шагмарданова, Е. А. Салтанаева // Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. – 2025. – № 3(37). – С. 125-129.
9. Салтанаева Е.А. Современная

Логистика: от управления до оптимизации /  
Е. А. Салтанаева, Р. И. Эшелиоглу //

International Journal of Advanced Studies. –  
2023. – Т. 13, № 2-2. – С. 79-83.

#### Информация об авторах

**Салтанаева Елена Андреевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий и интеллектуальных систем, Казанский государственный энергетический университет (420066, Россия, г. Казань, ул. Красносельская, 51), e-mail: elena\_maister@mail.ru

**Усманов Хайрулла Шукуруллаевич** – студент кафедры информационных технологий и интеллектуальных систем, Казанский государственный энергетический университет (420066, Россия, г. Казань, ул. Красносельская, 51), e-mail: xayrullousmnov@gmail.com

#### Information about the author

**Saltanaeva Elena Andreevna** – candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information Technologies and Intelligent Systems, Kazan State Power Engineering University (51 Krasnoselskaya St., Kazan, 420066, Russia, Republic of Tatarstan), e-mail: elena\_maister@mail.ru

**Usmanov Khayrulla Shukrullaevich** – student of the Department of Information Technologies and Intelligent Systems, Kazan State Power Engineering University (51 Krasnoselskaya St., Kazan, 420066, Russia, Republic of Tatarstan), e-mail: xayrullousmnov@gmail.com

УДК 004.75:004.65:658.5

## СЕРВЕРНАЯ АРХИТЕКТУРА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УЧЕТА ДЕТАЛЕЙ И ЗАЯВОК РЕМОНТНО-МЕХАНИЧЕСКОГО ЦЕХА

С.А. Кириллов<sup>1</sup>, В.Г. Казьмин<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Воронежский государственный технический университет

**Аннотация:** Статья посвящена разработке серверной архитектуры для информационной системы учета деталей и заявок ремонтно-механического цеха. В данной статье рассматриваются особенности процесса создания серверной части приложения на базе ASP.NET Core, с использованием баз данных SQL Server Manager и Entity Framework.

**Ключевые слова:** серверная архитектура, информационные системы, ASP.NET Core, базы данных, ремонтно-механический цех, Entity Framework, SQL Server Manager.

## SERVER ARCHITECTURE OF THE INFORMATION SYSTEM FOR ACCOUNTING PARTS AND APPLICATIONS OF THE REPAIR AND MECHANICAL WORKSHOP

S.A. Kirillov<sup>1</sup>, V.G. Kazmin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Voronezh State Technical University

**Abstract:** The article is devoted to the development of a server architecture for an information system for accounting parts and applications of a mechanical repair shop. This article discusses the specifics of the process of creating a server-side application based on ASP.NET Core, using SQL Server Manager and Entity Framework databases.

**Keywords:** server architecture, information systems, ASP.NET Core, databases, Mechanical repair shop, Entity Framework, SQL Server Manager.

В условиях реального промышленного предприятия ремонтно-механический цех (РМЦ) выполняет важные функции по изготовлению, восстановлению и учету деталей. Детали, прошедшие через РМЦ, поддерживают работу оборудования всего предприятия в рабочем состоянии. При ручном или даже частично

автоматизированном учете возникает множество проблем с потерей информации, сложностью контроля исполнения работ, а также с отсутствием полноценной отчетности по результатам работы РМЦ.

Для решения вышеописанных проблем была разработана информационная система, сердцем которой стал сервер,

обеспечивающий централизованное хранение информации, обработку заявок, складской учет, ведение действий пользователей, передачу уведомлений, а также разграничение прав доступа.

Целью данной работы является проектирование серверной архитектуры информационной системы, обеспечивающей учет деталей и управление заявками РМЦ.

Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

- разработать структуру базы данных (БД) для хранения информации о деталях, оборудовании, пользователях, заявках и складских ячейках, а также ведения действий пользователей;

- реализовать серверный интерфейс программирования приложений (API) для взаимодействия клиентского приложения с базой данных;

- реализовать учет брака и формирование заявок на исправление дефектных (бракованных) деталей;

- организовать механизм уведомлений и журналирования действий пользователей.

Серверная часть приложения построена на основе технологии ASP .NET Core Web API [1]. Такой подход позволяет разделить клиентскую и серверную части приложения.

Сервер выполняет следующие функции:

- приемку и обработку HTTP-запросов от клиента;
- операций чтения и изменения данных;
- проверку прав доступа у пользователей;
- взаимодействие с базой данных через Entity Framework [2];
- отправку уведомлений клиентам;
- хранение файлов чертежей и

изображений;

- журналирование действий пользователей.

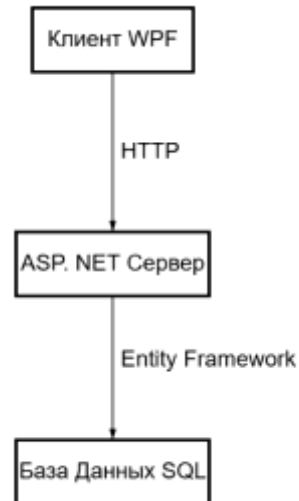


Рис. 1. Обобщенная архитектура серверной части информационной системы

В качестве клиента сервера используется настольное WPF-приложение, которое обращается к серверу посредством Rest API, т.е. HTTP запросов и взаимодействует с ним данными в формате JSON. Для событий обновления, например создание новой заявки или входа пользователя в сеть, применяется SignalR [3].

Структура серверной части:

- Контроллеры – принимают запросы клиента и вызывают определенную логику.
- Модель данных – описывает основные сущности (пользователь, заявка и т.д).
- Контекст БД – обеспечивает связь между объектами в приложении и таблицами БД.
- Механизм авторизации – ограничивает доступ в зависимости от роли пользователя.
- Механизм уведомлений – передает изменения состояния сущностей клиентам.

Такое разделение упрощает

взаимодействие и сопровождение серверной части для дальнейшего масштабирования информационной системы.

Для полного понимания архитектуры следует описать сущности, которыми оперируют контроллеры на сервере:

- User — пользователь системы;
- Part — деталь;
- Equipment — оборудование;
- Request — заявка на изготовление детали;
- DefectRepairRequest — заявка на исправление брака;
- StorageCell — складская ячейка;
- WriteOff — списание детали;
- AppLog — запись журнала действий;
- Notification — уведомление пользователя.

Как упоминалось выше для работы с БД применяется Entity Framework, библиотека позволяет описывать структуру всей БД на уровне классов C#, выполнять обновление (миграции) таблиц и создание новых всего лишь изменяя или создавая новые модели посредством классов C#.

Центральным объектом всей информационной системы является сущность Request (заявка), она отражает необходимость в работе РМЦ, у нее так же есть свой

Таблица 1 Основные серверные контроллер

жизненный цикл (ЖЦ), который она проходит перед завершением.

ЖЦ производственной заявки состоит из статусов:

- Новая – заявка только создана;
- В процессе – заявка передана исполнителю;
- Изготовлено – исполнитель завершил изготовление;
- Завершено – кладовщик принял деталь на склад.

Переход заявки между состояниями сопровождается изменениями данных в БД и созданием записей в журнале действий, последним этапом ЖЦ заявки служит указание ячейки склада для деталей из заявки и ее завершение кладовщиком, после чего остаток деталей на складе увеличивается.

В производственном процессе так же может возникнуть ситуация, когда часть изготовленных изделий признается браком. Для этого на сервере так же предусмотрен механизм фиксации кладовщиком количества брака и автоматическое создание заявку уже на исправление брака. Этот механизм позволяет не терять информацию о дефектных изделиях и дает шанс на повторное их использование в производстве.

Контроллер	Назначение
AuthController	Авторизация и выдача JWT-токена
UsersController	Управление пользователями
PartsController	Учет деталей
RequestsController	Управление заявками
StorageCellsController	Управление складскими ячейками
EquipmentController	Учет оборудования
ReportsController	Формирование отчетов
LogsController	Журналирование действий
NotificationsController	Работа уведомлений

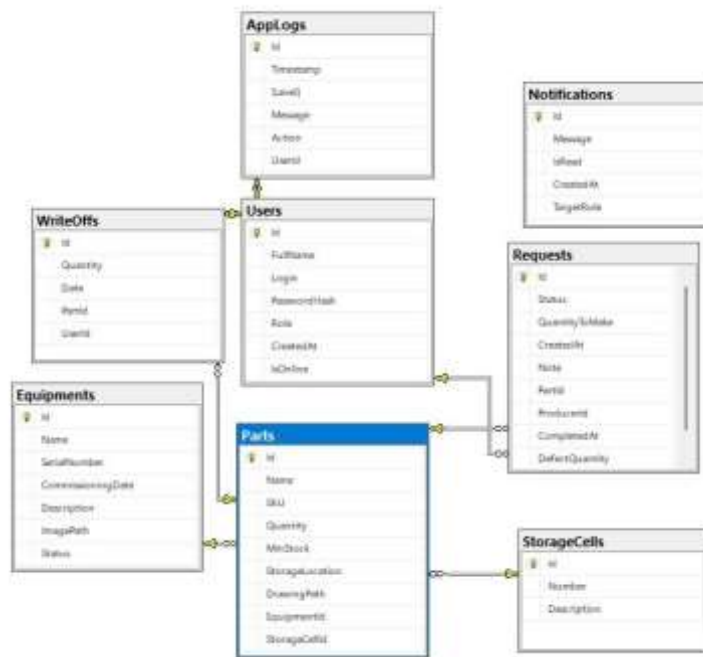


Рис. 2. Диаграмма таблиц БД

Далее следует описать взаимодействие клиента через Rest API с серверной частью. Все операции API клиента и

сервера представляют собой HTTP-запросы, примеры основных видов запросов представлены в таблице 2.

Таблица 2 Примеры API запросов

Метод	Адрес	Назначение
GET	/api/Parts	Получение списка деталей
POST	/api/Parts	Создание детали
GET	/api/Requests	Получение списка заявок
POST	/api/Requests	Создание заявки
PUT	/api/Requests/{id}/status	Изменение статуса заявки
PUT	/api/Requests/{id}/defect	Указание количества брака
GET	/api/StorageCells	Получение списка ячеек
GET	/api/Reports/summary	Получение данных для отчета

Использование технологии REST API позволяет в будущем легко масштабировать информационную систему, так как при появлении новых клиентов (например телефон или веб интерфейсы) не придется разрабатывать новый сервер или менять его архитектуру.

Одной из не менее важных частей информационной системы является безопасность, на сервере реализован механизм

выдачи JWT-токенов клиентам, он содержит в себе логин, пароль и роль пользователя в зашифрованном виде и при каждом обращении клиента на сервер передается этот токен, благодаря ему сервер «видит» какой пользователь обращается и решает какие запросы ему доступны, а какие не позволяет его роль.

Такой подход позволяет снизить риск несанкционированного изменения данных

в БД, а также облегчает разграничение прав пользователей.

Так же на сервере реализован механизм уведомлений на основе SignalR. Он позволяет серверу передавать клиентам сообщения без постоянного опроса API.

События, при которых формируются уведомления:

- Создание заявки;
- Изменение статуса заявки;
- Обновление склада;
- Изменение состояния пользователей.

Использование данного механизма обеспечивает оперативную информацию обо всех важных этапах в работе.

На сервере еще реализовано журналирование всех значимых действий пользователей, а также автоматических модулей, таких как автозаявки, все эти действия журналируются в таблице логов, а затем могут быть прочитаны определенными ролями пользователей, а также могут быть удобно отсортированы как по пользователям, совершившим действия, так и по типам операций.

В результате работы была разработана серверная архитектура информационной системы учета деталей и заявок ремонтно-механического цеха. Серверная часть построена на основе ASP.NET Core Web API и Entity Framework Core, что обеспечивает модульность, масштабирование и

удобство сопровождения системы в будущем.

Разработанная архитектура включает механизмы учета деталей, складских ячеек, оборудования, производственных заявок, заявок на исправление брака, авторизации пользователей, уведомлений и журналирования действий. Особенностью системы является поддержка полного жизненного цикла производственной заявки и автоматизация обработки брака.

Предложенная серверная архитектура может быть использована как основа для дальнейшего развития информационной системы всего предприятия, а не только ремонтно-механического цеха, включая расширение аналитических функций, интеграцию с внешними системами и внедрение прогнозных моделей для управления складскими запасами.

### Библиографический список

1. Microsoft. ASP.NET Core Documentation. URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/aspnet/core/?view=aspnetcore-10.0>
2. Microsoft. Entity Framework Core Documentation. URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/ef/core/>
3. Microsoft. SignalR Documentation. URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/aspnet/core/signalr/introduction?view=aspnetcore-10.0>

### Информация об авторах

**Кириллов Сергей Алексеевич** – студент кафедры компьютерных интеллектуальных технологий проектирования, Воронежский государственный технический университет (394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20 лет Октября, 84), e-mail: [sershgik@yandex.ru](mailto:sershgik@yandex.ru)

**Казмин Владислав Геннадьевич** – студент кафедры компьютерных интеллектуальных технологий проектирования, Воронежский государственный технический университет (394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20 лет Октября, 84), e-mail: [vlad.kazmin.2001@mail.ru](mailto:vlad.kazmin.2001@mail.ru)

### Information about the author

**Sergey A. Kirillov** – student of the Department of Computer Intelligent Design Technologies, Voronezh State Technical University (84, 20 let Oktyabrya str., Voronezh, 394006, Russia), e-mail: [sershgik@yandex.ru](mailto:sershgik@yandex.ru)

**Vladislav G. Kazmin** – student of the Department of Computer Intelligent Design Technologies, Voronezh State Technical University (84, 20 let Oktyabrya str., Voronezh, 394006, Russia), e-mail: [vlad.kazmin.2001@mail.ru](mailto:vlad.kazmin.2001@mail.ru)

УДК 004.4+628.8

**ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ РАСЧЕТА КОНЦЕНТРАЦИИ ВРЕДНОГО ВЕЩЕСТВА, УДАЛЯЕМОГО СИСТЕМОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ****О.В. Курипта<sup>1</sup>, Д.В. Лобанов<sup>1</sup>, С.А. Добровольский<sup>1</sup>**<sup>1</sup> *Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия*

**Аннотация:** рассматривается разработка программного модуля для расчёта концентрации CO<sub>2</sub> в воздухе, удаляемом системой вентиляции. Модуль реализует балансовый метод с восемью схемами воздухораспределения и учётом геоклиматических характеристик местности. Расчётная процедура соответствует ГОСТ 30494-2011 и методике ОНД-86. Погрешность верификации не превышает 4 %. Модуль написан на Java/JavaFX и распространяется свободно.

**Ключевые слова:** концентрация CO<sub>2</sub>, вентиляция помещений, удаляемый воздух, теория вентиляционных струй, ГОСТ 30494-2011, Java, программный модуль.

**SOFTWARE MODULE FOR CALCULATING THE CONCENTRATION OF HARMFUL SUBSTANCES REMOVED BY THE VENTILATION SYSTEM****O.V. Kuripta<sup>1</sup>, D.V. Lobanov<sup>1</sup>, S.A. Dobrovolsky<sup>1</sup>**<sup>1</sup> *Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia*

**Abstract:** The paper presents a software module for calculating CO<sub>2</sub> concentration in exhaust air removed by a ventilation system. The module implements a balance method with eight air supply schemes and geo-climatic zone support. The calculation procedure complies with GOST 30494-2011 and OND-86. Verification error does not exceed 4 %. The module is written in Java/JavaFX and freely distributed.

**Keywords:** CO<sub>2</sub> concentration, indoor ventilation, exhaust air, ventilation jet theory, GOST 30494-2011, Java, software module.

По данным ВОЗ, городской житель проводит в закрытых помещениях более 90 % времени [1]. При этом основным индикатором качества воздуха в обслуживаемых зонах жилых и общественных зданий служит концентрация CO<sub>2</sub>, выдыхаемого людьми: стандарт ГОСТ 30494-2011 относит воздух к низкому классу качества, если прирост содержания CO<sub>2</sub> относительно наружного воздуха превышает 1000ppm [2]. Натурные измерения в офисных помещениях России показывают, что в часы пик этот порог регулярно преодолевается: по данным обследований АВОК, в ряде случаев концентрация CO<sub>2</sub> достигает 2000–2500ppm [7]. Следствием является снижение работоспособности сотрудников и ухудшение самочувствия.

Ключевым инструментом предотвращения подобных ситуаций остаётся правильное проектирование системы вентиляции – в первую очередь выбор схемы воздухораспределения и расчёт необходимого воздухообмена. Одна из задач, решаемых при проектировании, – определение концентрации вредного вещества в удаляемом воздухе: этот показатель прямо характеризует эффективность вентиляции и используется при экологическом нормировании вентиляционных выбросов [3]. Специализированного открытого инструмента для такого расчёта с поддержкой российских нормативов до сих пор не существовало.

Среди отечественных программных продуктов наиболее известен УПРЗА «Эколог» (НП «АТМОСФЕРА»). Комплекс

предназначен для расчёта рассеивания промышленных выбросов в атмосфере по методике ОНД-86 и не имеет специализированного модуля для расчёта концентраций в удаляемом воздухе с учётом схемы воздухораспределения. Стоимость лицензии начинается от 100 000 руб., что ограничивает доступность инструмента для проектных организаций малого и среднего звена.

Из международных решений выделяются IAQX и ПОАС (US EPA) – бесплатные инструменты моделирования качества воздуха в помещениях и оценки экспозиции.

Таблица 1. Сравнение с существующими решениями

Критерий	Разраб. модуль	УПРЗА «Эколог»	IAQX (EPA)
Расчёт Qуд по методу подачи	✓	–	–
Поддержка ГОСТ 30494-2011	✓	частично	–
Поддержка ОНД-86	✓	✓	–
Геоклиматические зоны	✓	✓	✓
Открытый исходный код	✓	–	✓
Стоимость	бесплатно	от 100 тыс. руб.	бесплатно

Расчёт концентрации CO<sub>2</sub> в воздухе, удаляемом из помещения, основан на балансовом уравнении, принятом в отечественной практике вентиляционного проектирования [4, 7]:

$$Q_{уд} = Q_n + K_q \cdot (Q_{оз} - Q_n) \quad (1)$$

где Q<sub>уд</sub> – концентрация CO<sub>2</sub> в удаляемом воздухе, мг/м<sup>3</sup>; Q<sub>н</sub> – концентрация в наружном воздухе, мг/м<sup>3</sup>; Q<sub>оз</sub> – концентрация в рабочей зоне, мг/м<sup>3</sup>; K<sub>q</sub> – безразмерный коэффициент вентиляции.

Коэффициент K<sub>q</sub> отражает степень смешивания потоков: K<sub>q</sub> < 1 соответствует вытеснительным схемам подачи, K<sub>q</sub> > 1 – схемам с рециркуляцией загрязнённого воздуха к вытяжке. Значения определены экспериментально для восьми методов подачи и трёх диапазонов кратности

Однако оба продукта не поддерживают российскую нормативную базу (ГОСТ 30494-2011, ОНД-86) и не реализуют расчёт концентрации в удаляемом воздухе с дифференциацией по восьми методам подачи.

Таким образом, ни одно из существующих решений не закрывает в полном объёме задачу инженерного расчёта концентрации CO<sub>2</sub> в удаляемом воздухе с учётом метода воздухораспределения и нормативов РФ. Разработанный модуль заполняет эту нишу (таблица 1).

воздухообмена (таблица 2).

Температура подаваемого воздуха t<sub>п</sub> зависит от типа вентиляционной системы. Для естественной: t<sub>п</sub> = t<sub>н</sub>. Для механической: t<sub>п</sub> = t<sub>н</sub> + 0,001 · P. Для механической с подогревом: t<sub>п</sub> = t<sub>н</sub> + ΔT + 0,001 · P, где P – давление воздуха, Па; ΔT – разность температур подогрева, К. Температура удаляемого воздуха:

$$t_{уд} = t_{п} + Kt \cdot (t_{рз} - t_{п}) \quad (2)$$

где Kt – коэффициент, зависящий от метода подачи и удельного тепловложения Q<sub>heat</sub> (кВт): при Q<sub>heat</sub> < 20 кВт значение Kt варьируется в диапазоне 0,95–1,30; при 20–50 кВт – 1,00–1,20; при Q<sub>heat</sub> > 50 кВт – 1,00–1,05.

Фоновые концентрации CO<sub>2</sub> в наружном воздухе задаются по типу местности

согласно ГОСТ 30494-2011 [2]: сельская местность – 0,5–1,5 мг/м<sup>3</sup>; жилая зона города – 1,0–3,0 мг/м<sup>3</sup>; промышленная зона – 2,0–5,0 мг/м<sup>3</sup>; центр мегаполиса – 3,0–6,0 мг/м<sup>3</sup>. Порядок расчёта воздухообмена по допустимым концентрациям регламентирован СП 60.13330.2020 [6] и методическими рекомендациями НП «АВОК» [7]. Яременко С.А. и Гармонов К.В.

обосновали, что для вентиляционных источников высотой до 30–40м стандартная модель температурной стратификации ОНД-86 [3] некорректна и приводит к завышению максимальных концентраций; авторы рекомендуют применять теорию вентиляционных струй [5] – этот подход принят в данной работе.

Таблица 2. Значения коэффициента вентиляции  $Kq$

Метод подачи воздуха	$N = 3-5 \text{ ч}^{-1}$	$N = 5-10 \text{ ч}^{-1}$	$N > 10 \text{ ч}^{-1}$
Прямо в рабочую зону	1,85	1,40	1,15
Наклонные струи ( $h > 4 \text{ м}$ )	1,40	1,20	1,10
Наклонные струи ( $h < 4 \text{ м}$ )	1,20	1,10	1,05
Сосредоточенно, выше р.з.	1,10	0,95	1,10
Сосредоточенно с соплами	1,00	1,00	1,00
Настилающиеся струи	1,10	1,05	1,00
Канонические струи	1,10	1,05	1,00
Плоские струи	1,20	1,10	1,00

Диаграмма вариантов использования (рис.1) выделяет одного основного актёра: инженера (полный доступ ко всем функциям). Основные прецеденты: ввод параметров, выбор метода подачи воздуха, расчёт концентрации, оценка класса качества воздуха по ГОСТ 30494-2011, просмотр результатов и экспорт отчёта.

Алгоритм расчёта (рис. 2) реализован в виде последовательности шагов: ввод параметров помещения и окружающей среды; выбор типа вентиляционной системы с расчётом температуры подаваемого воздуха по формулам (1)–(2)–(3); выбор коэффициентов  $K_q$  и  $K_t$  по нормативным таблицам; вычисление  $Q_{уд}$  и  $t_{уд}$  по формулам (1)–(2); сравнение результата с нормативными значениями ГОСТ 30494-2011 и вывод класса качества воздуха с предупреждением при превышении нормы.

Архитектура модуля соответствует

паттерну MVC. Уровень данных содержит три JSON-конфигурации: *localities.json* (фоновые концентрации по типам местности), *ventilation\_types.json* (коэффициенты  $Kq$ ), *ventilation\_temperature.json* (коэффициенты  $Kt$ ). Хранение нормативных таблиц в отдельных файлах позволяет обновлять их без перекомпиляции. Расчётный уровень инкапсулирован в классе *Calculator*; уровень представления реализован на JavaFX.

Главное окно приложения (рис.3) содержит форму ввода всех параметров и кнопку запуска расчёта. Результаты отображаются в отдельной панели с указанием концентрации, температуры удаляемого воздуха и класса качества воздуха по ГОСТ 30494-2011 (рис. 4).

Результаты модуля сравнивались с расчётами по нормативным методикам для трёх тестовых сценариев (таблица 3). Максимальная погрешность составила 3,6 %, что укладывается в допустимую точность

инженерных расчётов. Время расчёта одного сценария – менее 100 мс; потребление

памяти с учётом JVM – около 50 МБ.

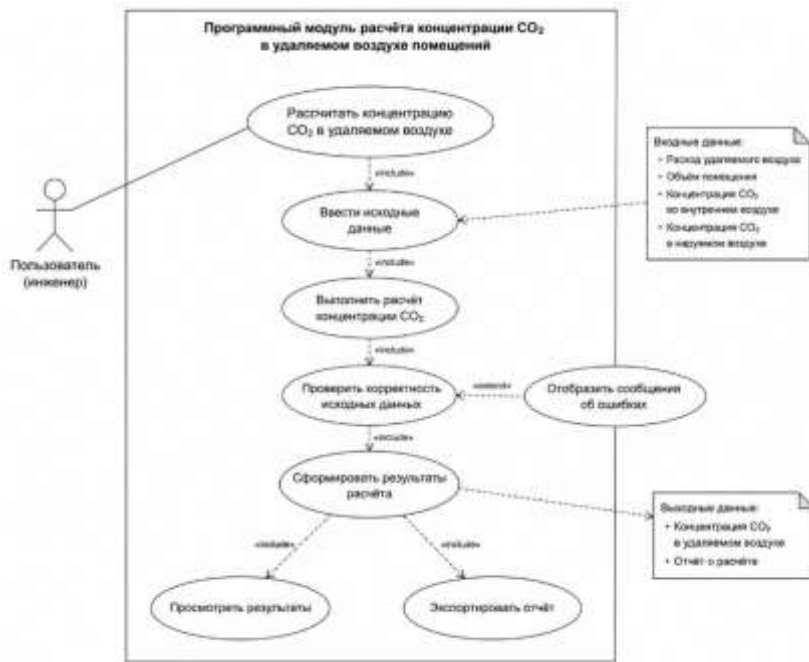


Рис. 1. Диаграмма вариантов использования программного модуля

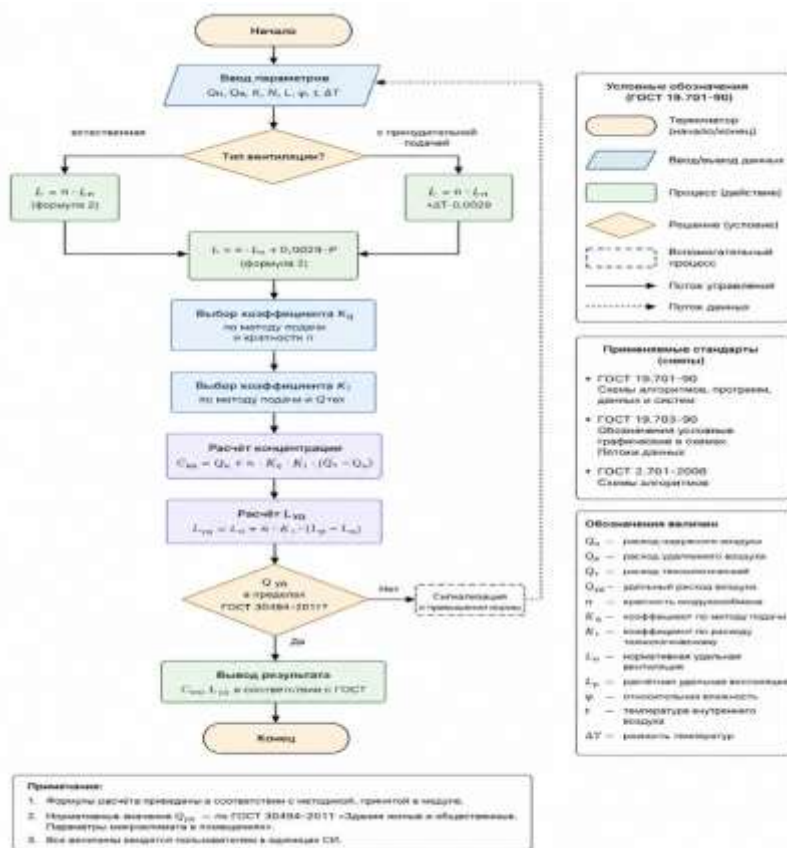


Рис. 2. Блок-схема алгоритма расчёта концентрации CO<sub>2</sub>

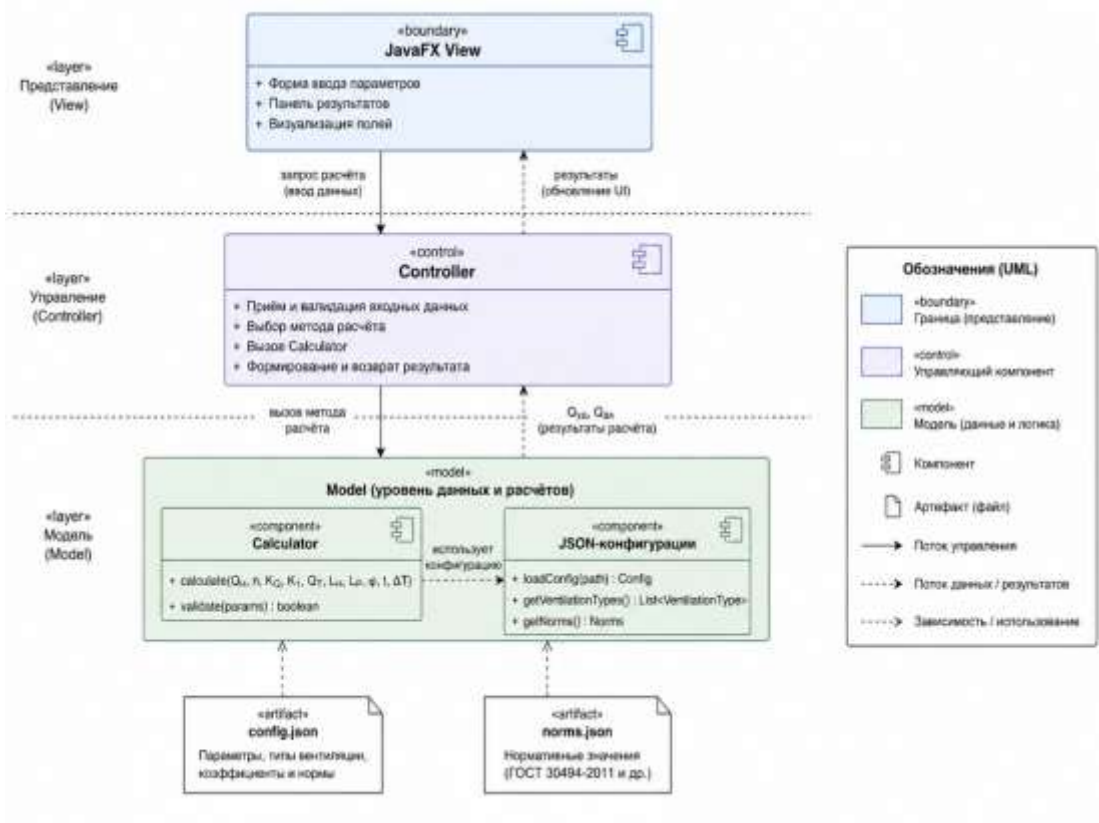


Рис. 3. Архитектура программного модуля (паттерн MVC)

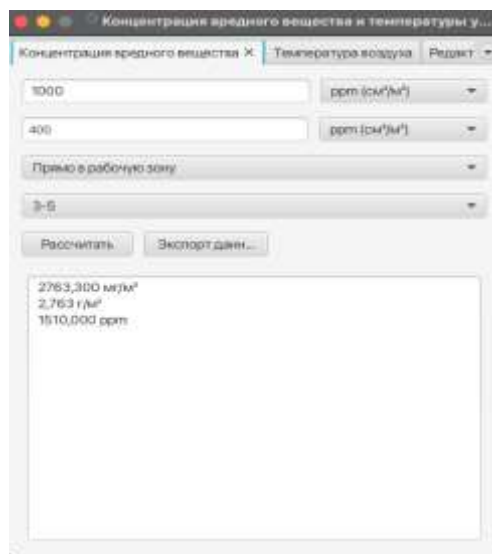


Рис. 4. Панель результатов с оценкой класса качества воздуха

Текущие ограничения модуля: не учитывается пространственный градиент концентрации в объёме помещения, расчёт температуры через давление воздуха требует уточнения при нетипичных значениях

Р. Направления дальнейшего развития: расширение перечня вредных веществ (СО, формальдегид, ЛОС), интеграция с CFD-пакетами, веб-интерфейс.

Таблица 3. Результаты верификации

Сценарий	Норматив, г/м <sup>3</sup>	Модуль, г/м <sup>3</sup>	Погрешность, %
Офис, N = 5 ч <sup>-1</sup> , метод 1	16,0–17,0	16,3	1,8
Промцех, N = 12 ч <sup>-1</sup> , Kq = 1,0	50,0	50,0	0,0
Сельская местность, N = 3 ч <sup>-1</sup>	13,5–14,5	14,0	3,6

Разработан программный модуль, реализующий расчёт концентрации CO<sub>2</sub> в удаляемом поддерживает восемь методов подачи воздуха, три типа вентиляционных систем и четыре геоклиматические зоны; расчётная процедура согласована с ГОСТ 30494-2011 и ОНД-86. Погрешность по итогам верификации – не более 4 %. По сравнению с УПРЗА «Эколог» модуль специализирован именно на задаче концентрации в удаляемом воздухе и распространяется бесплатно. По сравнению с зарубежными инструментами ЕРА обеспечивает полную поддержку российской нормативной базы.

#### Библиографический список

1. WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants. – Geneva: WHO, 2010. – 454 p.
2. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. – М.: Стандартинформ, 2013. – 18 с.
3. ОНД-86. Методика расчёта концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. – Л.: Гидрометеоздат, 1987. – 94 с.

4. Полосин И.И., Гармонов К.В. Аэрация производственных зданий. – Воронеж: ВГТУ, 2001. – 144 с.

5. Яременко С.А., Гармонов К.В. Расчёт концентраций вредных веществ в нижних слоях атмосферы с использованием теории вентиляционных струй // Вестник МГСУ. – 2018. – Т. 13. – Вып. 2 (113). – С. 222–230.

6. СП 60.13330.2020. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – М.: Минстрой России, 2021. – 136 с.

7. Табунщиков Ю.А., Бродач М.М., Колубков А.Н. [и др.]. Методические рекомендации по определению минимального воздухообмена в помещениях жилых и общественных зданий. – М.: НП «АВОК», 2018. – 85 с.

8. Курипта О. В., Добровольский С. А., Лобанов Д. В. Программный модуль расчёта концентрации вредного вещества и температуры воздуха, выделяемого системой вентиляции: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2026616319 / правообладатель ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет». – Заявка № 2026615073; зарегистр. 05.03.2026.

#### Информация об авторах

**Курипта Оксана Валериевна** – кандидат технических наук, доцент, Воронежский государственный технический университет (394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20 лет Октября, 84), e-mail: kuripta-oksana@mail.ru

**Лобанов Дмитрий Валерьевич** – старший преподаватель кафедры жилищно-коммунального хозяйства, Воронежский государственный технический университет (394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20 лет Октября, 84)

**Добровольский Сергей Александрович** – студент, Воронежский государственный технический университет (394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20 лет Октября, 84)

#### Information about the author

**Kuripta Oksana Valerievna** – candidate of technical sciences., associate professor, Voronezh State Technical University (84, 20 let Oktyabrya str., Voronezh, 394006, Russia), e-mail: kuripta-oksana@mail.ru

**Lobanov Dmitry Valerievich** – senior Lecturer at the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University (84, 20 let Oktyabrya str., Voronezh, 394006, Russia)

**Dobrovolsky Sergey Alexandrovich** – student, Voronezh State Technical University (84, 20 let Oktyabrya str., Voronezh, 394006, Russia)

УДК 004.415

## МИНИМИЗАЦИЯ АЛЛОКАЦИЙ ПАМЯТИ ПРИ ПАРСИНГЕ БОЛЬШИХ JSON-ОТВЕТОВ

К.А. Маковий<sup>1</sup>, Д.С. Сенцов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Воронежский государственный технический университет

**Аннотация:** Статья посвящена проблеме избыточного потребления памяти при десериализации больших JSON-ответов REST API на клиентской стороне. Сравниваются четыре подхода в C# .NET. Показано, что потоковый парсер Utf8JsonReader минимизирует аллокации без изменения серверной части.

**Ключевые слова:** REST API, JSON, десериализация, аллокации памяти, Utf8JsonReader, производительность, .NET

## MINIMIZATION MEMORY ALLOCATIONS WHEN PARSING LARGE JSON RESPONSES

К.А. Makoviy<sup>1</sup>, D.S. Sentsov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Voronezh State Technical University

**Abstract:** The paper addresses the problem of excessive memory consumption when deserializing large JSON responses from REST APIs on the client side. Four approaches in C# .NET are compared. It is shown that the Utf8JsonReader streaming parser minimizes allocations without any server-side changes.

**Keywords:** REST API, JSON, deserialization, memory allocations, Utf8JsonReader, performance, .NET

### Введение

В современном мире электронной коммерции маркетплейсы играют ключевую роль, предоставляя площадку для онлайн-покупок и обеспечивая эффективное взаимодействие между продавцами и покупателями. Wildberries – крупнейший маркетплейс России – предоставляет REST API, позволяющий автоматизировать управление заказами, остатками, ценами, маркетингом и продвижением, документами и бухгалтерией, а также отчётами. Однако, как показывает практика, при росте объёмов ручная обработка данных через Excel или Google Sheets становится критически неэффективной и очень сложной: компании теряют время, сталкиваются с человеческими ошибками чаще и не успевают реагировать на изменения.

Интеграция с API позволяет обрабатывать тысячи заказов, следить за

остатками, правильно настраивать рекламные компании и ключевые SEO запросы ежедневно без расширения штата, минимизируя ручные операции и обеспечивая высокую надёжность. Тем не менее REST API обладает фундаментальным недостатком – проблемой избыточной передачи данных (overfetching). Сервер всегда возвращает полный объект со всеми полями, даже если клиенту нужно лишь их подмножество.

GraphQL решает проблему overfetching [1], позволяя запрашивать только нужные поля, давая два преимущества: уменьшение объема передаваемых по сети данных, уменьшение объема обрабатываемых данных на клиентской стороне, но требует изменений на сервере, что в случае сторонних API недоступно, поскольку Wildberries использует исключительно REST-архитектуру без поддержки GraphQL и без возможности выбора полей на уровне

запроса, следовательно повлиять на структуру ответа со стороны клиента невозможно. Возникает исследовательский вопрос: можно ли получить преимущества, близкие к GraphQL в вопросе обработки данных на стороне клиента? Если мы не в силах уменьшить объём передаваемых данных и время их получения по сети, то первое преимущество GraphQL (экономия трафика) – недостижимо, но можем ли мы приблизиться ко второму – существенно сократив время на обработку данных ускорив процесс десериализации, то есть ускорить процесс преобразования данных из формата, удобного для передачи или хранения (JSON, XML, бинарный поток), в структуру данных, с которой может работать программа в оперативной памяти, при неизменном сервере.

В работе рассматриваются четыре подхода к десериализации JSON-ответов со стороны клиента на языке C#.NET 10, различающиеся по уровню абстракции, производительности и объёму выделяемой памяти. Задача исследования – определить, какой из подходов десериализации позволяет наиболее эффективно обрабатывать избыточные данные, минимизируя накладные расходы на парсинг и потребление памяти.

#### *Обзор существующих решений*

REST (Representational State Transfer) – архитектурный стиль взаимодействия компонентов распределённого приложения в сети. В контексте веб-API REST предполагает, что каждый ресурс (заказ, товар, поставка) имеет уникальный идентификатор и фиксированную структуру представления, обычно в формате JSON. Основным недостатком REST API при интеграции со сторонними сервисами является проблема избыточной передачи данных (overfetching).

Сервер всегда возвращает полную структуру ресурса, независимо от того, какие поля реально необходимы клиенту. Например, метод Wildberries /api/v3/orders/new возвращает более тридцати полей для каждого заказа, включая служебную информацию, исторические данные и метаданные, тогда как для конкретной бизнес-задачи может требоваться лишь два или другое количество полей.

GraphQL – язык запросов для API и среда выполнения для выполнения этих запросов. Разработан Facebook в 2012 году, открыт в 2015 [1]. Основные преимущества заключаются в том, что клиент точно специфицирует структуру ответа, из-за этого отсутствует проблема overfetching и underfetching. Однако внедрение GraphQL требует поддержки со стороны сервера. В случае с Wildberries API, как и с подавляющим большинством коммерческих API сторонних провайдеров, такая поддержка отсутствует. API функционирует исключительно в REST-парадигме без возможности выбора полей на уровне запроса.

Data Transfer Object – паттерн проектирования, используемый для передачи данных между подсистемами приложения. Впервые описан Мартином Фаулером в книге «Patterns of Enterprise Application Architecture» [2]. Основное назначение DTO – агрегировать данные, необходимые для одной операции, минимизируя количество вызовов к серверу. В современных приложениях DTO активно используются для изоляции доменной модели от слоя представления, уменьшения объёма передаваемых данных, контроля над тем, какие поля попадают во внешние интерфейсы.

Помимо GraphQL, проблему overfetching способны решать и другие технологии, такие как gRPC с бинарной

сериализацией Protobuf или расширения REST API, поддерживающие частичные ответы через параметр `fields` (например, Google APIs). Однако все перечисленные подходы требуют явной поддержки со стороны сервера, что делает их неприменимыми при интеграции с готовыми внешними сервисами вроде Wildberries API. Следовательно, единственным доступным направлением оптимизации остаётся клиентская обработка уже полученного избыточного JSON.

Платформа .NET предоставляет несколько стратегий работы с JSON [3-5]:

5. Подход на основе строго типизированных DTO со всеми полями ответа API. Использует `source generation` (`JsonSerializerContext`) [3], что уменьшает накладные расходы на рефлекссию, но не исключает их полностью. Несмотря на кажущуюся "тяжеловесность", при правильной настройке (в частности, с `DefaultIgnoreCondition.WhenWritingNull`) демонстрирует высокую эффективность за счет пропуска `null`-полей и оптимального кэширования метаданных.

6. Подход на основе селективных DTO – компактных объектов, содержащих только минимально необходимые поля (например, `Id` и `CreatedAt`). В отличие от GraphQL, который скрывает ненужные данные на стороне сервера, селективные DTO делают это на этапе десериализации на клиенте, достигая схожего эффекта: минимизации обрабатываемых полей и упрощения объектной модели, но селективные DTO никак не решают проблему `overfetching`, они лишь скрывают ее последствия на клиенте, объём сетевого трафика остаётся прежним.

7. Базовый подход, использующий DOM-модель `JsonDocument` [4]. JSON

полностью загружается в память, после чего выполняется ручной обход дерева элементов с помощью `JsonElement`. Подход обеспечивает хороший баланс между скоростью и удобством, но создает полную объектную модель документа, что приводит к избыточным аллокациям памяти.

8. Низкоуровневый подход с использованием `Utf8JsonReader` [5] – `forward-only` парсера, работающего напрямую с UTF-8 байтами. Позволяет читать JSON потоково, без построения полного DOM и минимизируя создание объектов в куче. Этот метод должен обеспечивать наилучшую производительность и минимальное потребление памяти, однако требует более сложной ручной обработки структуры JSON.

*Виды избыточности данных в REST API и их влияние на производительность*

При работе с REST API маркетплейсов можно выделить следующие типы избыточности:

Структурный `overfetching` – сервер возвращает все поля объекта, даже если клиенту нужно лишь подмножество.

`Underfetching` – когда один запрос возвращает недостаточно данных, и клиенту приходится делать дополнительные запросы.

Временной `overfetching` – повторная передача одних и тех же данных при отсутствии изменений.

В данном исследовании фокус сделан на структурной избыточности данных и способы его минимизации на клиентской стороне через различные подходы к десериализации JSON.

В парадигме GraphQL [1]:

9. Клиент отправляет запрос, специфицирующий только необходимые поля.

10. Сервер формирует ответ, содержащий исключительно запрошенные поля,

что минимизирует объем передаваемых данных.

11. Уменьшение размера полезной нагрузки (payload) – файл быстрее передается по сети.

12. На клиенте десериализация меньшего объема данных требует меньше вычислительных ресурсов (памяти, времени CPU), что делает обработку более эффективной.

В классическом REST API:

13. Клиент отправляет GET-запрос на фиксированный эндпоинт.

14. Сервер возвращает

Таблица 1 Метрики оценки эффективности

Метрика	Описание	Единица измерения
Mean	Среднее время выполнения операции	миллисекунды
Error	Полуширина 99.9% доверительного интервала	миллисекунды
StdDev	Стандартное отклонение результатов	миллисекунды
Allocated	Объем выделенной памяти на операцию	килобайты (KB)
Alloc Ratio	Относительное потребление памяти к базовому методу	коэффициент
Rank	Ранг метода по производительности	1 (лучший) – N

*Реализация экспериментального стенда*

Для количественной оценки эффективности четырёх подходов к десериализации был развернут экспериментальный стенд, имитирующий работу микросервиса, интегрированного с REST API маркетплейса Wildberries. Она включает следующие компоненты:

- Клиентское приложение (C# .NET 10)
- исполняемый модуль, реализующий бенчмарк-тесты.

- HttpClient (единственный экземпляр) – отвечает за отправку HTTP-запросов к API и получение ответов в виде потока байтов UTF-8.

- Модуль десериализации – содержит четыре альтернативные реализации парсинга JSON, переключаемые через

предопределенную структуру данных, которая часто содержит избыточные (неиспользуемые) поля, что приводит к увеличению размера ответа.

15. Большой объем данных передается по сети, увеличивая задержки.

16. На клиенте требуется применить один из четырех рассматриваемых подходов к десериализации JSON, подходящий под тип и задачи информационной системы.

Для количественной оценки предложены следующие метрики в таблице 1.

конфигурацию бенчмарка.

- Wildberries REST API – внешний сервис, возвращающий фиксированные JSON-структуры (в тестах использовался метод /api/v3/supplies и синтетические ответы).

Экспериментальный стенд построен на базе фреймворка BenchmarkDotNet v0.15.8 [6], работающего под управлением .NET Runtime 10.0.1. Конфигурация аппаратного и программного обеспечения приведена в таблице 2.

Бенчмарк-класс SuppliesDeserializationBenchmarks реализует четыре метода, соответствующих исследуемым подходам:

- 17. Full DTO (базовый метод) – десериализация в полный DTO, включающий все поля ответа API. Применяется тот же source-generated контекст [3].

18. Compact DTO – десериализация в облегченный класс, содержащий только необходимые поля (Id, CreatedAt). Используется source-generated контекст SuppliesJsonContext с настройкой DefaultIgnoreCondition = JsonIgnoreCondition.WhenWritingNull.

19. Raw (JsonDocument) – парсинг всего

ответа в DOM-модель JsonDocument [4] и ручное извлечение свойств через TryGetProperty.

20. Streaming (Utf8JsonReader) – низкоуровневый потоковый парсер [5], последовательно читающий UTF-8 байты из HttpContent.ReadAsStreamAsync() без построения промежуточных объектов.

Таблица 2 Параметры экспериментального стенда

Компонент	Значение
Процессор	AMD Ryzen 5 PRO 1600 (6 ядер / 12 потоков, 3.2 ГГц)
Операционная система	Windows 10 (10.0.19045.6466/22H2)
План электропитания	Высокая производительность
.NET Runtime	10.0.1 (10.0.125.57005)
Архитектура	X64 RyuJIT x86-64-v3
Векторные расширения	AVX2, BMI1/2, F16C, FMA, AES, SSE4.2, POPCNT
Сборщик мусора	Workstation GC (concurrent)
Размер векторного регистра	256 бит

Для минимизации влияния сетевых факторов на сравнительный анализ были проведены две серии испытаний:

– Синтетический тест (Mock) – десериализация предварительно загруженного JSON-файла, содержащего 1000 записей о поставках. Исключает сетевую задержку и флуктуации API.

– Реальный тест (Real) – выполнение полного цикла «HTTP-запрос → чтение ответа → десериализация» к действующему эндпоинту Wildberries API с аутентификацией по Bearer Token. Для соблюдения rate limiting между запросами введена задержка 180–200 мс.

В обеих сериях фиксировались метрики времени выполнения (Mean, StdDev, доверительный интервал) и объём выделенной памяти (Allocated) с помощью встроенного модуля MemoryDiagnoser. Ранжирование методов производилось автоматически через RankColumn [6].

*Результаты эксперимента*

Результаты измерений для синтетического и реального сценариев представлены в таблицах 3 и 4 соответственно. Время выполнения указано в миллисекундах, объём выделенной памяти – в килобайтах на одну итерацию.

Таблица 3. Результаты синтетического теста (1000 итераций, предзагруженный JSON)

Метод	Среднее время, мс	StdDev, мс	Allocated (на 1 проход), KB	Относительная память (к Full DTO)
Full DTO	1741.6	15.08	~394	1.00
Compact DTO	1509.2	39.99	~201	0.51
Raw (JsonDocument)	1104.0	20.61	~87	0.22
Streaming (UTF8)	987.9	16.51	~85	0.21

Таблица 4. Результаты реального теста (один полный цикл с HTTP-запросом к API Wildberries)

Метод	Среднее время, мс	StdDev, мс	Allocated (на 1 проход), КВ	Относительная память (к Full DTO)
Full DTO	3372	13.18	3140	1.00
Compact DTO	3199	2.86	2930	0.93
Raw (JsonDocument)	3386	13.87	2020	0.64
Streaming (UTF8)	3459	27.70	1040	0.33

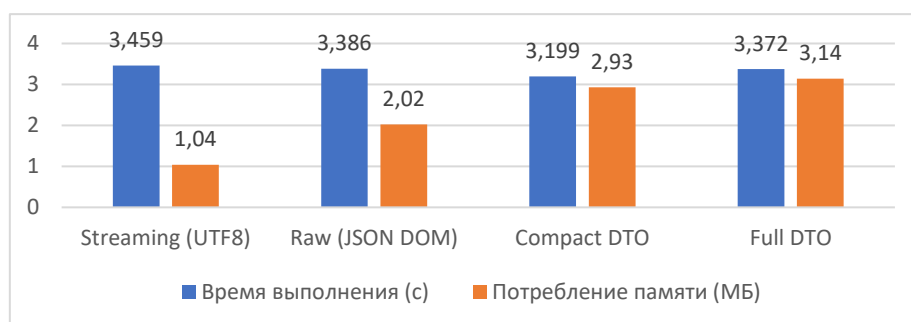


Рис. 1. Диаграмма времени выполнения и потребления памяти при реальных тестах методов

Анализ времени выполнения: на синтетических данных метод Streaming демонстрирует наименьшее среднее время (9.4 мс), опережая Full DTO на ~27%. Raw и Compact DTO занимают промежуточные позиции. Однако в реальных условиях (таблица 4) различия во времени между всеми подходами статистически незначимы (в пределах 3.2–3.5 с). Это объясняется доминированием сетевой задержки и времени передачи данных: десериализация составляет менее 1% от общей длительности операции. Следовательно, на стороне клиента ускорить интеграцию за счёт выбора парсера практически невозможно – узким горлышком остаётся канал связи с REST API.

Анализ потребления памяти: в отличие от времени, объём аллокаций существенно различается. В синтетическом тесте Compact DTO требует вдвое меньше памяти, чем Full DTO, а Raw и Streaming – примерно в 4.5 раза меньше. При работе с реальным API разрыв становится ещё

заметнее: Streaming выделяет 1.04 МБ против 3.14 МБ у Full DTO, то есть в три раза меньше. Это напрямую влияет на частоту срабатывания сборщика мусора (GC) и общую стабильность приложения при высоких нагрузках.

Интерпретация.

21. Использование селективных (компактных) DTO сокращает память, но не даёт радикального выигрыша по сравнению с полным DTO, поскольку десериализатор System.Text.Json всё равно проходит по всем полям JSON-документа и создаёт внутренние структуры для пропуска ненужных данных.

22. DOM-подход (JsonDocument) [4] эффективнее DTO-моделей, так как не инстанцирует пользовательские объекты, но по-прежнему строит полное синтаксическое дерево документа.

23. олько низкоуровневый Utf8JsonReader [5] позволяет обрабатывать ответ потоково, игнорируя ненужные поля

на этапе чтения байтов, что минимизирует аллокации и снижает давление на GC. В условиях частых вызовов (например, пакетная обработка сотен заказов) это даёт ощутимый прирост производительности на уровне всей системы.

#### *Заключение*

В ходе работы была исследована возможность приближения клиентской обработки данных REST API к эффективности GraphQL без модификации серверной части. Экспериментально подтверждено, что:

24. Сократить время выполнения операции за счёт выбора метода десериализации в условиях реального HTTP-взаимодействия невозможно. Доминирующим фактором остаётся сетевая задержка и пропускная способность канала. Первое преимущество GraphQL – экономия трафика – остаётся недостижимым в рамках чистого REST API [1].

25. Второе преимущество GraphQL – снижение нагрузки на клиентскую память и процессор при десериализации – может быть частично реализовано с помощью потокового парсинга Utf8JsonReader [5]. Этот подход позволяет в несколько раз (зависит от того, насколько большой ответ API, сколько и какие поля из ответа нам требуется) сократить объём аллокаций по сравнению с традиционной десериализацией в полные DTO. При массовой обработке запросов это снижает частоту сборок мусора и повышает общую пропускную способность клиентского приложения.

26. Селективные (компактные) DTO дают лишь умеренный выигрыш в памяти (до 7% на реальных данных), поскольку внутренние механизмы System.Text.Json всё равно вынуждены сканировать весь JSON-документ. Их основная ценность – улучшение читаемости и поддержки кода, а

не радикальная оптимизация производительности.

27. Метод на основе JsonDocument (DOM) [4] занимает промежуточное положение: он значительно экономичнее Full DTO по памяти, но уступает Streaming по обоим показателям. Его применение оправдано в сценариях, где важна гибкость работы с динамической схемой ответа.

#### **Практические рекомендации.**

Для эндпоинтов с низкой частотой вызовов и небольшими объёмами данных допустимо использовать любой из рассмотренных методов.

Для высоконагруженных сервисов, регулярно обрабатывающих тысячи запросов к REST API с избыточными ответами, рекомендуется внедрить потоковую десериализацию на основе Utf8JsonReader [5]. Внедрение не требует изменений в инфраструктуре или на стороне провайдера API, достаточно модификации клиентского кода.

#### **Библиографический список**

1. GraphQL Foundation. What is GraphQL? [Электронный ресурс] // GraphQL.org. – Режим доступа: <https://graphql.org/faq/specification/> (дата обращения: 16.04.2026).
2. Fowler, M. Data Transfer Object [Электронный ресурс] // Patterns of Enterprise Application Architecture / Martin Fowler. – Addison-Wesley, 2002. – Режим доступа: <https://www.martinfowler.com/eaCatalog/dataTransferObject.html> (дата обращения: 12.03.2026).
3. Microsoft Learn. How to use source generation in System.Text.Json [Электронный ресурс] // Microsoft. – 2025. – Режим доступа: <https://learn.microsoft.com/en->

us/dotnet/standard/serialization/system-text-json/source-generation (дата обращения: 10.03.2026).

4. Microsoft Learn. How to use a DOM in System.Text.Json [Электронный ресурс] // Microsoft. – 2025. – Режим доступа: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/dotnet/standard/serialization/system-text-json/use-dom> (дата обращения: 10.03.2026).

5. Microsoft Learn. How to use Utf8JsonReader in System.Text.Json [Электронный

ресурс] // Microsoft. – 2025. – Режим доступа: <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/standard/serialization/system-text-json/use-utf8jsonreader> (дата обращения: 10.03.2026).

6. BenchmarkDotNet. BenchmarkDotNet Documentation [Электронный ресурс] // BenchmarkDotNet. – 2025. – Режим доступа: <https://benchmarkdotnet.org/> (дата обращения: 12.03.2026).

#### Информация об авторах

**Маковий Катерина Александровна** – кандидат технических наук, доцент кафедры систем управления и информационных технологий в строительстве, Воронежский государственный технический университет (394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20 лет Октября, 84), e-mail: makkatya@mail.ru

**Сенцов Дмитрий Сергеевич** – бакалавр кафедры систем управления и информационных технологий в строительстве, Воронежский государственный технический университет (394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20 лет Октября, 84), e-mail: malerik00@mail.ru

#### Information about the author

**Makoviy Katerina Alexandrovna** – candidate of technical Sciences, associate Professor of the Department of management systems and information technologies in construction, Voronezh state technical University (84, 20 let Oktyabrya str., Voronezh, 394006, Russia), e-mail: makkatya@mail.ru

**Sentsov Dmitry Sergeevich** – bachelor of management systems and information technologies in construction, Voronezh state technical University (84, 20 let Oktyabrya str., Voronezh, 394006, Russia), e-mail: malerik00@mail.ru

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

УДК 51-74

### ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДИАМЕТРА НАГРЕВАТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА НА ТЕМПЕРАТУРНУЮ ПОГРЕШНОСТЬ МОДЕЛИРОВАНИЯ НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА

А.А. Хвостов <sup>1</sup>, А.А. Журавлев <sup>2</sup>, Н.Е. Красова <sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

<sup>2</sup> ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»

**Аннотация:** на основе тепловых балансовых соотношений синтезирована математическая модель нагревательного элемента с открытой спиралью, учитывающая зависимость электрического сопротивления от температуры. Получены зависимости для оценки изменения погрешностей расчета температуры открытой спирали нагревательного элемента в процессе его нагрева. Приведены результаты вычислительного эксперимента и даны рекомендации по практическому использованию полученных зависимостей.

**Ключевые слова:** теплообмен, конвекция, нагревательный элемент, нестационарный теплообмен, температурное поле, моделирование.

### ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF THE DIAMETER ON THE HEATING ELEMENT ON THE TEMPERATURE ERROR OF THE SIMULATION NON-STATIONARY THERMAL REGIME

A.A. Khvostov <sup>1</sup>, A.A. Zhuravlev <sup>2</sup>, N.E. Krasova <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Voronezh State Technical University

<sup>2</sup> Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky  
and Y.A. Gagarin Air Force Academy

**Abstract:** Based on the thermal balance relations, a mathematical model of a heating element with an open spiral has been synthesized, taking into account the dependence of electrical resistance on temperature. Dependences are obtained for estimating changes in the errors in calculating the temperature of the open spiral of the heating element during its heating. The results of a computational experiment are presented and recommendations on the practical use of the obtained dependencies are given.

**Keywords:** heat transfer, convection, heating element, non-stationary heat exchange, temperature field, modeling.

Поддержание заданных параметров микроклимата в помещениях, кабинах транспортных средств и воздушных суда зачастую обеспечивается за счёт нагревательных элементов (НЭ) с открытой спиралью [1–4].

Традиционные методики технологических и конструктивных расчётов спиральных НЭ базируются на использовании номинального сопротивления при некоторой «рабочей» температуре без учёта его температурной зависимости [5, 6]. Согласно результатам исследований [1–6], игнорирование этой зависимости может приводить к существенным погрешностям при моделировании температурных режимов работы НЭ.

В связи с этим особую актуальность приобретает задача синтеза математической модели НЭ с открытой спиралью, учитывающей температурную зависимость его электрического сопротивления, с последующей верификацией и валидацией модели.

Представим нагревательный элемент (НЭ) как однородный проводник, по которому проходит электрический ток. Для такой системы уравнение теплового баланса, описывающее соотношение между выделяемым теплом и его отводом, имеет следующий вид [2–4]:

$$\frac{d(T-T_0)}{dt} + \frac{\alpha F}{Gc}(T-T_0) = \frac{I^2 R}{Gc}, \quad (1)$$

где  $I$  – сила тока, проходящего по проводнику, А;  $t$  – время, с;  $c$  – удельная теплоемкость материала проводника, Дж/(кг·К);  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup> К);  $R$ ,  $G$ ,  $F$  – соответственно, сопротивление проводника, Ом, его масса, кг и площадь поверхности, м<sup>2</sup>;  $T$ ,  $T_0$  – соответственно, температура проводника в произвольный момент времени и при  $t = 0$ , °С [2–4].

Сопротивление как функция температуры [2–4]:

$$R = R_0(1 + \alpha^*(T - T_0)), \quad (2)$$

где  $R_0$  – сопротивление проводника при  $T_0$ , Ом;  $\alpha^*$  – температурный коэффициент сопротивления, К<sup>-1</sup>.

Закон изменения температуры проводника при протекании через него электрического тока может быть получен в результате совместного решения уравнений (1) и (2) с учётом начального условия  $T(0) = T_0$  [1–4]:

$$T(t) = T_0 + \frac{I^2 R_0}{\alpha F - I^2 R_0 \alpha^*} \left( 1 - e^{-\frac{\alpha F - I^2 R_0 \alpha^*}{Gc} t} \right). \quad (3)$$

При  $\alpha^* = 0$  (3) сводится к зависимости с постоянным сопротивлением [1]

$$\tilde{T}(t) = T_0 + \frac{I^2 R}{\alpha F} \left( 1 - e^{-\frac{\alpha F}{Gc} t} \right). \quad (4)$$

В установившемся режиме

температура проводника определится соответствующими пределами  $T_{ycm} = \lim_{t \rightarrow \infty} T(t)$  и

$$\tilde{T}_{ycm} = \lim_{t \rightarrow \infty} \tilde{T}(t) [2 - 4].$$

Средняя температура НЭ за время нагрева  $t = \tau$  без учета температурной поправки [2 - 4]

$$\bar{\tilde{T}}(\tau) = \frac{1}{\tau} \int_0^\tau \tilde{T}(t) dt = T_0 + \frac{I^2 R}{\alpha F} - \frac{1}{\tau} \frac{I^2 R G c \left( 1 - e^{-\frac{\alpha F}{G c} \tau} \right)}{\alpha^2 F^2} \quad (5)$$

и с её учётом

$$\bar{T}(\tau) = \frac{1}{\tau} \int_0^\tau T(t) dt = T_0 + \frac{I^2 R_0}{\alpha F - I^2 R_0 \alpha^*} - \frac{1}{\tau} \frac{I^2 R G c \left( 1 - e^{-\frac{\alpha F - I^2 R_0 \alpha^*}{G c} \tau} \right)}{(\alpha F - I^2 R_0 \alpha^*)^2}. \quad (6)$$

Соответствующие значения в установившемся режиме оценим как  $\tilde{T}_{ycm} = \lim_{\tau \rightarrow \infty} \tilde{T}(\tau)$  и  $T_{ycm} = \lim_{\tau \rightarrow \infty} T(\tau)$  [2 - 4].

Используя ранее полученные выражения, можно сформировать математические

зависимости для расчёта абсолютной погрешности на протяжении всего периода нагрева  $t = \tau$ . Это даёт возможность отслеживать динамику изменения погрешности и оценивать её влияние на точность моделирования температурного режима [2 - 4]:

$$\Delta T(\tau) = T(\tau) - \tilde{T}(\tau) = \frac{I^2 R_0}{\alpha F - I^2 R_0 \alpha^*} \left( 1 - e^{-\frac{\alpha F - I^2 R_0 \alpha^*}{G c} \tau} \right) - \frac{I^2 R}{\alpha F} \left( 1 - e^{-\frac{\alpha F}{G c} \tau} \right) \quad (7)$$

средней абсолютной погрешности за время

нагрева  $t = \tau$

$$\Delta \bar{T}(\tau) = \left( \frac{I^2 R}{\alpha F} - \frac{I^2 R_0}{\alpha F - I^2 R_0 \alpha^*} \right) + \frac{I^2 R G c}{\tau} \left[ \frac{1 - e^{-\frac{\alpha F - I^2 R_0 \alpha^*}{G c} \tau}}{(\alpha F - I^2 R_0 \alpha^*)^2} - \frac{1 - e^{-\frac{\alpha F}{G c} \tau}}{\alpha^2 F^2} \right] \quad (8)$$

а также абсолютной и относительной погрешности в установившемся режиме

$$\bar{\varepsilon}_{abc} = \left| \lim_{\tau \rightarrow \infty} \Delta \bar{T}(\tau) \right| = \left| \frac{I^2 R}{\alpha F} - \frac{I^2 R_0}{\alpha F - I^2 R_0 \alpha^*} \right|, \quad (9)$$

$$\bar{\varepsilon}_{omi} = \frac{\left| \frac{I^2 R}{\alpha F} - \frac{I^2 R_0}{\alpha F - I^2 R_0 \alpha^*} \right|}{\bar{T}_{ycm}} \cdot 100. \quad (10)$$

С помощью формул (7) – (10) можно выполнить количественную оценку потенциальной погрешности, возникающей из-за игнорирования температурной зависимости сопротивления НЭ на этапах его проектирования, расчёта, либо анализа статических и динамических характеристик системы управления НЭ с открытой спиралью.

Анализ выражений (7) – (10)

показывает, что на величину погрешности расчёта влияют следующие параметры:  $I, F, G, c, \alpha, \alpha^*, R_0$ . Разберём их подробнее:

– Коэффициент теплоотдачи  $\alpha$  в основном зависит от интенсивности воздушного обдува и площади поверхности теплообмена.

– Параметры  $\alpha^*$  и  $R_0$  определяются физико-химическими свойствами материала, используемого для изготовления НЭ.

Результаты исследования влияния этих величин на температурную погрешность представлены в источниках [2 – 4].

Параметры  $I, F, G, c$  функционально взаимосвязаны и в значительной степени обусловлены геометрическими характеристиками проводника. В качестве обобщающего параметра удобно использовать диаметр проводника: его изменение приводит к вариации перечисленных выше составляющих погрешности (см. формулы (7) – (10)).

*Объект моделирования.* В качестве расчётного объекта выбрана электрическая спираль из никель-хромового сплава (нихром Х20Н80). Его теплофизические характеристики, а также свойства воздуха при температуре  $t = 20$  °С приведены в [2 – 4].

*Исходные данные для вычислительного эксперимента.* Для проведения расчётов были заданы следующие условия:

– электрическая мощность, выделяющаяся в спирали при прохождении тока 1000 Вт (при напряжении  $U=220$  В);

– начальная температура  $T_0 = 20$  °С;

– скорость воздушного потока  $\mathcal{G} = 1,0$  м/с;

– диаметр спирали  $d$  варьировался в диапазоне от 0,6 до 1,0 мм с шагом 0,1 мм.

*Методика расчёта параметров.* Для каждого значения диаметра

нагревательного элемента были определены его масса  $G$ , площадь поверхности теплообмена  $F$ , сила тока  $I$  и электрическое сопротивление  $R_0$  (при  $T_0 = 20$  °С).

Расчёты выполнены по стандартным соотношениям, описанным в [1 – 6]. Коэффициент теплоотдачи  $\alpha$  вычислен на основе критерия Нуссельта  $Nu$  согласно методикам, представленным в [2 – 4, 7].

Результаты проведённого вычислительного эксперимента визуализированы на рис. 1, 2.

Согласно данным, представленным на рис. 1, в ходе нагрева наблюдается рост погрешности расчётов, выполненных без учёта температурной зависимости сопротивления элемента (НЭ). Максимальное значение погрешности фиксируется в установившемся режиме.

Экспериментальные данные демонстрируют обратную зависимость между диаметром спирали и величиной погрешности: с его увеличением относительная и абсолютная ошибки расчёта в установившемся режиме снижаются.

На основании полученных результатов можно сформулировать следующие рекомендации:

1. При расчёте температурного режима для тонких спиралей необходимо учитывать температурный коэффициент сопротивления и использовать формулу (3) для оценки динамики нагрева. Игнорирование температурной поправки может привести к значительным погрешностям.

2. Для относительно толстых спиралей (с учётом типа материала) температурную зависимость сопротивления (формула (3)) допустимо не учитывать. В этом случае для оценки динамики нагрева допустимо применять формулу (4).

Представленные зависимости

позволяют детально анализировать, как различные эксплуатационные и конструктивные факторы влияют на погрешность расчётов температурного режима нагревательных элементов. В частности, учитываются: параметры воздушного обдува (скорость, равномерность, направление потока); тип материала спирали и его теплофизические свойства; геометрия спирали (диаметр проволоки, шаг навивки, общая длина и т.д.).

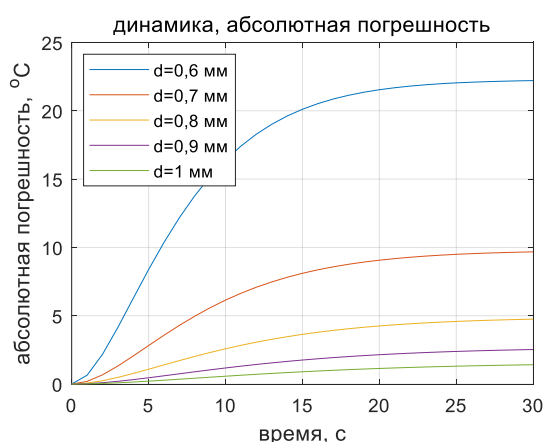


Рис. 2. Влияние диаметра спирали НЭ на изменение абсолютной погрешности расчета температуры спирали при ее нагреве

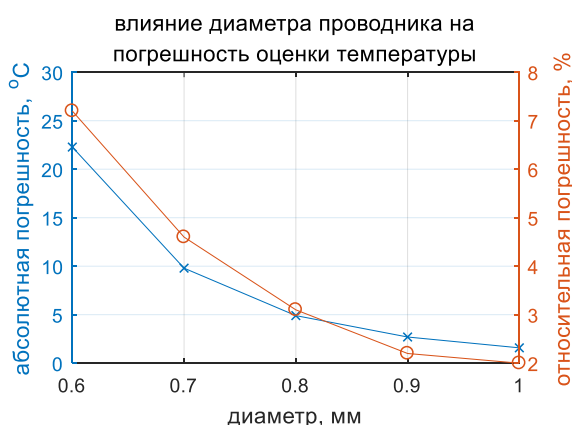


Рис. 3. Влияние диаметра спирали НЭ на абсолютную и относительную погрешности в установившемся режиме

Благодаря этому появляется возможность: принимать обоснованные решения о

необходимости учёта температурной поправки, особенно в системах, где критично время нагрева и требуется высокое быстродействие; точно оценивать динамические свойства объекта управления (инерционность, время выхода на режим, стабильность температуры), что является ключевым этапом при синтезе систем автоматического управления нагревательными элементами.

### Библиографический список

1. Козлов А.В. Сравнительный анализ характеристик открытых спиралей и ТЭНов в составе электронагревательных приборов. Ч. 1. Расчет тепловых полей в стационарных и нестационарных режимах / А.В. Козлов, А.С. Шаповалов, В.Я. Явчуновский // Вопросы прикладной физики. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та. Вып. 15., 2008. – С. 53 – 58.
2. Хвостов А.А. Моделирование нестационарного теплового режима нагрева открытой спирали / А.А. Хвостов, А.А. Журавлев, Д.И. Целюк // Научный вестник ВГАСУ. Серия: Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах/ Воронеж. ГАСУ. - Воронеж, 2017. – № 1(9) – С. 54 – 58.
3. Сумин А.И. Оценка температурной погрешности при моделировании нестационарного теплового режима нагрева открытой спирали нагревательного элемента / А.И. Сумин, А.А. Хвостов, А.А. Журавлев, В.В. Синюков // Вестник Воронежского института ФСИИ России. 2018. – № 1. – С. 108 – 117.
4. Хвостов А.А. Оценка температурной погрешности при проектировании систем управления обогревом теплиц элементами с открытой спиралью / А.А. Хвостов, М.И. Слюсарев, А.А. Журавлев, В.К. Битюков,

И.А. Хаустов, Р.А. Романов // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2024. – Т. 30, № 2. – С. 219 – 233.

5. Струпинский М.Л. Проектирование и эксплуатация систем электрического обогрева в нефтегазовой отрасли / М.Л. Струпинский, Н.Н. Хренков, А.Б. Кувалдин. – М.: Инфра-Инженерия, 2015. – 272 с.

6. Кабышев А.В. Электроснабжение

объектов. Ч. 1. Расчет электрических нагрузок, нагрев проводников и электрооборудования: учебное пособие / А.В. Кабышев. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007. – 185 с.

7. Процессы и аппараты пищевых производств / под ред. А.Н. Острикова. СПб.: Гиорд, 2012. – 616 с.

#### Информация об авторах

**Хвостов Анатолий Анатольевич** – доктор технических наук, профессор кафедры прикладной математики и механики, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» (394026, Россия, г. Воронеж, пр. Московский, 14), e-mail: Khvtol1974@yandex.ru.

**Журавлев Алексей Александрович** – кандидат технических наук, доцент кафедры математики, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (394064, Россия, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54а), e-mail: zhuraa1@rambler.ru

**Красова Наталья Евгеньевна** – кандидат экономических наук, доцент кафедры математики, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (394064, Россия, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54а), e-mail: krasovanata@mail.ru

#### Information about the author

**Anatoliy A. Khvostov** – doctor of technical Sciences, professor of the Department of Applied Mathematics and Mechanics, Voronezh State Technical University (39402614, Russia, Voronezh, Moskovskiy Ave., 14), e-mail: Khvtol1974@yandex.ru

**Alexey A. Zhuravlev** – candidate of technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mathematics, Military educational scientific center air force "air force Academy named after Professor N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin" (394064, Russia, Voronezh, St. Old Bolsheviks, 54A), e-mail: zhuraa1@rambler.ru

**Nataly E. Krasova** – candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Mathematics, Military educational scientific center air force "air force Academy named after Professor N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin" (394064, Russia, Voronezh, St. Old Bolsheviks, 54A), e-mail: krasovanata@mail.ru

УДК 303.732

## О МОДЕЛИ КОНФЛИКТА С ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНЫМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ ЭФФЕКТИВНОСТИ

С.В. Глущенко <sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Военный учебно-научный центр военно-воздушных сил “Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина”*

**Аннотация:** В статье анализируется модель двустороннего противодействия. Рассматривается вариант модели, когда обе противостоящие стороны склонны к риску, при этом функции – показатели эффективности обеих систем имеют экспоненциальный вид. Выведены условия существования аналитического решения.

**Ключевые слова:** противостояние, стороны конфликта, экстремальное поведение, уравнения системы, модель противодействия.

## ABOUT THE CONFLICT MODEL WITH EXPONENTIAL PERFORMANCE INDICATORS

S.V. Glushchenko <sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Military Educational and Scientific Center of the Air Force "Air Force Academy named after Professor N. Ye. Zhukovsky and Y. A. Gagarin"*

**Abstract:** This article analyzes a model of bilateral competition. A variant of the model is considered where both opposing parties are risk-averse, and the performance indicators for both systems are exponential. Conditions for the existence of an analytical solution are derived.

**Keywords:** confrontation, parties to the conflict, extreme behavior, system equations, counteraction model.

В статье [1] подробно рассматривались варианты возможного поведения противоборствующих систем в условиях конфликтного взаимодействия. Анализировались качественные характеристики функционирования систем вплоть до знаков вторых производных функций – показателей эффективности систем. Варьируя, таким образом, виды этих функций, т.е. всевозможные варианты поведения противодействующих систем, в их взаимодействии, можно составить построить довольно полную классификацию моделей конфликтующих систем. Более того, применяя эти рассуждения в отношении систем, находящихся в отношениях содействия и нейтралитета, можно создать подобные полные группы моделей взаимодействия систем. В данной статье будут построены и подробно проанализированы модели поведения систем, по крайней одна из которых склонна к риску, т.е. готова ускоренно расходовать свои ресурсы для достижения своих целей (превосходства, доминирования) в кратчайшие, с точки зрения стратегии поведения системы, временные промежутки.

В работе [2] эта тема была затронута. Кратко была охарактеризована модель, в которой поведение обеих систем склонно к риску, причем функции их показателей

$$\begin{aligned} g_1(t) &= \alpha_1 \phi_1(t) + \alpha_2 \phi_2(t) + \dots + \alpha_k \phi_k(t), \sum_{i=1}^k \alpha_i = 1, \\ g_2(t) &= \beta_1 \varphi_1(t) + \beta_2 \varphi_2(t) + \dots + \beta_m \varphi_m(t), \sum_{i=1}^m \beta_i = 1. \end{aligned} \quad (2)$$

$\varphi_i(t)$  и  $\psi_i(t)$  – функции времени – факторы, определяющие возрастание  $g_1(t)$  и  $g_2(t)$  соответственно.  $\alpha_i$  и  $\beta_i$  – соответствующие весовые коэффициенты этих факторов или их факторные нагрузки [3].

Функции времени  $f_{12}(t)$  и  $f_{21}(t)$

эффективности возрастают экспоненциально. В целях более глубокого изучения характера взаимодействия систем следует подробнее остановиться на исследовании этой модели, а также рассмотреть и другие варианты функционирования систем в условиях их склонности и несклонности к риску.

Для этого нужно привести рассмотренную в работах [1], [2] обобщенную модель двустороннего конфликтного взаимодействия:

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = g_1(t)x_1 - f_{12}(t)x_2, \\ \frac{dx_2}{dt} = g_2(t)x_2 - f_{21}(t)x_1. \end{cases} \quad (1)$$

Здесь функции времени  $x_1(t)$  и  $x_2(t)$  характеризуют поведение систем  $S_1$  и  $S_2$  соответственно. Функции  $g_1(t)$ ,  $g_2(t)$  иллюстрируют влияние факторов (технологических, организационных, экономических, социальных, политических и т.д.), формирующих увеличение соответственно показателей  $x_1(t)$  и  $x_2(t)$ .  $g_1(t)$  и  $g_2(t)$  представляются в виде линейных комбинаций этих факторов, способствующих возрастанию  $x_1(t)$  и  $x_2(t)$ .  $g_1(t)$  и  $g_2(t)$  выражаются следующим образом:

соответственно характеризуют силу воздействия системы  $S_2$  на систему  $S_1$  и системы  $S_1$  на систему  $S_2$ . Так же строятся как линейные комбинации факторов воздействия одной системы на другую. Функции  $f_{12}(t)$  и  $f_{21}(t)$  определяются аналогично

формированию  $g_1(t), g_2(t)$  (2).

Относительная простота системы (1) с одновременным наложением определенных ограничений на функции  $g_1(t), g_2(t), f_{12}(t)$  и  $f_{21}(t)$  может помочь в исследовании различных конфликтных ситуаций, в том числе, в моделировании и прогнозировании двустороннего взаимодействия. Особый интерес вызывают варианты поведения сторон конфликта, когда одна из них или даже обе склонны к риску, добиваясь перевеса в ограниченное время, рискуя при этом истощения своих ресурсов.

В качестве предельного случая в этом смысле целесообразно рассмотреть модель поведения противодействующих систем,

$$(g_1(t) - a)(f_{12}(t)(g_2(t) - a) + f_{12}'(t)) - g_1'(t)f_1(t) - f_{12}(t)f_{21}(t) = 0. \quad (5)$$

Выражение (5) представляет собой необходимое условие существования второго решения системы (1) в то время, когда первое решение имеет экспоненциальный вид (3). Справедливо

**Утверждение 1.** Если первое решение системы (1) имеет функциональный вид  $x_1(t) = e^{at}, (a > 0)$ , то необходимым условием существования второго решения системы является выполнение условия (5).

Справедливо предположить, что в условиях жесткого противостояния сторон (систем  $S_1$  и  $S_2$ ) реакция второй стороны конфликта выразится также в виде экспоненциальной функции:  $x_2(t) = e^{bt}, (b > 0)$ .

При  $x_1(t) = e^{at}$ , решая первое уравнение системы (1), находим

$$x_2(t) = (g_1(t) - a)e^{at} / f_{12}(t) = e^{bt}. \quad (6)$$

С другой стороны, справедливо  $x_2(t) = e^{bt}$ . Подставляем это выражение во второе уравнение системы и определяем

когда развитие одной из них ( $S_1$ ) определяется экспоненциальной функцией, например,

$$x_1(t) = e^{at}, (a > 0). \quad (3)$$

Исключительность этого случая должно накладывать строгие ограничения на вид функции  $x_2(t)$ , определяющей поведение  $S_2$ . Принимая такое условие, определяем  $x_2(t)$  из первого уравнения системы (1).

$$x_2(t) = (g_1(t) - a)e^{at} / f_{12}(t). \quad (4)$$

С этими значениями для функций  $x_1(t)$  и  $x_2(t)$  решаем второе уравнение системы (1) и определяем следующую зависимость:

$$x_1(t) = (g_2(t) - b)e^{bt} / f_{21}(t) = e^{at}. \quad (7)$$

Результаты (6) и (7) приводят к соотношению

$$(g_1(t) - a)(g_2(t) - b) - f_{12}(t)f_{21}(t) = 0. \quad (8)$$

Выражение (8) является необходимым условием того, что оба решения системы (1) имеют экспоненциальный вид. Этот факт может быть зафиксирован в виде утверждения.

**Утверждение 2.** Для того, чтобы показатели эффективности сторон двустороннего конфликта, представленного моделью (1), имели экспоненциальный вид:  $x_1(t) = e^{at}, (a > 0), x_2(t) = e^{bt}, (b > 0)$ , необходимо выполнение условия (8).

Теоретически рассмотренное поведение противодействующих сторон возможно, а практически маловероятно, но имеет интерес как предельный случай, характеризующий конфликтную ситуацию. Далеко не всегда значения функций  $g_1(t), g_2(t), f_{12}(t), f_{21}(t)$  позволяют выполнить

условие (8), тем более еще более сложное условие (5).

Доминирование одной из сторон непосредственно зависит от выражений функций  $g_1(t)$ ,  $g_2(t)$ ,  $f_{12}(t)$ ,  $f_{21}(t)$ , значений  $a$ ,  $b$ , но в, не меньшей степени, от запасов ресурсов сторон конфликта.

В реальных условиях, когда стоимость ресурсов на проведение конфронтации весьма высока, а также велик риск поражения в силу недостаточной информации о поведении противника и неопределенности ситуации в целом, стороны конфликта, как правило, предпочитают чаще не рисковать, чем рисковать. В этом случае стороны конфликта не склонны или, по крайней мере, нейтральны к риску, а значит, функции – показатели эффективности систем  $S_1$  и  $S_2$  скорее будут иметь отрицательные или равные нулю вторые производные.

В условиях реального противостояния и конечности дорогостоящих ресурсов экспоненциальные представления функций, иллюстрирующих поведение систем  $S_1$  и  $S_2$  скорее исключение из правил. Такое экстремальное поведение конфликтующих систем возможно лишь в течение непродолжительных временных интервалов.

#### Информация об авторах

Глушченко Сергей Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры математики, Военный учебно-научный центр военно-воздушных сил “Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина” (394064, Россия, г. Воронеж, 394064, ул. Старых Большевиков, 54 «А»), e-mail: serjvladimir@rambler.ru

Тем не менее интерес к таким ситуациям огромен и объясняется тем, что в течение времени, когда одна из сторон или обе одновременно представлены экспоненциальными показателями эффективности, может наступить перелом в противостоянии в пользу одной из сторон или проиллюстрировать невозможность дальнейшего противодействия для одной из систем или для обеих в целом.

#### Библиографический список

1. Глушченко С. В. О степени склонности к риску систем в конфликтном взаимодействии / Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах / Научно-технический журнал. Выпуск № 1(39). Воронеж. ВГТУ, 2026 г. С. 23-26.

2. Глушченко С. В. О модели двустороннего конфликтного взаимодействия / Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах / Научно-технический журнал. Выпуск № 4(38). Воронеж. ВГТУ, 2025 г. С. 7-9.

3. Иберла К. Факторный анализ. – М.: Статистика, 1980. –397 с.

#### Information about the author

Glushchenko Sergey Vladimirovich – candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mathematics, Military Educational and Scientific Center of the Air Force "Air Force Academy named after Professor N. Ye. Zhukovsky and Y. A. Gagarin" (394064, Russia, Voronezh, 394064, st. Old Bolsheviks, 54 "A"), e-mail: serjvladimir@rambler.ru

УДК 519.85

## АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАДАЧ ПРОЕКТА ПО ИСПОЛНИТЕЛЯМ НА ОСНОВЕ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ЭВОЛЮЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Т.В. Азарнова<sup>1</sup>, Б.А. Аникеев<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Воронежский государственный университет

**Аннотация:** Статья посвящена построению многокритериальной модели распределения задач проекта по исполнителям и применению генетических алгоритмов для поиска допустимых и эффективных решений.

**Ключевые слова:** распределение задач, управление проектами, многокритериальная оптимизация, генетические алгоритмы, эволюционное моделирование, Kanban, Jira, WIP-лимиты

## AUTOMATION OF PROJECT TASK ASSIGNMENT TO EXECUTORS BASED ON MULTI-CRITERIA EVOLUTIONARY MODELING

T.V. Azarnova<sup>1</sup>, B.A. Anikeev<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Voronezh State University

**Abstract:** The article is devoted to the construction of a multi-criteria model for assigning project tasks to executors and to the application of genetic algorithms for finding feasible and effective solutions.

**Keywords:** task assignment, project management, multi-criteria optimization, genetic algorithms, evolutionary modeling, Kanban, Jira, WIP limits.

Современные проекты, особенно в области разработки программного обеспечения и цифровых сервисов, реализуются в условиях высокой изменчивости требований, параллельного выполнения большого числа задач и постоянного пересмотра приоритетов. В таких условиях распределение задач между исполнителями становится важным управленческим механизмом, который влияет на сроки, качество результата и устойчивость рабочего процесса. На практике руководитель проекта или тимлид вынужден одновременно учитывать важность и срочность задач, уровень компетенций сотрудников, текущую загрузку команды и риск перегрузки, возникающий при чрезмерном числе параллельных работ. В Agile-среде эта проблема становится ещё заметнее, поскольку назначение и переназначение задач выполняются не однократно, а регулярно, по мере изменения контекста проекта. Это означает, что процедура распределения должна учитывать не только пригодность конкретного исполнителя для выполнения отдельной задачи, но и влияние назначения на общий поток работ. Поэтому задачу распределения целесообразно рассматривать как

многокритериальную задачу принятия решений, в которой улучшение одного показателя может сопровождаться ухудшением другого. Например, передача большого числа задач наиболее компетентному сотруднику может повысить качество отдельных назначений, но одновременно привести к его перегрузке и ухудшению предсказуемости потока.

Практическая значимость задачи связана ещё и с использованием трекеров класса Jira, в которых фиксируются статусы задач, приоритеты, назначенные исполнители и очередь работ. Такие системы формируют удобную операционную среду для наблюдения за жизненным циклом задач и могут рассматриваться как источники данных для автоматизированного распределения.

Цель исследования — разработать подход к автоматизации распределения задач проекта по исполнителям на основе многокритериального эволюционного моделирования. Для этого необходимо формализовать модель распределения, определить критерии качества и ограничения, а также описать схему решения задачи на основе генетических алгоритмов.

Постановка задачи распределения

Рассматривается проектная среда, в которой имеется множество задач

$$T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\} \quad (1)$$

и множество исполнителей

$$E = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}. \quad (2)$$

Каждая задача  $t_j$  описывается параметрами, важными для её распределения. К

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если задача } t_j \text{ назначается исполнителю } e_i, \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (3)$$

При этом задача может временно не назначаться ни одному исполнителю и оставаться временно в очереди. Это допущение важно для Kanban-подхода, поскольку не все задачи должны немедленно назначаться исполнителю, часть из них может оставаться в бэклоге до появления свободной ёмкости команды.

В отличие от однокритериальных схем назначения, где достаточно минимизировать один показатель, например, суммарную загрузку сотрудников, в рассматриваемой задаче необходимо учитывать несколько целей одновременно. Если назначать задачи только самым компетентным исполнителям, возрастает риск перегрузки отдельных сотрудников. Если ориентироваться только на снижение нагрузки, возможно ухудшение качества назначений. Если пытаться сократить число неназначенных задач любой ценой, возрастает вероятность превышения WIP-лимитов и накопления незавершённой работы. Поэтому распределение задач рассматривается как многокритериальная задача дискретной оптимизации.

Критерии качества и ограничения модели

Для оценки качества распределения используются четыре критерия.

ним относятся: приоритет задачи  $p_j$ , требуемый уровень компетентности  $Req_j$ , суммарная трудоёмкость  $H_j$  и число дней до директивного срока исполнения  $D_j$ . Каждый исполнитель  $e_i$  характеризуется уровнем компетентности  $Comp_i$ , текущей средней дневной загрузкой  $CurLoad_i$  и числом задач, уже находящихся в работе  $CurWIP_i$ .

Первым критерием выступает максимизация полезности назначений:

$$F_1 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m u_{ij} x_{ij} \rightarrow \max. \quad (4)$$

В данной модели полезность назначения определяется только тем, насколько уровень компетентности исполнителя соответствует требованиям задачи. При этом назначения с компетентностью ниже требуемой считаются недопустимыми и исключаются ограничением, поэтому функция полезности задаётся только для допустимых пар исполнитель–задача. Для допустимых назначений используется табличная шкала:

$$u_{ij} = \begin{cases} 1, & Comp_i = Req_i, \\ 0.8, & Comp_i > Req_i, \end{cases} \quad (5)$$

Это означает, что наибольшая полезность достигается при точном соответствии уровня компетентности требованиям задачи. Если исполнитель обладает более высоким уровнем компетентности, назначение остаётся допустимым, но оценивается немного ниже, поскольку более квалифицированный специалист используется для задачи, которую может выполнить сотрудник с меньшим уровнем подготовки.

Второй критерий состоит в минимизации превышения рекомендуемой средней дневной нагрузки исполнителей. Для

каждой задачи задаётся показатель требуемой дневной интенсивности выполнения:

$$q_j = \frac{H_j}{D_j}. \quad (6)$$

Плановая средняя дневная нагрузка исполнителя определяется как:

$$F_2 = \sum_{i=1}^n \max(0, Load_i - 7) \rightarrow \min. \quad (8)$$

Штраф осуществляется только за превышение рекомендованного уровня в 7 часов в день. Такой подход позволяет не добиваться искусственно полной загрузки исполнителей, а сосредоточиться именно на предотвращении перегрузки, что лучше

$$F_3 = \sum_{j=1}^m s_j (1 - \sum_{i=1}^n x_{ij}) \rightarrow \min. \quad (9)$$

Величина  $s_j$  используется как показатель срочности задачи. В базовом варианте модели этот показатель определяется через ту же требуемую дневную интенсивность:

$$s_j = \frac{H_j}{D_j}. \quad (10)$$

Чем больше часов в день нужно

$$F_4 = \sum_{j=1}^m p_j (1 - \sum_{i=1}^n x_{ij}) \rightarrow \min. \quad (11)$$

Этот критерий учитывает важность задачи для проекта. Даже если в рамках Kanban часть задач может временно оставаться в очереди, задачи высокого приоритета не должны систематически откладываться.

Помимо критериев, в модели задаются ограничения допустимости решений.

$$CurWIP_i + \sum_{j=1}^m x_{ij} \leq, MaxWIP_i, \quad i = 1, \dots, n. \quad (13)$$

Назначение допускается только при выполнении минимального порога компетентности:

$$x_{ij} = 0, \text{ если } Comp_{ij} < Req_j \quad (14)$$

$$Load_i = CurLoad_i + \sum_{j=1}^m q_j x_{ij}. \quad (7)$$

На основании введенных обозначений, критерий минимизации превышения рекомендуемой средней дневной нагрузки исполнителей можно записать следующим образом:

соответствует логике Kanban и практике управления потоком работ.

Третий критерий связан с минимизацией штрафа за неназначение срочных задач:

затрачивать на задачу, чтобы успеть к желаемому сроку, тем выше её срочность и тем больше штраф за её неназначение.

Четвёртый критерий заключается в минимизации штрафа за неназначение приоритетных задач:

Каждая задача может быть назначена не более чем одному исполнителю:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq 1, \quad j = 1, \dots, m. \quad (12)$$

Для каждого исполнителя ограничивается количество одновременно выполняемых задач:

В результате модель одновременно учитывает качество назначения, перегрузку исполнителей, срочность и приоритет задач, и отделяет допустимые решения от недопустимых за счёт системы ограничений.

### Выбор организационной среды

Для полученной задачи удобно использовать Kanban-подход. Kanban ориентирован на непрерывный поток задач, допускает регулярное пополнение очереди работ и формализует проблему перегрузки через WIP-лимиты. Поскольку одной из целей модели является минимизация перегрузки, Kanban задаёт для этого понятную управленческую основу. Кроме того, Kanban допускает ситуацию, при которой часть задач временно остаётся в очереди и не назначается немедленно. Для данной модели это особенно важно, поскольку неназначение может быть допустимым, но нежелательным для срочных и приоритетных задач. Также Kanban хорошо сочетается с Jira-средой. Статусы задач, визуализация стадий, накопление очередей и ограничения по незавершённой работе напрямую отражаются в интерфейсе трекера. Благодаря этому модель может использоваться как основа для системы поддержки принятия решений в реальном процессе управления проектом.

Схема решения задачи на основе генетического алгоритма

Задача распределения задач проекта по исполнителям имеет комбинаторный характер. При увеличении числа задач и исполнителей пространство допустимых вариантов быстро возрастает, а наличие нескольких конфликтующих критериев делает применение простых эвристик недостаточным. В таких условиях можно использовать генетические алгоритмы, относящиеся к классу эволюционных методов оптимизации.

В генетических алгоритмах каждое решение кодируется в виде хромосомы длины  $m$ , где каждой позиции соответствует одна задача. Значение гена

показывает, какому исполнителю назначена соответствующая задача. Также используется специальное значение 0, означающее, что задача на текущем шаге остаётся неназначенной. Тогда хромосому можно представить как

$$G = (g_1, g_2, \dots, g_m), \quad (15)$$

где  $g_j \in \{0, 1, 2, \dots, n\}$ . Если  $g_j = 0$ , задача  $t_j$  не назначена; если  $g_j = i$ , задача  $t_j$  назначена исполнителю  $e_i$ .

Начальная популяция формируется из случайных или полуэвристических допустимых решений. При генерации начальных хромосом проверяется соблюдение ограничений: задача не должна назначаться исполнителю с недостаточным уровнем компетентности, количество назначений не должно приводить к превышению лимита  $MaxWIP_i$ , а каждая задача должна присутствовать в хромосоме только один раз. Если сгенерированное решение нарушает ограничения, оно либо отбрасывается, либо корректируется процедурой восстановления допустимости.

После формирования популяции выполняется оценка каждой особи по четырём критериям модели. Для заданной хромосомы вычисляются значения  $F_1, F_2, F_3, F_4$ . Далее осуществляется эволюционный поиск с использованием стандартных операторов отбора, скрещивания и мутации.

Оператор отбора обеспечивает сохранение более качественных решений с большей вероятностью. Оператор скрещивания формирует потомков за счёт комбинирования фрагментов двух родительских хромосом. В данной задаче это означает перенос удачных назначений отдельных групп задач из одного решения в другое. Оператор мутации вносит небольшие изменения в хромосому, например переводит задачу к

другому допустимому исполнителю или делает её временно неназначенной. После применения операторов потомки при необходимости проходят процедуру восстановления допустимости.

Для учёта множественности критериев в работе рассматриваются три подхода. В варианте Weighted Sum значения критериев предварительно нормируются и объединяются в единую функцию приспособленности с помощью весовых коэффициентов. Этот подход прост в реализации и позволяет получить базовый вариант алгоритма.

В варианте VEGA отбор строится поочередно по разным критериям, что позволяет поддерживать в популяции решения, дающие хорошие результаты по разным критериям: по полезности назначений, по перегрузке, по срочности или по приоритету.

В варианте SPEA поддерживается внешний архив недоминируемых решений. Этот подход позволяет формировать набор Парето-эффективных вариантов распределения, из которого затем можно выбирать решение с учётом текущей управленческой ситуации.

Работа алгоритма строится по следующей схеме: формирование исходных данных, генерацию начальной популяции, оценку особей по выбранным критериям, применение операторов отбора, скрещивания и мутации, коррекцию недопустимых решений, повторение цикла до достижения условия остановки и выбор итогового решения либо множества недоминируемых решений.

#### **План вычислительного эксперимента**

Сравнение выбранных вариантов эволюционного решения будет проводиться на

основе наборов входных данных и общей схемы вычислительного эксперимента. Предполагается сформировать несколько тестовых сценариев, различающихся количеством задач, количеством исполнителей, распределением приоритетов, уровнем загрузки сотрудников и жёсткостью WIP-ограничений. Для каждого сценария будут выполняться запуски алгоритма в трёх вариантах: на основе Weighted Sum, VEGA и SPEA. Сравнение будет выполняться по значениям исходных критериев, времени работы алгоритма, устойчивости результатов при повторных запусках и практической интерпретируемости полученных распределений. Для SPEA дополнительно будет оцениваться разнообразие и качество множества найденных недоминируемых решений.

#### **Заключение**

Предлагаемый в работе подход позволяет рассматривать распределение задач проекта по исполнителям как многокритериальную задачу дискретной оптимизации, в которой одновременно учитываются качество назначений, ограничение средней дневной нагрузки сотрудников, срочность задач и их приоритет. В данной модели полезность назначения определяется только соответствием уровня компетентности исполнителя требованиям задачи, а ограничения явно отделяют допустимые решения от недопустимых.

Построенная модель хорошо согласуется с Kanban-подходом, поскольку учитывает WIP-лимиты и допускает временное сохранение части задач в очереди. Описанная схема решения на основе генетического алгоритма позволяет перейти от теоретической постановки к программной реализации. Следующим этапом работы станет создание программного прототипа,

проведение вычислительных экспериментов и сравнительный анализ эффективности подходов Weighted Sum, VEGA и SPEA на сценариях различной сложности.

### Библиографический список

1. Гладков Л. А., Курейчик В. В., Курейчик В. М. Генетические алгоритмы. 2-е изд., испр. и доп. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010.

2. Лотов А. В., Поспелова И. И. Многокритериальные задачи принятия решений: учебное пособие. М.: МАКС Пресс, 2008.

3. Подиновский В. В. Многокритериальные задачи принятия решений: теория и методы анализа. М.: Юрайт, 2023.

4. Арсланоглу Й. Genetic Algorithm for Personnel Assignment Problem with Multiple Objectives, 2006.

5. Принципы Agile манифеста.

6. Schwaber K., Sutherland J. The Scrum Guide 2020.

7. Официальное руководство по Канбан-методу. Kanban University.

8. Atlassian. Jira workflows.

### Информация об авторах

**Азарнова Татьяна Васильевна** – доктор технических наук, профессор кафедры математических методов исследования операций, Воронежский государственный университет (394018, Россия, г. Воронеж, Университетская площадь, 1), e-mail: ivdas92@mail.ru

**Аникеев Борис Александрович** – студент кафедры математических методов исследования операций, Воронежский государственный университет (394018, Россия, г. Воронеж, Университетская площадь, 1), e-mail: lorasks65@yandex.ru

### Information about the author

**Tatyana V. Azarnova** – doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Mathematical Methods of Operations Research, Voronezh State University (1 Universitetskaya Square, Voronezh, 394018, Russia), e-mail: ivdas92@mail.ru

**Boris A. Anikeev** – student of the Department of Mathematical Methods of Operations Research, Voronezh State University (1 Universitetskaya Square, Voronezh, 394018, Russia), e-mail: lorasks65@yandex.ru

УДК 681.5.08

## СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ ПОДАЧИ СВАРОЧНОЙ ПРОВОЛОКИ В РОБОТИЗИРОВАННОМ КОМПЛЕКСЕ

М.А. Кривоченко<sup>1</sup>, С.И. Поляков<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Воронежский государственный технический университет

<sup>2</sup> Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова

**Аннотация:** Рассмотрен процесс подачи сварочной проволоки в роботизированном комплексе. Выявлены возмущающие и регулируемые параметры. Описана система с помощью передаточных функций основных элементов. Предложена структура замкнутой системы автоматического регулирования скорости подачи с ПИД-регулятором. Реализована SCADA-система процесса на базе MasterSCADA 4D.

**Ключевые слова:** система подачи, сварочная проволока, передаточная функция, автоматизация, SCADA-система

## AUTOMATIC CONTROL SYSTEM FOR THE SPEED OF WELDING WIRE IN A ROBOTIZED COMPLEX

M.A. Krivochenko<sup>1</sup>, S.I. Polyakov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Voronezh state technical University

<sup>2</sup> Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

**Abstract:** The process of welding wire feeding in a robotic complex is considered. Disturbing and controlled parameters are identified. The system is described using transfer functions of the main elements. The structure of a closed-

loop automatic speed control system with a PID controller is proposed. A SCADA system of the process based on MasterSCADA 4D is implemented.

**Keywords:** feeding system, welding wire, transfer function, automation, SCADA system

В современном мире процесс качественной сварки трудно представить без применения промышленных роботов. Это, в свою очередь, предъявляет повышенные требования к обеспечению стабильности вспомогательных процессов. Одним из важных узлов является система подачи сварочной проволоки (СПП), которая несомненно влияет на качество сварки. На практике традиционные разомкнутые системы подачи сталкиваются с трудностями управления. Подобные системы плохо справляются с возмущениями внутреннего и внешнего характера, такими как изменяющиеся механические свойства проволоки, скачки частоты питающей сети, увеличение сопротивления в кабель-канале, изнашивание со временем подающих роликов.

Для решения этой проблемы требуется создание системы автоматического регулирования (САР) с обратной связью. Система должна обеспечивать поддержание заданной скорости подачи проволоки (номинальное значение – 12 м/мин) с погрешностью не более  $\pm 0,2$  м/мин. Также она должна отслеживать значения технологических параметров: температуру, влажность, напряжение сети, рассогласование скоростей роликов, наличие проволоки на катушке, обеспечивать защиту двигателя от перегрузок, а проволоку – от обрыва. Для наглядности процесса необходимо разработать человеко-машинный интерфейс с визуализацией, трендами и журналом событий.

Проанализировав литературные источники, заключаем, что в большинстве существующих СПП до сих пор используют разомкнутое управление по заданию

частоты вращения двигателя. Данная работа отличается использованием ПИД-регулятора, а также визуализацией в промышленной SCADA-системе. Эффективность применения ПИД-регуляторов для стабилизации скорости подачи в сварочном оборудовании подтверждается результатами работы [1], где определены их параметры и получены переходные характеристики.

Объект управления состоит из преобразователя частоты, асинхронного двигателя, роликов и датчика скорости (обратной связи). На основе паспортных данных двигателя 5АИ 80 А2 (1,5 кВт, 3000 об/мин) и преобразователя частоты ПЧВ1-1К5-В рассчитаны параметры передаточных функций (табл. 1). Подходы к построению математических моделей асинхронных двигателей, которые используются в похожих системах, рассмотрены в работе [2].

Передаточная функция разомкнутой системы (объекта) без регулятора имеет вид:

$$W_{об}(s) = \frac{K}{s(T_3s+1)} \quad (1)$$

где  $K = \frac{K_{пч} * \beta * K_{мех} * K_{дос}}{J} = 0,04345$  – общий коэффициент передачи разомкнутой системы (усиление);

Исходя из этих данных, можно сделать вывод, что объект управления представляет собой астатическое звено второго порядка, что позволяет применить ПИД-регулятор для компенсации возмущающих воздействий. Возмущающим воздействием является момент нагрузки  $M_c$ , создаваемый силой натяжения проволоки  $F_{нагр}$ ,

приведенный к валу двигателя:

$$M_c(t) = F_{нагр}(t) \cdot R \quad (2)$$

где R – радиус ведущего ролика.

Таблица 1. Параметры передаточных функций элементов

Элемент	Передаточная функция	Параметры
Преобразователь частоты	$W_{пч}(s) = \frac{K_{пч}}{T_{пч}s + 1}$	$K_{пч} = 31.4, T_{пч} = 0.002 \text{ с}$
Электромагнитная часть двигателя	$W_{эм}(s) = \frac{\beta}{T_эs + 1}$	$\beta = 0.32, T_э = 0.05 \text{ с}$
Механическая часть двигателя	$W_{ротор}(s) = \frac{1}{Js}$	$J = 0.005 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
Механическая передача (ролики)	$W_{мех}(s) = K_{мех} = \frac{R}{i}$	$R = 0.025 \text{ м}, i = 37, K_{мех} = 0.0006757$
Датчик обратной связи	$W_{дос}(s) = K_{дос} = 0.032$	–

Структурная схема замкнутой системы автоматического регулирования (рис.1) включает элемент сравнения, ПИД-регулятор (реализован в ПЛК),

преобразователь частоты, асинхронный электродвигатель, механическую передачу и датчик обратной связи (энкодер).

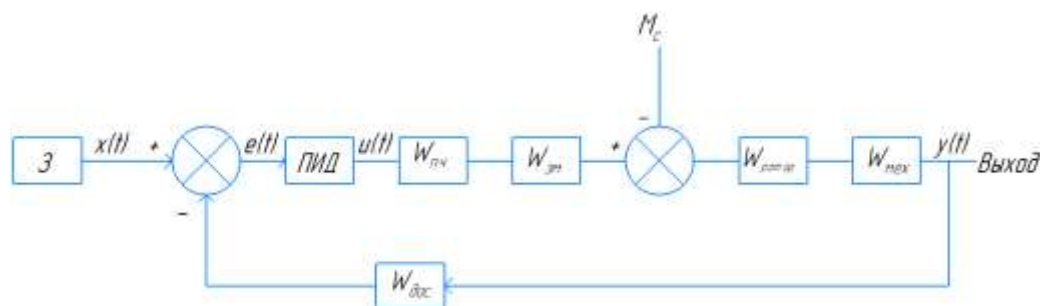


Рис. 1. Структурная схема основного контура САУ скорости

Верхний уровень автоматизации реализован в программной среде MasterSCADA 4D. Разработка мнемосхемы и интерфейса оператора выполнена с помощью инструментов платформы MasterSCADA 4D [3]. На рисунке 2 изображена мнемосхема узла подачи (катушка, ведущий и прижимной ролики с отображением текущей скорости каждого).

Также на экране отображены цифровые показатели силы тока электродвигателя, влажности и температуры рабочей зоны, натяжения проволоки; световые

индикаторы аварий (красный – неподтвержденная, зеленый – подтвержденная); кнопки «Старт», «Стоп», «Подтвердить отсутствие аварии». В верхней части мнемосхемы отображена текущая роль пользователя, IP-адрес, имя пользователя, название процесса, текущие дата и время. Контролируемые аварийные параметры приведены в таблице 2.

Журнал событий служит для отображения типа и времени возникновения аварии, действий оператора. Тренд скорости подачи отображает историю изменений

регулируемой величины.

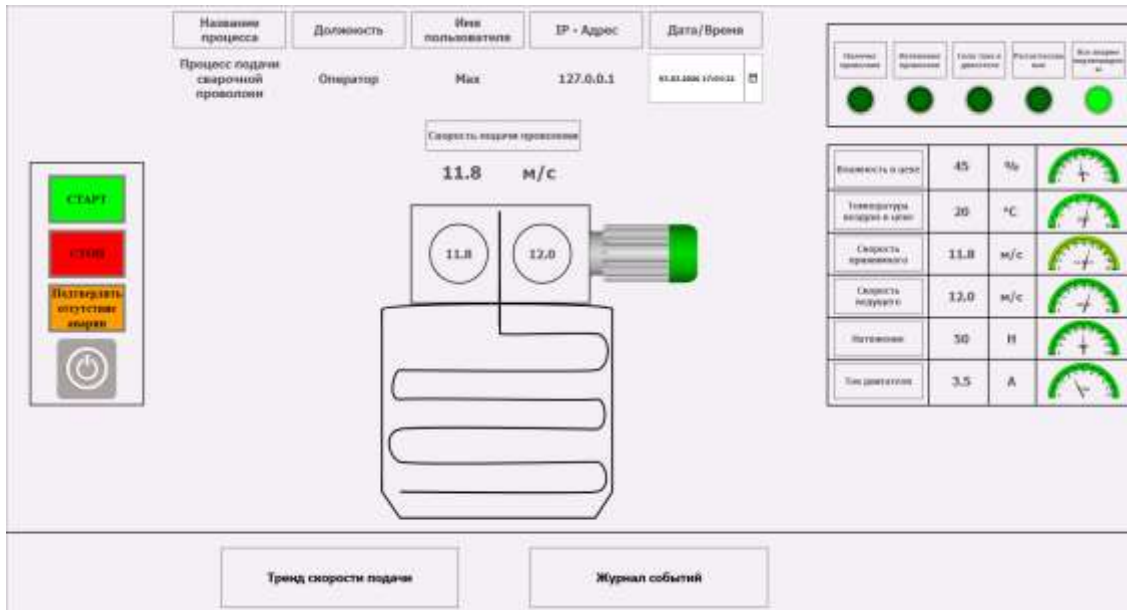


Рис. 2. Мнемосхема узла подачи сварочной проволоки

Выполнен предварительный расчет стоимости системы (табл. 3). Общие затраты на основное оборудование составляют  $\approx 189$  тыс. руб.

Таблица 2. Контролируемые аварийные параметры

Параметр	Норма	Аварийная граница	Действие
Ток двигателя	$< 7$ А	$> 11$ А	Отключение двигателя
Натяжение проволоки	$50 - 70$ Н	$> 90$ Н или $< 30$ Н	Отключение двигателя
Наличие проволоки	Есть	Нет	Отключение двигателя
Рассогласование скоростей	$< 5$ %	$> 10$ %	Отключение двигателя

Таблица 3. Сводная стоимость оборудования

Компонент	Тип	Цена, руб.
Электродвигатель	5АИ 80 А2	7 443
Преобразователь частоты	ПЧВ1-1К5-В	23 779
ПЛК	ПЛК210-04-CS	77 531
Энкодер (2 шт.)	E40H8-1024-3-T-24	28 700
Датчик натяжения	CR208.50	25 000
Индуктивный датчик	LA12-50.4P2.U1.K	1 974
Датчик температуры/ влажности	ПВТ100	24 552
<b>Итого</b>		<b>188 979</b>

В среде исполнения MasterSCADA 4D проведено тестирование системы подачи. При нормальном пуске после подтверждения отсутствия аварии и нажатия кнопки «Старт» двигатель запускается, параметры

находятся в зеленой зоне (скорость 11,8 м/с, ток 3,5 А, натяжение 50 Н). При имитации аварии «Перегрузка» (ток 12 А) двигатель останавливается, индикатор мигает красным (рис. 3).

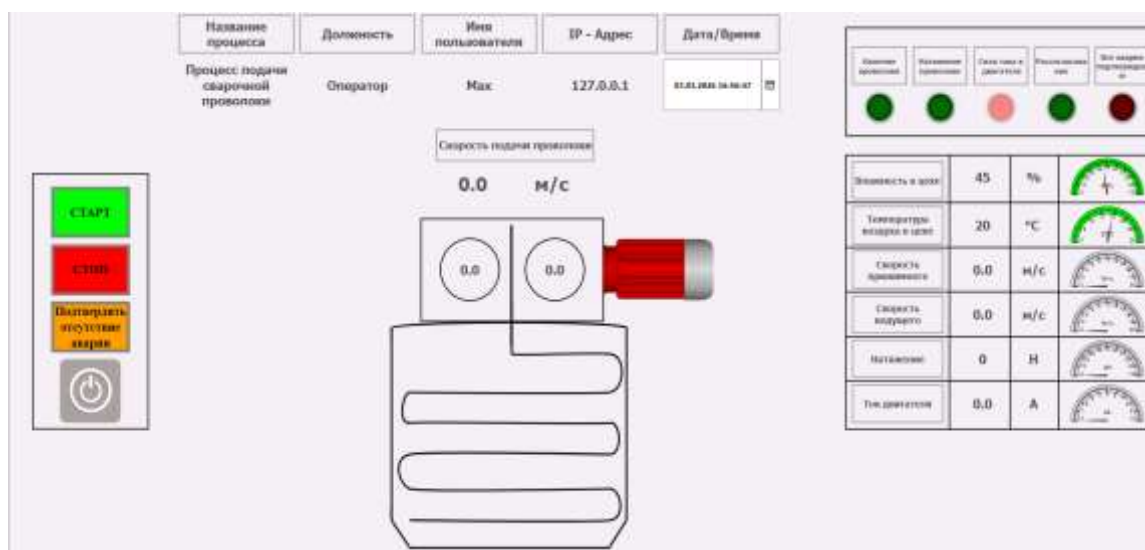


Рис. 3. Аварийная ситуация: перегрузка двигателя

После снижения силы тока до нормы пуск блокируется до нажатия на кнопку «Подтвердить отсутствие аварии». Также корректно работает система разграничения доступа. Стажер не имеет доступа к кнопкам управления, оператор – полное управление, администратор – настройку уставок.

В работе разработана система автоматического регулирования скорости подачи сварочной проволоки, включающая математическую модель объекта, замкнутую САР, визуализацию процесса в среде MasterSCADA 4D. Тестирование подтвердило работоспособность системы в штатных и аварийных режимах. В дальнейшем система может быть улучшена с помощью внедрения адаптивного управления (автоматическое распознавание типа проволоки).

#### Информация об авторах

**Кривоченко Максим Александрович** – студент группы БАТП-221 факультета информационных технологий и компьютерной безопасности, Воронежский государственный технический университет (394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20 лет Октября, 84), e-mail: maximkrivochenko@yandex.ru

**Поляков Сергей Иванович** – кандидат технических наук, доцент, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова (394087, Россия, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8), e-mail: poliakov1960@mail.ru

#### Библиографический список

1. Легостов В.В., Филиппов И.В. Стабилизация скорости сварки регулированием приводов // Электронный журнал: наука, техника и образование. – 2017. – № СВ1(11). – 7 с.
2. Гаврилов Е.С., Пугачев А.А. Математическое моделирование асинхронного двигателя в произвольной системе координат // Сборник трудов МНПК «САПР и моделирование в электронике». – 2021. – С. 217-219. – DOI: 10.51932/9785907271739\_217.
3. Справочная система MasterSCADA 4D: web-версия / ООО «МПС софт». – Версия 1.3.4 и выше. – Москва, 2026. – URL: <https://support.mps-soft.ru/Help-web/hmcontent.html> (дата обращения: 07.04.2026). – Текст: электронный.

#### Information about the author

**Maxim A. Krivochenko** – student of group bATP-221, Faculty of Information Technologies and Computer Security Voronezh State Technical University (84, 20 let Oktyabrya str., Voronezh, 394006, Russia), e-mail: maximkrivochenko@yandex.ru

**Sergey I. Polyakovcan** – candidate of technical Sciences, associate Professor, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov (8, Timiryazeva str., Voronezh, 394087, Russia), e-mail: poliakov1960@mail.ru

УДК 519.2

## ИССЛЕДОВАНИЕ КВАЗИРАВНОМЕРНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ В ЗАДАЧАХ АВТОМАТИЗАЦИИ

В.И. Акимов<sup>1</sup>, А.В. Полуказов<sup>1</sup>, И.А. Ряска<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Воронежский государственный технический университет

**Аннотация:** в статье проведен анализ надежности равномерных и квазиравномерных датчиков случайных чисел. Получены выражения для математического ожидания, среднеквадратического отклонения (дисперсии), коэффициентов асимметрии и эксцесса квазиравномерного распределения. В качестве критерия статистической надежности использованы разбросы этих параметров реальных и теоретических значений.

**Ключевые слова:** статистическое моделирование, распределение, контролируемые параметры, оценка.

## RESEARCH OF QUASI-UNIFORM DISTRIBUTION FOR STATISTICAL MODELS IN AUTOMATION TASKS

V.I. Akimov<sup>1</sup>, A.V. Polukazakov<sup>1</sup>, I.A. Ryaska<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Voronezh State Technical University

**Abstract:** the article analyzes the reliability of uniform and quasi-uniform random number sensors. Expressions are obtained for the mathematical expectation, standard deviation (variance), asymmetry coefficients, and excess coefficients of the quasi-uniform distribution. The spreads of these parameters of real and theoretical values are used as a criterion for statistical reliability.

**Keywords:** statistical modeling, distribution, controlled parameters, and estimation.

При проектировании современных систем автоматизации технологических процессов пользуются классическим методом описания технологических переделов в устройствах с помощью дифференциальных уравнений. При этом, применяя преобразование Лапласа, результат находят в виде дробно-рациональной функции, коэффициенты которой определяются как параметрами технологического процесса, так и данными технического оборудования. Другой метод проектирования основан на замене процессов их статистическими моделями. В качестве теоретической базы такого подхода будем применять теорию статистических гипотез. С ее помощью вводятся статистические модели, описывающие контролируемые параметры технологических процессов:

$$Ak \pm \theta$$

где  $Ak$  – контролируемый параметр;  $\theta$  – допустимый разброс.

На практике, в качестве статистических моделей  $W(A)$  применяют нормальное распределение или распределение Релея. Для решения задачи управления необходимо оценивать величину контролируемого параметра

$$\hat{A} \pm \Delta$$

где  $\hat{A}$  – оценка;  $\Delta$  – допустимая абсолютная погрешность.

Наиболее применимая статистическая модель – равномерное распределение. Для повышения эффективности статистической модели предлагается ввести квазиравномерное распределение

Статистическое моделирование – это воспроизведение с помощью компьютерных и программных средств заданных вероятностных моделей реального процесса. В

данный момент становится популярным математический двойник (или цифровой двойник), с помощью которого можно математически просчитать, как поведет себя уже разработанная, но еще не введенная в эксплуатацию, система со случайными возмущениями на неё. Задачами математической статистики и такого цифрового двойника являются оценка надёжности и отказоустойчивости системы, оптимизация ее параметров, путем настройки коэффициентов управления для минимизации влияния случайных помех, а также прогнозирование поведения системы при изменении внешних условий.

Случайными числами называют возможные значения  $r$  непрерывной случайной величины  $R$ , распределенной равномерно на интервале  $(0, 1)$  [1].

Так как компьютер является абсолютно детерминированным прибором, он не способен выдавать истинно случайные числа. Генерация случайных чисел производится с помощью математических выражений. Эти числа называют псевдослучайными. Из-за этого возникает проблема доверия к программным датчикам случайных чисел.

Таким образом, в реальности используют не равномерно распределенную случайную величину  $R$ , возможные значения которой имеют бесконечное число десятичных знаков, а квазиравномерную случайную величину  $R^* \approx R$ , возможные значения которой имеют конечное число знаков [1]. Тогда задачей исследования является:

1. нахождение плотности вероятности квазиравномерного распределения;
2. функции квазиравномерного распределения;
3. разработка генератора случайных квазиравномерных чисел;

4. теоретический расчет моментов (мат. ожидание, дисперсия, коэффициенты асимметрии и эксцесса);

5. выбор критерия качества равномерного и квазиравномерного распределений;

6. экспериментальные исследования.

Квазиравномерным распределением считается распределение вероятностей случайной величины, которое по своим статистическим свойствам максимально близко к равномерному распределению, но имеет от него определенные отклонения (Рис. 1). Равномерное распределение – это непрерывные случайные величины, значения которых лежат в пределах определенного интервала, в пределах которого все значения случайной величины одинаково вероятны (Рис. 2) [2].

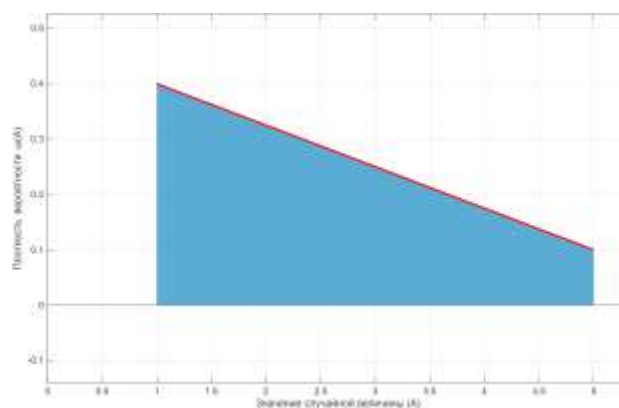


Рис. 1. Идеальный случай квазиравномерного распределения

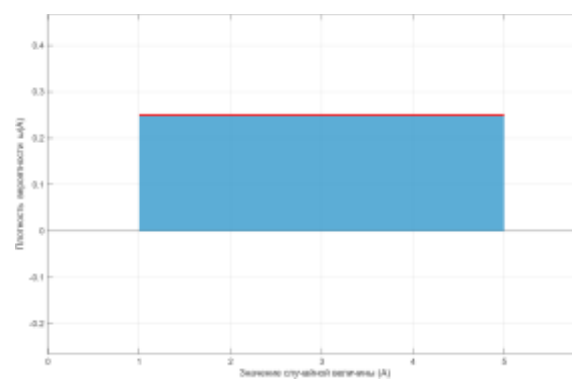


Рис. 2. Идеальный случай равномерного распределения

Поскольку графиком квазиравномерного распределения является кривая (см. Рис. 1), запишем уравнение кривой:

$$\frac{x-a}{b-a} = \frac{y-\gamma_1}{\gamma_2-\gamma_1} \quad (1)$$

где  $x$  и  $y$  – соответствующие оси;  $a$  и  $b$  – левый и правый края кривой, соответственно;  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$  – верхний и нижний края кривой.

Плотность распределения, как следует из названия, характеризует плотность, с которой распределяются значения случайной величины в заданном интервале, иными словами, плотностью распределения является площадь под графиком кривой распределения [2]. Если выразить из уравнения (1)  $y$  и осуществить подстановку  $x = A$  и  $y = \omega(A)$ , можно получить формулу плотности квазиравномерного распределения:

$$\omega(A) = \gamma_1 + \frac{\gamma_2-\gamma_1}{b-a}(A-a) \quad (2)$$

График плотности (2) изображен красной линией на рисунке 1.

Если линия наклонена в другую сторону (иначе, график выглядит зеркально графику рисунка 1), то в формуле плотности такого графика  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$  будут перемены местами. График такой плотности изображен красной линией на рисунке 3.

Далее становится возможным нахождение функции квазиравномерного распределения. Функция распределения полностью характеризует случайную величину с вероятностной точки зрения. На графике функции распределения можно увидеть, какова вероятность того, что случайная величина окажется меньше или равна заданному значению. Для нахождения функции распределения берется интеграл от его плотности от начала графика по оси  $A$  (иными словами, от  $a$ ) до случайной величины  $A$  [2]:

$$F(A) = \int_a^A \omega(A)$$

$$F(A) = \int_a^A \gamma_1 + \frac{\gamma_2-\gamma_1}{b-a}(A-a) \quad (3)$$

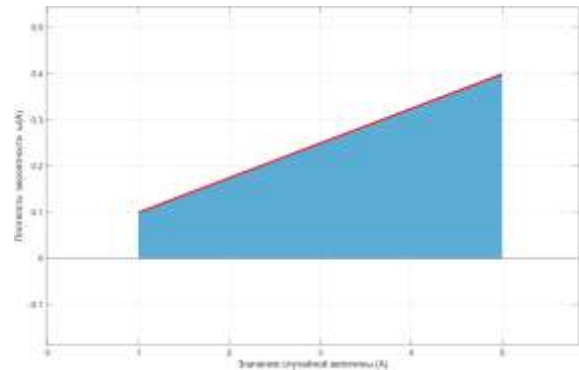


Рис. 3. Идеальный зеркальный случай квазиравномерного распределения

После выполнения всех преобразований выражения выше, получается:

$$F(A) = \gamma_1(A-a) + \frac{(\gamma_2-\gamma_1)(A-a)^2}{2(b-a)} \quad (4)$$

График функции (4) изображен на рисунке 4. Зеркальная (симметричная) функция распределения определяется тем же методом, что и зеркальная (симметричная) плотность. Ее изображение представлено на рисунке 5. Все параметры зеркальной функции, рассчитываемые в дальнейшем, будут определяться теми же методами.

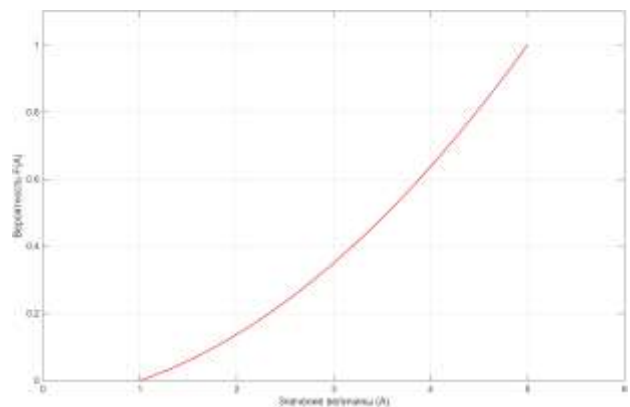


Рис. 4. График функции распределения

Для параметров оценки качества датчиков случайных чисел воспользуемся числовыми характеристиками случайных величин, такими как: математическое

ожидание, дисперсия, коэффициент асимметрии и коэффициент эксцесса. Числовые характеристики описывают случайную величину суммарно [1].

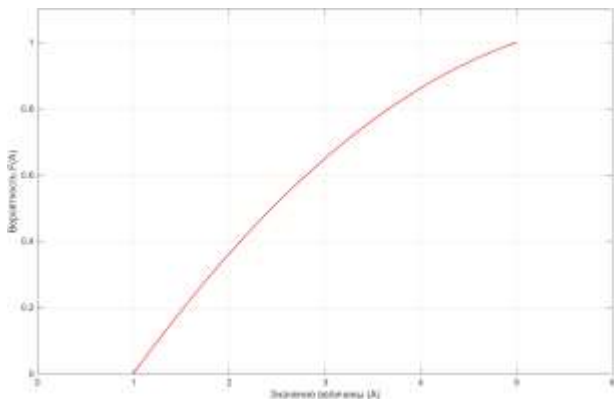


Рис. 5. График зеркальной функции распределения

Математическим ожиданием случайной величины, в механической интерпретации – это абсцисса центра тяжести в случае, когда масса распределена по оси абсцисс с плотностью  $\omega(A)$ . Исходя из этой формулировки, математическое ожидание на рисунке 1 будет располагаться немного левее центра, на рисунке 2 по центру и на рисунке 3 – правее центра.

Так как на нашем участке (Рис. 1) функция является непрерывной, то математическое ожидание описывается следующим выражением [2]:

$$M[A] = \int_a^b A * \omega(A) dA \quad (5)$$

Осуществив подстановку в формулу (5) и решив интеграл, с учетом, что площадь трапеции есть полу сумма оснований на высоту и равняется единице, т.к. мы работаем с вероятностью, получим:

$$M[A] = a + (b - a) \frac{\gamma_1 + 2\gamma_2}{3(\gamma_1 + \gamma_2)} \quad (6)$$

Дисперсия случайной величины – это характеристика рассеивания (или разбросанности) значения случайной величины около ее математического ожидания. В

нашем случае она определяется с помощью выражения:

$$D[A] = M[A^2] - (M[A])^2 \quad (7)$$

где  $M[A^2] = \alpha_2$  есть второй начальный момент (сама дисперсия, при этом, является вторым центральным моментом  $\mu_2$ ) [2].

Второй начальный момент определяется выражением:

$$M[x^2] = \int_0^x x^2 \left( \gamma_1 + \frac{\gamma_2 - \gamma_1}{b-a} x \right) dx \quad (8)$$

где  $x = A - a$

После решения (8), нахождения квадрата математического ожидания и решения (7), получим:

$$D[A] = (b - a)^2 \frac{\gamma_1^2 + 4\gamma_1\gamma_2 + \gamma_2^2}{18(\gamma_1 + \gamma_2)^2} \quad (9)$$

Если для выражения (8)  $\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma$ , то:

$$D[A] = \frac{(b-a)^2}{12} \quad (10)$$

Выражение (10) является табличной дисперсией непрерывного равномерного распределения.

Как следует из названия, коэффициент асимметрии характеризует асимметрию распределения. При положительном коэффициенте асимметрии склон квазиравномерного распределения будет, как на рисунке 1, при нулевом – как на рисунке 2, а при отрицательном – как на рисунке 3. Коэффициентом асимметрии называют третий центральный момент, который делят на куб среднего квадратического отклонения для получения безразмерной величины [2]:

$$As = \frac{\mu_3}{\sigma^3} \quad (11)$$

где  $\mu_3$  – третий центральный момент;  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение.

Среднее квадратическое отклонение, как и дисперсия, также характеризует разбросанность случайной величины относительно математического ожидания.

Размерность среднего квадратического отклонения совпадает с размерностью случайной величины, так как является квадратным корнем дисперсии:

$$\sigma = \sqrt{D[A]} \quad (12)$$

Благодаря свойствам среднего квадратического отклонения его удобно использовать в случаях, когда желательно, чтобы оценка рассеивания имела размерность случайной величины [2].

Центральный момент случайной величины характеризует то, насколько случайная величина отдалена от математического ожидания. Центральный момент порядка  $s$  случайной величины  $A$  есть математическое ожидание  $s$ -й степени соответственной центрированной случайной величины. Центрированная случайная величина и является отклонением случайной величины от математического ожидания [2]:

$$\mu_s = \int_a^b (A - M[A])^s * \omega(A) dA \quad (13)$$

где  $A - M[A]$  – центрированная случайная величина

Подставляя все необходимые выражения в (11) и решая его, получим формулу для нахождения коэффициента асимметрии квазиравномерного распределения:

$$A_S = \frac{2\sqrt{2}(\gamma_1 - \gamma_2)(\gamma_1^2 + 7\gamma_1\gamma_2 + \gamma_2^2)}{5(\gamma_1^2 + 4\gamma_1\gamma_2 + \gamma_2^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (14)$$

Если для выражения (14) представить  $\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma$ , то первая скобка сверху сразу станет нулем. Нулевой коэффициент асимметрии, в нашем случае, говорит о равномерном распределении (Рис. 2).

Коэффициент эксцесса характеризует плосковершинность распределения. Положительное значение коэффициента эксцесса говорит об островершинности распределения, а отрицательный – о плосковершинности относительно нормального

распределения (табличное значение эксцесса идеального нормального распределения является нулю). Для квазиравномерного и равномерного распределения эксцесс должен быть отрицательным, причем табличное значение идеального равномерного распределения  $Ex_{\text{равн}} = -1,2$ . Коэффициент эксцесса есть коэффициент куртозиса за вычетом трех. Отнимают именно три, т.к. коэффициент куртозиса для идеального нормального распределения равен трем [2]. Сам коэффициент куртозиса также говорит об остро-, плосковершинности распределения, но в математическом сообществе принято говорить именно о коэффициенте эксцесса. Табличная величина коэффициента куртозиса идеального равномерного распределения равна 9/5. Коэффициент куртозиса есть частное четвертого центрального момента на среднее квадратическое отклонение в четвертой степени. Тогда:

$$Ex = \frac{\mu_4}{\sigma^4} - 3 \quad (15)$$

где  $\frac{\mu_4}{\sigma^4}$  – коэффициент куртозиса.

Подставив все необходимые значения в (15), получим выражение для расчета коэффициента эксцесса квазиравномерного распределения:

$$Ex = -0,6 - \frac{21,6\gamma_1^2\gamma_2^2}{(\gamma_1^2 + 4\gamma_1\gamma_2 + \gamma_2^2)^2} \quad (16)$$

Если для выражения (16) представить  $\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma$ , то можно получить -1,2, что, как уже писалось, равняется табличному значению коэффициента эксцесса идеального равномерного распределения.

Построение гистограммы равномерного и квазиравномерного распределения

Для построения гистограмм распределения чаще всего используют обратное преобразование. Его суть состоит в поиске обратной функции [3]. Это значит, что нам

необходимо выразить случайную величину  $A$  из функции  $F(A)$ . Для этого вводят случайную величину  $R$ , которая принимает значения от 0 до 1. Так как сама функция распределения  $F(A)$  всегда принимает значение от 0 до 1, то случайную величину  $R$  приравнивают к  $F(A)$ , благодаря чему, после математического переноса случайной величины  $R$ , становится справедливым выражение:

$$\frac{(\gamma_2 - \gamma_1)(A - a)^2}{2(b - a)} + \gamma_1(A - a) - R = 0 \quad (17)$$

При анализе выражения (17), можно прийти к выводу, что оно является квадратным уравнением, после решения которого через дискриминант и переноса  $a$  можно выразить  $A$ :

$$A = a + \frac{-\gamma_1 \pm \sqrt{\gamma_1^2 + 2R\frac{\gamma_2 - \gamma_1}{b - a}}}{\frac{\gamma_2 - \gamma_1}{b - a}} \quad (18)$$

Для построения гистограммы случайных значений квазиравномерного закона распределения, строится график функции (4), на оси ординат которого откладывается сгенерированное число  $R$ , от которого проводится горизонтальная линия до пересечения с построенной кривой. От точки пересечения опускается перпендикуляр на ось случайных значений  $A$  (ось абсцисс). Это значение и есть значение сгенерированного числа  $A$  [3]. График функции (18) изображен на рисунке 6.

При построении гистограммы необходимо учитывать, что площадь фигуры под построенным графиком должна равняться единице, поскольку вероятность того, что на заданном интервале от  $a$  до  $b$  выпадет любое число, равняется единице. Иными словами:  $\int_a^b \omega(A) = 1$ .

Так как фигура, изображенная на рисунке 1 является трапецией, где ее основаниями являются боковые грани, а высотой

является расстояние  $b - a$ , то площадь этой фигуры будет определяться выражением:

$$S_{\text{кваз}} = \frac{\gamma_1 + \gamma_2}{2} * (b - a) = 1 \quad (19)$$

где  $S$  – площадь.

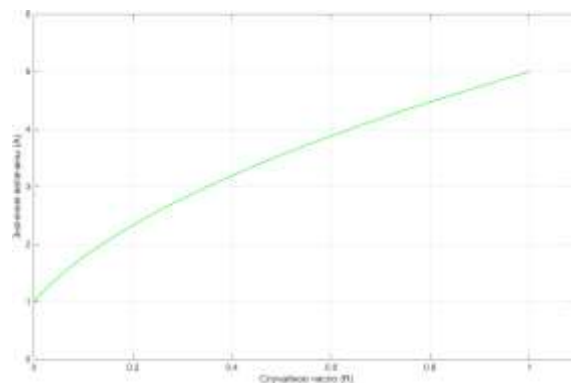


Рис. 6. График обратной функции квазиравномерного распределения

Гистограмма, реализующая данное условие, изображена на рисунке 7, где  $\gamma_1 = 0,4$ ,  $\gamma_2 = 0,1$ ,  $a = 1$ ,  $b = 5$ . Количество случайных чисел  $N = 100000$ .

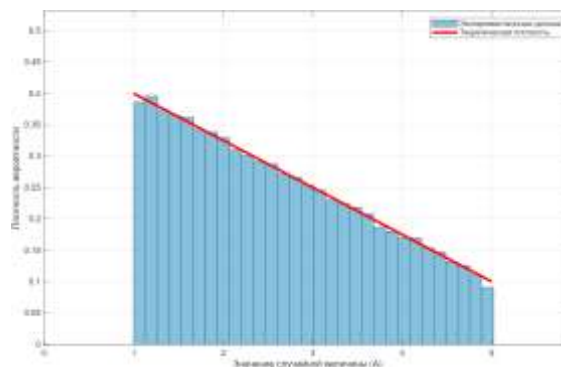


Рис. 7. Гистограмма случайных чисел квазиравномерного распределения

Используя выражения (6), (9), (14) и (18) можно посчитать значения математического ожидания, дисперсии и коэффициентов асимметрии и эксцесса, однако, поскольку в данном случае используется большой ряд чисел, эти коэффициенты считаются для каждых двух стоящих рядом чисел, после чего считается их среднее арифметическое. Поскольку чисел много,

пользуются программными средствами для расчета коэффициентов. Для гистограммы, изображенной на рисунке 7, эти коэффициенты равны:  $M = 2,5995$ ;  $D = 1,1744$ ;  $As = 0,40558$ ;  $Ek = -0,91657$ .

Видно, что асимметрия близка к нулю, а эксцесс близок к  $-1,2$ , соответствующим идеальному равномерному распределению. Теоретические значения искомым параметров квазиравномерного распределения, согласно данным рисунка 7:  $M = 2,6$ ;  $D \approx 1,173$ ;  $As \approx 0,403$ ;  $Ek \approx -0,917$ . Видно, полученные результаты близки к теоретическим.

Чтобы построить гистограмму случайных чисел равномерного распределения достаточно приравнять  $\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma = 0,25$ , с учетом условия (19). Остальные параметры не изменяются. Изображение данной гистограммы представлено на рисунке 8.

Из рисунка 8 видно, что значения случайной величины стремятся к идеальным (красная линия). Значения параметров –  $M = 3,0008$ ;  $D = 1,3315$ ;  $As = 0,0020135$ ;  $Ek = -1,1959$  – также очень близки к значениям идеального распределения.

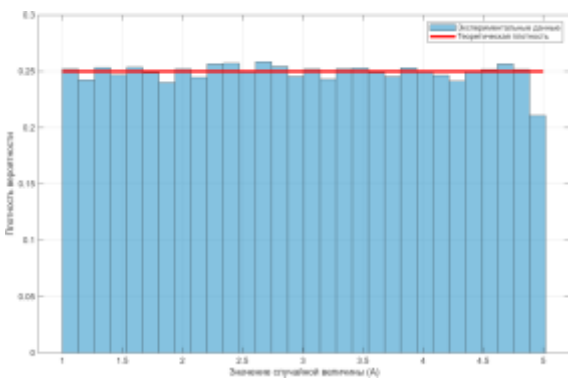


Рис. 8. Гистограмма случайных чисел равномерного распределения.  $N = 100$  тыс.

Если уменьшить количество опытов  $N$  до 10 тыс. (Рис. 9), то будет заметно сильное отличие от идеального равномерного

распределения. Значения параметров –  $M=2,997$ ;  $D=1,3216$ ;  $As=0,004792$ ;  $Ek=-1,1867$  – также начинают заметно отличаться от идеальных.

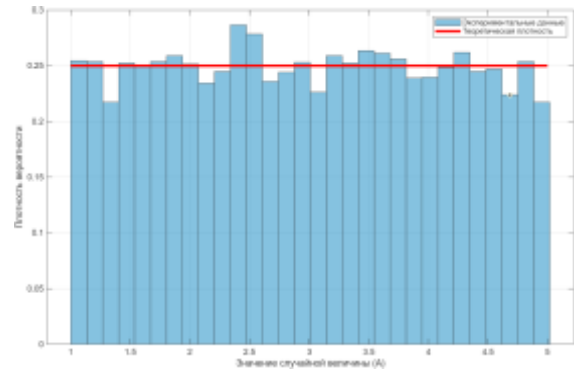


Рис. 9. Гистограмма случайных чисел равномерного распределения.  $N = 10$  тыс.

При уменьшении количества опытов  $N$  до 1 тыс. (Рис. 10) становится заметным еще большее отличие от идеала. Значения параметров:  $M = 2,9996$ ;  $D = 1,3388$ ;  $As = 0,022415$ ;  $Ek = -1,1901$ .

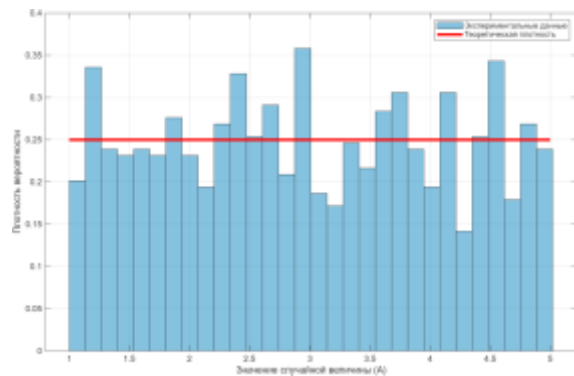


Рис. 10. Гистограмма случайных чисел равномерного распределения.  $N = 1$  тыс.

Таким образом, точность проведенного опыта зависит от количества случайных чисел. Это справедливо и для квазиравномерного, и для любого другого, распределения.

В таблице 1 приведены результаты опытов и проведен анализ отличия среднего арифметического каждого параметра от идеальных параметров квазиравномерного распределения, исходя из данных

рисунка 7, при  $N = 1000$ . Теоретические значения параметров рассчитаны выше.

значения параметров рассчитаны выше.

Таблица 1 Анализ результатов

№ Опыта	$M$	$D$	$A_s$	$E_k$
1	2,5633	1,1397	0,44343	-0,87842
2	2,5612	1,1593	0,47714	-0,84258
3	2,5612	1,1267	0,53615	-0,73578
4	2,67	1,1587	0,33771	-0,94836
5	2,5818	1,1424	0,40839	-0,91993
СКО	2,57875	1,145	0,441	-0,865
Погрешность, %	0,817	2,387	9,471	5,671

Таким образом, были найдены плотность вероятности и функция квазиравномерного распределения, разработан генератор случайных квазиравномерных чисел, был проведен теоретический расчет моментов и определены критерии качества равномерного и квазиравномерного распределений, а также проведены экспериментальные исследования, результаты которых внесены в таблицу 1.

### Библиографический список

1. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей

и математическая статистика: учеб. пособие для вузов / В. Е. Гмурман. — 7-е изд., стер. — Москва: Высшая школа, 1999. — 479 с.

2. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей: учеб. для вузов / Е. С. Вентцель. — 10-е изд., стер. — Москва: Высшая школа, 2006. — 575 с.

3. Кельтон, В. Имитационное моделирование. Классика CS / В. Кельтон, А. Лоу. — 3-е изд. — Санкт-Петербург: Питер; Киев: Издательская группа BHV, 2004. — 847 с.

### Информация об авторах

**Акимов Валерий Иванович** – к. т. н., доцент кафедры «Систем управления и информационных технологий в строительстве». Воронежский государственный технический университет (394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20 лет Октября, 84), e-mail: vakimov@cchgeo.ru

**Полуказиков Алексей Викторович** – к. т. н., доцент кафедры «Систем управления и информационных технологий в строительстве». Воронежский государственный технический университет (394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20 лет Октября, 84), e-mail: pav\_75@mail.ru

**Ряска Иван Анатольевич** – студент бакалавриата направления «Автоматизация технологических процессов и производств», Воронежский государственный технический университет (394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20 лет Октября, 84), e-mail: i@ivan-riaska.ru

### Information about the author

**Akimov Valery Ivanovich** – PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Management Systems and Information Technologies in Construction. Voronezh State Technical University (84, 20 Let Oktyabrya Street, Voronezh, 394006, Russia), e-mail: vakimov@cchgeo.ru

**Polukazikov Alexey Viktorovich** – PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Management Systems and Information Technologies in Construction. Voronezh State Technical University (84, 20 Let Oktyabrya Street, Voronezh, 394006, Russia), e-mail: pav\_75@mail.ru

**Ivan Anatolyevich Ryaska** – bachelor's degree student in Automation of Technological Processes and Production, Voronezh State Technical University (84, 20 let Oktyabrya str., Voronezh, 394006, Russia), e-mail: i@ivan-riaska.ru

УДК 621.391.63

## ПРИМЕНЕНИЕ КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ КАНАЛОВ В ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМАХ

А.И. Габдрахманов<sup>1</sup>, В.Д. Сандаков<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный энергетический университет»*

**Аннотация:** В статье рассматриваются возможности применения квантового распределения ключей для защиты телекоммуникационных каналов современных информационно-управляющих систем. Анализируются основные преимущества квантовых методов перед классическими криптосистемами.

**Ключевые слова:** квантовая криптография, распределение ключей, телекоммуникационные каналы, информационно-управляющие системы, протокол BB84, защита информации.

## APPLICATION OF QUANTUM KEY DISTRIBUTION FOR PROTECTION OF TELECOMMUNICATION CHANNELS IN INFORMATION AND CONTROL SYSTEMS

**А.И. Габдрахманов<sup>1</sup>, В.Д. Сандаков A.I. Gabdrahmanov<sup>1</sup>, V.D. Sandakov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kazan State Power Engineering University"*

**Abstract:** The article considers the possibilities of using quantum key distribution to protect telecommunication channels of modern information and control systems. The main advantages of quantum methods over classical cryptosystems are analyzed.

**Keywords:** quantum cryptography, key distribution, telecommunication channels, information and control systems, BB84 protocol, information protection.

Современные информационно-управляющие системы (ИУС) предъявляют повышенные требования к защите телекоммуникационных каналов, по которым передаются команды управления и критически важные данные. Традиционные криптографические методы, основанные на вычислительной сложности факторизации больших чисел или дискретного логарифмирования, становятся уязвимыми с развитием квантовых вычислений [1].

Алгоритм Шора позволяет за полиномиальное время решать задачи, лежащие в основе широко распространенных криптосистем RSA и ECC. В связи с этим возникает необходимость перехода к квантовоустойчивым или квантовым методам защиты [2].

Целью данной работы является анализ применения протоколов квантового распределения ключей (КРК) для защиты телекоммуникационных каналов ИУС и оценка их практической применимости.

Прежде чем переходить к рассмотрению квантовых методов защиты, необходимо проанализировать основные угрозы, которым подвержены телекоммуникационные каналы современных информационно-управляющих систем. Традиционно выделяют три класса угроз: перехват (нарушение конфиденциальности), модификация (нарушение целостности) и навязывание ложных сообщений (нарушение доступности и достоверности). В контексте ИУС наиболее опасной является угроза навязывания ложных команд управления, которая может привести к нештатным режимам работы технологического оборудования. Злоумышленник, получивший доступ к каналу связи, может передать команду на открытие запорной арматуры, отключение электропитания или изменение параметров технологического процесса. Последствия таких действий варьируются от экономического ущерба до техногенных катастроф.

Существующие средства

криптографической защиты (VPN, IPsec, TLS) эффективны против большинства атак, но уязвимы перед двумя категориями угроз. Первая категория – атаки с использованием квантового компьютера на асимметричные криптоалгоритмы, обеспечивающие аутентификацию и обмен ключами. Вторая категория – атаки типа «запись-и-воспроизведение», при которых злоумышленник записывает зашифрованный трафик в надежде расшифровать его в будущем, когда появятся более мощные вычислительные средства. Именно для защиты от этих угроз и предлагается использование квантового распределения ключей [3].

Квантовое распределение ключей основано на фундаментальных принципах квантовой механики, в частности на принципе неопределенности Гейзенберга и теореме о невозможности клонирования неизвестного квантового состояния. Эти принципы гарантируют, что любая попытка перехвата или измерения квантового состояния неизбежно внесет в него необратимые изменения, которые могут быть обнаружены легитимными участниками сеанса связи [4].

Наиболее распространенным протоколом КРК является протокол BB84, предложенный Беннетом и Brassаром в 1984 году. В этом протоколе отправитель (Алиса) кодирует биты информации в квантовые состояния фотонов, используя два сопряженных базиса: прямолинейный (вертикальная и горизонтальная поляризация) и диагональный (поляризация под углами 45 и 135 градусов). Получатель (Боб) случайным образом выбирает базис для измерения каждого принятого фотона. После передачи всех фотонов Алиса и Боб по открытому классическому каналу сообщают друг другу, какие базисы они использовали, и

сохраняют только те биты, для которых базисы совпали. Оставшаяся последовательность и составляет сырой ключ. Для обнаружения перехватчика Алиса и Боб публично сравнивают случайную подвыборку битов ключа. Если уровень ошибок превышает пороговое значение, сеанс связи считается скомпрометированным, и генерация ключа повторяется [3].

Помимо протокола BB84, в настоящее время разработано и экспериментально реализовано несколько альтернативных протоколов квантового распределения ключей. Протокол B92 является упрощенной версией BB84 и использует только два неортогональных квантовых состояния вместо четырех. Это снижает сложность технической реализации, но уменьшает скорость генерации ключа и устойчивость к шумам. Протокол E91, основанный на запутанных состояниях Эйнштейна-Подольского-Розена, обеспечивает более высокий уровень безопасности, однако требует создания и поддержания запутанности между удаленными фотонами, что существенно усложняет практическую реализацию. Протоколы с непрерывными переменными используют не дискретные состояния одиночных фотонов, а амплитудные и фазовые квадратуры когерентных состояний света. Они совместимы со стандартным телекоммуникационным оборудованием, но показывают более низкую скорость распределения ключей на больших расстояниях [4].

Основным ограничением всех протоколов КРК является затухание сигнала в оптическом волокне, что ограничивает дальность связи. Для стандартного одномодового волокна на длине волны 1550 нм максимальная дальность без использования доверенных промежуточных узлов не превышает 100-150 км. Для преодоления этого

ограничения разрабатываются квантовые повторители, однако они находятся на ранней стадии экспериментальных исследований.

Информационно-управляющие системы имеют ряд особенностей, влияющих на применимость квантового распределения ключей.

Во-первых, многие ИУС функционируют в реальном времени, что требует высокой скорости генерации ключей. Современные коммерческие системы КРК обеспечивают скорость от нескольких килобит до нескольких сотен килобит в секунду, что достаточно для периодической смены ключей шифрования симметричных алгоритмов, но недостаточно для шифрования каждого пакета данных отдельным ключом.

Во-вторых, ИУС часто работают в агрессивных промышленных средах с повышенным уровнем вибраций, температурных колебаний и электромагнитных помех, что негативно сказывается на стабильности квантовых систем.

В-третьих, удаленность узлов ИУС друг от друга может превышать предельную дальность КРК без доверенных повторителей [5].

Для практической реализации квантового распределения ключей необходим комплекс оборудования, который можно разделить на три основные группы: источники квантовых состояний, канал передачи и детектирующие устройства. Источником квантовых состояний в большинстве систем служит ослабленный лазерный импульс. Лазер генерирует мощный оптический импульс, который затем ослабляется с помощью нейтральных светофильтров до уровня, при котором среднее число фотонов на импульс составляет 0,1-0,5. Это необходимо для того, чтобы большинство

импульсов содержали ровно один фотон, хотя определенная доля импульсов будет пустыми или содержать два и более фотонов. Наличие многофотонных импульсов создает уязвимость для атаки с разделением числа фотонов, при которой злоумышленник выделяет один фотон из импульса и измеряет его, не нарушая состояние остальных фотонов, направляемых легитимному получателю.

Для защиты от этой атаки используются протоколы с декорированными состояниями или источники одиночных фотонов на основе квантовых точек, которые находятся в стадии активной разработки. Модуляция квантовых состояний выполняется с помощью электрооптических или акустооптических модуляторов, изменяющих поляризацию или фазу фотона в соответствии с передаваемым битом и выбранным базисом. Скорость модуляции в современных системах достигает 1-10 ГГц, что позволяет генерировать ключи с частотой до нескольких мегабит в секунду на коротких расстояниях. Канал передачи представляет собой стандартное одномодовое оптическое волокно с затуханием не более 0,2 дБ/км. Для минимизации поляризационной дисперсии и температурных дрейфов поляризации используются волокна с сохранением поляризации или активные системы компенсации. Детектирование одиночных фотонов является наиболее сложной технической задачей. Традиционно используются лавинные фотодиоды, работающие в режиме счета фотонов. Однако они имеют ограниченную эффективность (20-40%), высокий уровень темнового счета (ложные срабатывания) и время восстановления, ограничивающее скорость счета. Более перспективными являются сверхпроводниковые нанопроволочные детекторы, обеспечивающие

эффективность до 95%, практически нулевой темновой счет и время восстановления менее 1 наносекунды. Основным недостатком таких детекторов является необходимость глубокого охлаждения до температур 1-4 Кельвина, что усложняет их промышленное применение.

Несмотря на указанные ограничения, существуют сценарии, в которых применение КРК в ИУС является оправданным. К таким сценариям относятся: управление распределенными энергосетями (smart grid), диспетчерское управление магистральными трубопроводами, системы управления атомными электростанциями и другими критически важными объектами, где компрометация каналов управления может привести к катастрофическим последствиям. В этих сценариях даже относительно невысокая скорость генерации ключей достаточна для обеспечения безопасного обмена симметричными ключами шифрования для последующей защиты трафика.

Квантовое распределение ключей обеспечивает информационно-теоретическую стойкость, то есть стойкость, не зависящую от вычислительных возможностей противника. Это принципиальное отличие от классических криптосистем, стойкость которых основана на вычислительной сложности и может быть сломлена при появлении достаточно мощного квантового компьютера. В протоколе BB84 при уровне квантовых битовых ошибок менее 11% гарантируется возможность формирования секретного ключа, недоступного для любого перехватчика, даже обладающего неограниченными вычислительными ресурсами [6].

Перспективы развития КРК для ИУС связаны с тремя основными

направлениями.

Первое направление – интеграция квантовых систем распределения ключей с существующей телекоммуникационной инфраструктурой на основе технологии уплотнения с разделением по длине волны. Это позволяет передавать квантовые и классические сигналы по одному оптическому волокну.

Второе направление – разработка компактных и недорогих интегрированных квантовых чипов на основе кремниевой фотоники, что снизит стоимость и повысит надежность систем КРК.

Третье направление – создание гибридных криптосистем, в которых квантовое распределение используется для периодической смены долговременных ключей, а оперативное шифрование данных выполняется высокоскоростными симметричными алгоритмами, устойчивыми к квантовым атакам.

Таким образом, внедрение КРК в настоящее время экономически оправдано только для объектов критической инфраструктуры, где цена отказа от защиты сопоставима со стоимостью самой системы. К дополнительным затратам относятся прокладка выделенного оптического волокна (если не используется спектральное уплотнение), организация системы охлаждения для сверхпроводниковых детекторов, обучение персонала и сертификация системы по требованиям регуляторов. В России сертификация средств криптографической защиты информации является обязательной для использования в государственных информационных системах и на объектах критической информационной инфраструктуры. На данный момент сертифицированных систем КРК российского производства единицы, что также ограничивает их

применение. Однако с развитием технологии и появлением интегральных квантовых чипов ожидается снижение стоимости в 5-10 раз в ближайшие 5-7 лет, что сделает КРК доступным для широкого круга корпоративных пользователей.

Показано, что классические криптосистемы, широко используемые в современных ИУС, становятся уязвимыми перед угрозой появления квантового компьютера, способного реализовать алгоритм Шора. Квантовое распределение ключей, напротив, обеспечивает информационно-теоретическую стойкость, не зависящую от вычислительных ресурсов противника, что делает его единственным на сегодняшний день методом, гарантирующим долговременную защиту передаваемой информации.

В работе проведен анализ применения протоколов квантового распределения ключей для защиты телекоммуникационных каналов информационно-управляющих систем. Показано, что КРК обеспечивает информационно-теоретическую стойкость, недостижимую для классических криптосистем. Выявлены основные ограничения: затухание сигнала в оптическом волокне, ограничивающее дальность связи до 150 км, и относительно невысокая скорость генерации ключей. Определены сценарии применения КРК в ИУС, наиболее критичных к безопасности управления. Дальнейшие исследования планируется направить на экспериментальную апробацию гибридных схем квантово-классической криптографической защиты на действующем стенде телекоммуникационного

оборудования.

### Библиографический список

1. Информационная безопасность телекоммуникационных систем: учебное пособие / В. П. Часовских, Г. А. Акчурина, В. Г. Лабунец [и др.]. — Екатеринбург: УрГЭУ, 2023. — 143 с.
2. Филиппов, Ф. В. Квантовые вычисления: учебное пособие / Ф. В. Филиппов. — Санкт-Петербург: СПбГУТ им. М.А. Бонч-Бруевича, 2024. — 83 с.
3. Баланов, А. Н. Защита информационных систем. Кибербезопасность: учебное пособие для вузов / А. Н. Баланов. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2026. — 280 с.
4. Бодунов, Е. Н. Интенсивный курс физики: волновая оптика, элементы квантовой механики, атомной и ядерной физики: учебное пособие / Е. Н. Бодунов, В. И. Никитченко, А. М. Петухов. — Санкт-Петербург: ПГУПС, 2015. — 99 с.
5. Оптимизация моделей объектов информационно-измерительных и управляющих систем мобильных роботов / А. В. Полтавский, А. V. Poltavsky, А. В. Григорьев [и др.] // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. — 2023. — № 2 (44). — С. 28-38.
6. Принципы квантовой криптографии. Часть 1. Протокол BB84: учебно-методическое пособие / составители Н. В. Пчелкина, Ж. Рабенандрасана. — Москва: МТУСИ, 2024 – Часть 1: Протокол BB84 — 2024. – 58 с.

#### Информация об авторах

**Габдрахманов Айзат Ильдусович** – студент, Казанский государственный энергетический университет (420066, Россия, г. Казань, ул. Красносельская, 51), e-mail: gabdrahmanov2005@bk.ru, тел.: 8-987-227-0176

**Сандаков Виталий Дмитриевич** – кандидат технических наук,

#### Information about the author

**Aizat I. Gabdrahmanov** – student, Kazan State Power Engineering University (51 Krasnoselskaya str., Kazan, 420066, Russia), e-mail: gabdrahmanov2005@bk.ru, ph.: 8-987-227-0176

**Vitaly D. Sandakov** – candidate of technical Sciences, associate Professor of the Department of Information Systems, Kazan State Power

доцент кафедры информационных систем, Казанский государственный энергетический университет (420066, Россия, г. Казань, ул. Красносельская, 51), e-mail: vitalysandakov@gmail.com

Engineering University (51 Krasnoselskaya str., Kazan, 420066, Russia), e-mail: vitalysandakov@gmail.com

УДК 621.791.03

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПОДАЧИ ЗАЩИТНОГО ГАЗА ДЛЯ СВАРКИ В РОБОТИЗИРОВАННОМ КОМПЛЕКСЕ

И.А. Белых<sup>1</sup>, С.И. Поляков<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Воронежский государственный технический университет

<sup>2</sup> Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова

**Аннотация:** Статья посвящена автоматизации процесса подачи защитного газа для сварки в роботизированных комплексах и управлению процессом подачи с помощью SCADA. Рассмотрены особенности технологического процесса роботизированной сварки, выявлены основные параметры для контроля и регулирования. Предложена схема автоматизации процесса и разработана модель SCADA-системы для управления технологическим процессом на базе MasterSCADA4D

**Ключевые слова:** автоматизация, роботизированная сварка, защитный газ, SCADA, MasterSCADA4D, расход газа

## AUTOMATION OF THE PROTECTIVE GAS SUPPLY PROCESS FOR WELDING IN A ROBOTIZED COMPLEX

I.A. Belykh<sup>1</sup>, S.I. Polyakov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Voronezh State Technical University

<sup>2</sup> Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

**Abstract:** The article is devoted to the automation of shielding gas supply for welding in robotic systems and its control using SCADA. The features of the robotic welding process are examined, and the key parameters for monitoring and control are identified. A process automation scheme is proposed, and model of a SCADA system for process control based on MasterSCADA4D is developed

**Keywords:** automation, robotic welding, shielding gas, SCADA, MasterSCADA4D, gas consumption

В настоящее время в современном сварочном производстве огромное внимание уделяется автоматизации управления производственными процессами. Во многих сферах промышленности в последние десятилетия широко используются автоматические системы управления, на некоторых предприятиях в последнее время используются роботизированные комплексы для выполнения производственных задач. Так, например, в сварочном производстве активно внедряется роботизированная сварка.

Роботизированная сварка обеспечивает высокую производительность и способствует стабилизации качества выпускаемой продукции. При данном типе сварки, как известно, применяется защитный газ. От его расхода напрямую зависит качество шва, который выполняет робот. Газ формирует защитную среду и предотвращает окисление металла в зоне сварки.

В большинстве существующих систем роботизированной сварки подача защитного газа осуществляется с помощью редукторов, а контроль за расходом газа

визуально выполняет оператор. В таком подходе есть существенные недостатки, начиная от ошибок оператора и низкой точности поддержания расхода газа, заканчивая отсутствием интеграции в систему управления самим роботизированным комплексом.

Для устранения указанных недостатков, как раз и применяется автоматизированный процесс подачи защитного газа [1].

Именно поэтому в настоящее время в сварочную отрасль активно внедряется автоматизация. Это позволит повысить качество сварки и уменьшить операционные затраты.

Процесс подачи защитного газа в роботизированных комплексах происходит циклически. Его можно разделить на несколько этапов:

1. Робот перемещается в начальную точку сварочного шва. В данный момент сварочная горелка робота-манипулятора находится в верхнем положении, подача газа не осуществляется, газ не подается в зону сварки. В данный момент система находится в ожидании сигнала на начало цикла. После получения данного сигнала, система входит в состояние предпродувки – газ заполняет зону сварки и вытесняет воздух из рабочей поверхности.

2. Далее, после начала сварки расход газа переходит на рабочее значение. В процессе сварки система поддерживает заданное значение непрерывно.

3. На завершающем этапе сварки в первую очередь отключается сварочный ток, а далее, после постпродувки, закрывается газовый клапан.

Автоматизация данного технологического процесса направлена на устранение недостатков уже существующих систем с механическим регулированием подачи

газа. При изучении существующих систем регулирования можно выделить следующие основные недостатки:

4. Колебание давления в магистрали является причиной нестабильного расхода газа;

5. Отсутствие интеграции с системой управления роботом;

6. Низкая точность регулирования расхода газа;

7. Человеческий фактор при настройке или отладке системы.

Для построения системы автоматического регулирования в виде контура управления необходимо определить параметры, которые будут влиять на технологический процесс. К ним относятся следующие параметры:

Регулируемые – расход и давление газа. Расход является основной регулируемой величиной.

Контролируемые – давление газа после редуктора, фактический расход газа. Данные параметры измеряются системой для мониторинга процесса.

Возмущающие – колебания давления в газовой магистрали, изменение температуры окружающей среды, возможное изменение состава газа из-за влажности или примесей. Эти параметры способствуют отклонению процесса от заданного режима.

Для данного технологического процесса разработана структурная схема автоматического регулирования (рис. 1). Схема включает в себя задающее устройство, исполнительный механизм, элемент сравнения, регулятор, регулируемый орган, датчик и сам объект управления [2].

Далее необходимо было разработать функциональную схему автоматизации, представленную на рис. 2.

Для практической реализации схемы

автоматизации было использовано следующее оборудование (табл. 1).

Верхний уровень автоматизации выполнен в среде MasterSCADA4D.

Интерфейс оператора и мнемосхема процесса представлены на рис. 3 и рис. 4 в активном и неактивном состояниях соответственно.

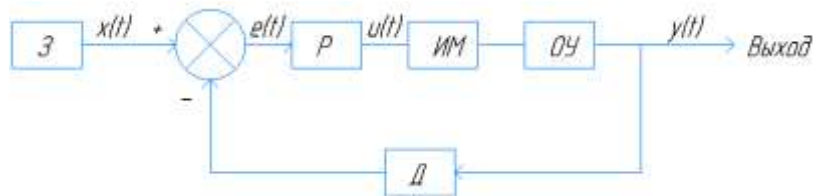


Рис. 1. Структурная схема АСР

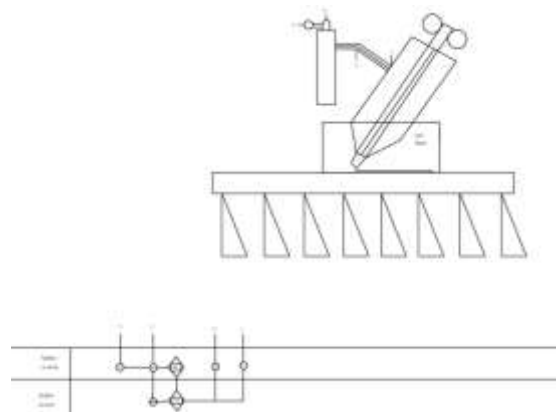


Рис. 2. Схема автоматизации

Таблица 1 Оборудование для автоматизации

Название	Назначение
ПД100(датчик давления)	Измерение избыточного давления
ПД100(расходомер)	Контроль расхода газа
Датчик утечки газа ПКГ100	Контроль утечек газа
TR24-SR (электромагнитный клапан)	Пропорциональное регулирование газа
ПР102-24.2416.16.2 (контроллер)	Управляющее устройство системы

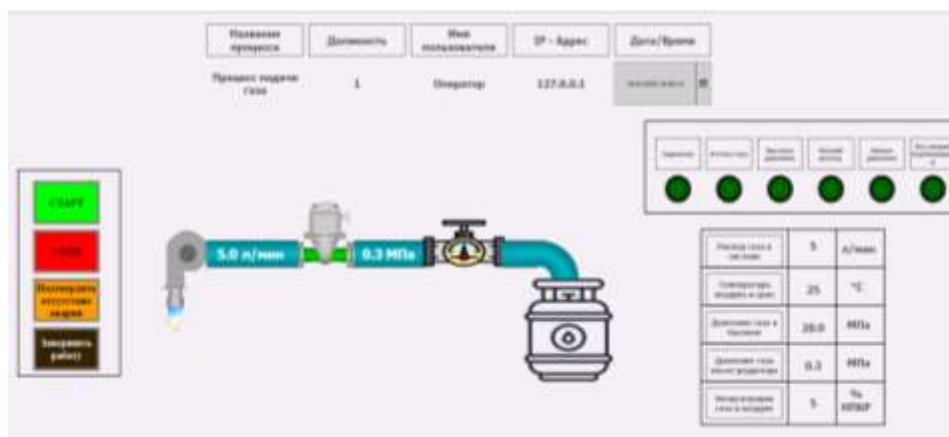


Рис. 3. Система в активном состоянии

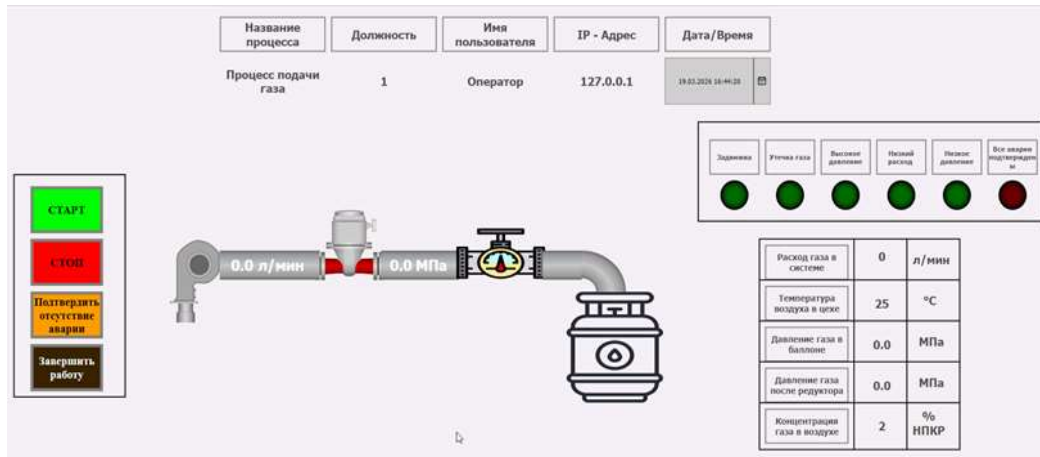


Рис. 4. Система в неактивном состоянии

Для системы управления на экране предусмотрены кнопки «Старт», «Стоп», «Подтвердить отсутствие аварии» и «Завершить работу» в левой части. В правой части – сигнализирующие индикаторы, а также цифровые показатели параметров, которые поддерживает система [3].

Таблица 2 Поддерживаемые параметры

Параметр	Величина	Размерность
Расход газа	5	л/мин
Температура воздуха в цеху	25	Градус Цельсия
Давление газа в баллоне	20	МПа
Давление газа после редуктора	0.3	МПа
Концентрация газа в воздухе	5	%

Таблица 3 Стоимость оборудования для реализации

Наименование	Кол-во	Цена
ПД100	3	16470 тыс. руб.
ПКГ100	1	47092 тыс. руб.
ПР102-24.2416.16.2	1	16036 тыс. руб.
TR24-SR	1	7000 тыс. руб.
	Итого	86598 тыс. руб.

По итогам работы была разработана система автоматизации подачи защитного газа для сварки в роботизированных комплексах. Проведен анализ существующих

Данная система поддерживает заданные в табл. 2 параметры.

Выполнен расчет стоимости реализации предлагаемой системы управления в соответствии с табл. 3. Итоговая стоимость реализации составила 86598 тыс. руб.

систем управления для выявления общих недостатков и перспектив автоматизации в области роботизированной сварки. В будущем система управления может

использоваться на предприятиях, а также может быть модернизирована в соответствии с нуждами конкретных производств.

### Библиографический список

1. Батоврин В.К., Яцун А.С. Автоматизация сварочных процессов в машиностроении. – М.: Машиностроение, 2007. – 368 с.
2. ОВЕН. Приборы и средства

### Информация об авторах

**Белых Илья Александрович** - студент группы БАТП-221 факультета информационных технологий и компьютерной безопасности, Воронежский государственный технический университет (394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20 лет Октября, 84), e-mail: belykh.ilya1337@gmail.com

**Поляков Сергей Иванович** – кандидат технических наук, доцент, Воронежский государственный университет лесотехнический университет (394087, Россия, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8), e-mail: poliakov1960@mail.ru

автоматизации: каталог продукции 2025 / Компания «ОВЕН». – М., 2025. – 312 с.

3. Справочная система MasterSCADA 4D: web-версия / ООО «МПС софт». – Версия 1.3.4 и выше. – Москва, 2026. – URL: <https://support.mps-soft.ru/Help-web/hmcontent.html> (дата обращения: 07.04.2026). – Текст: электронный.

### Information about the author

**Ilya A. Belykh** – student of group bATP-221, Faculty of Information Technologies and Computer Security, Voronezh State Technical University (84, 20 let Oktyabrya str., Voronezh, 394006, Russia), e-mail: belykh.ilya1337@gmail.com

**Sergey I. Polyakov** – candidate of technical sciences, associate professor, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov (8, Timiryazeva str., Voronezh, 394087, Russia), e-mail: poliakov1960@mail.ru