



ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИНЖИНИРИНГ

Сборник материалов
IV Международной молодежной
научно-практической конференции
г. Белгород, 17 апреля 2026 г.



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

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИНЖИНИРИНГ

Сборник материалов
IV Международной молодежной
научно-практической конференции
г. Белгород, 17 апреля 2026 г.



Белгород 2026

УДК 004
ББК 32.81
И 74

Рецензенты:

Т.А. Дуюн, доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Технология машиностроения»
ФГБОУ ВО «БГТУ им. В.Г. Шухова»;

И.Н. Беляева, кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры математики НИУ «БелГУ»

И 74 Информационные технологии и инжиниринг: сборник материалов IV Международной молодежной научно-практической конференции, г. Белгород, 17 апреля 2026 г. / под ред. О.А. Иващук. – Белгород: ЦПП НИУ «БелГУ», 2026. – 528 с. – URL : <http://dspace.bsuedu.ru/handle/123456789/66728> – Текст: электронный.

ISBN 978-5-9571-4079-5

В сборнике освещаются актуальные теоретические и практические проблемы развития информационных технологий в различных сферах деятельности. Представлены результаты исследований и разработок, реализуемых в российских и зарубежных университетах аспирантами и студентами. Электронная версия сборника находится в свободном доступе на сайте научной электронной библиотеки (НЭБ): www.elibrary.ru

Статьи публикуются в авторской редакции. Авторы несут ответственность за содержание статей, за достоверность приведенных в статье фактов, цитат, статистических и иных данных, имен, названий и прочих сведений, а также за соблюдение законов об интеллектуальной собственности.

Минимальные системные требования
Yandex (20.12.1) или Google Chrome (87.0.4280.141) и т. п.
скорость подключения – не менее 5 Мб/с, Adobe Reader и т. п.

УДК 004
ББК 32.81

ISBN 978-5-9571-4079-5

Программный комитет

**Жихарев
Александр
Геннадьевич**

доктор технических наук, доцент, директор Института
инженерных и цифровых технологий НИУ «БелГУ»,
председатель

**Иващук
Ольга
Александровна**

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой
информационных и робототехнических систем Института
инженерных и цифровых технологий НИУ «БелГУ», заместитель
председателя

**Афонин
Андрей
Николаевич**

доктор технических наук, доцент, профессор кафедры
информационных и робототехнических систем Института
инженерных и цифровых технологий НИУ «БелГУ»

**Балабанова
Татьяна
Николаевна**

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой
автоматизированных систем и технологий Института
инженерных и цифровых технологий НИУ «БелГУ»

**Заливин
Александр
Николаевич**

кандидат технических наук, доцент, и.о. заведующего кафедрой
математического и программного обеспечения информационных
систем Института инженерных и цифровых технологий
НИУ «БелГУ»

**Иващук
Олег
Орестович**

кандидат физико-математических наук, профессор кафедры
«Компьютерные науки» Каспийского государственного
университета технологий и инжиниринга имени Ш. Есенова

**Казиева
Гульнара
Данабаевна**

магистр технических наук, и.о. заведующего кафедрой
«Компьютерные науки» Каспийского государственного
университета технологий и инжиниринга имени Ш. Есенова

**Кенжебаева
Жанат
Елубаевна**

кандидат технических наук, и.о. ассоциированного профессора
кафедры «Компьютерные науки» Каспийского государственного
университета технологий и инжиниринга имени Ш. Есенова

**Коськин
Александр
Васильевич**

доктор технических наук, профессор, директор департамента
информатизации и перспективного развития
ОГУ им. И.С. Тургенева

**Кузичкин
Олег
Рудольфович**

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры
информационных и робототехнических систем Института
инженерных и цифровых технологий НИУ «БелГУ»

Лозовая Светлана Юрьевна	доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационных и робототехнических систем Института инженерных и цифровых технологий НИУ «БелГУ»
Ломакин Владимир Васильевич	кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий Института инженерных и цифровых технологий НИУ «БелГУ»
Маторин Сергей Игоревич	доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационных и робототехнических систем Института инженерных и цифровых технологий НИУ «БелГУ»
Олейник Иван Иванович	кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой информационно-телекоммуникационных систем и технологий Института инженерных и цифровых технологий НИУ «БелГУ»
Польщиков Константин Александрович	доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационных и робототехнических систем Института инженерных и цифровых технологий НИУ «БелГУ»
Потапова Елена Владимировна	доктор технических наук, доцент, профессор кафедры информационных и робототехнических систем Института инженерных и цифровых технологий НИУ «БелГУ»
Суржик Дмитрий Игоревич	доктор технических наук, профессор кафедры информационных и робототехнических систем Института инженерных и цифровых технологий НИУ «БелГУ»

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕРИАЛЫ ДОКЛАДОВ ПО ИТОГАМ ПЛЕНАРНОГО ЗАСЕДАНИЯ

Зиновьева М.А.

Математические инструменты выявления ранних симптомов болезни
Паркинсона на ЭЭГ 18

Zinoveva M.A.

Mathematical tools for detecting early symptoms of Parkinson's disease on the EEG 18

Ковтун В.Ю., Михайлов М.И.

Квантовая механика: от основ к квантовым компьютерам – преимущества,
инженерные барьеры 22

Kovtun V.Y., Mikhailov M.I.

Quantum mechanics: from fundamentals to quantum computers – advantages,
engineering barriers..... 22

Заева О.Г., Седов С.С., Кизилев О.М.

Универсальный учебный пульт для управления бортовыми системами 26

Zaeva O.G., Sedov S.S., Kizilov O.M.

Universal training control unit for controlling on-board systems..... 26

Усиков В.В., Кизилова Э.А.

Модернизация системы захвата металлических деталей 32

Usikov V.V., Kizilova E.A.

Modernization of the metal parts capture system 32

Заева О.Г., Сапронов М.В., Кизилев О.М.

Разработка сварочной головки для роботизированного комплекса 37

Zaeva O.G., Sapronov M.V., Kizilov O.M.

Development of a welding head for a robotic complex 37

Пузырев Н.С.

Проектирование архитектуры базы данных для автоматизированной
системы управления фармацевтическим снабжением 41

Puzyrev N.S.

Database design for an automated drug supply management system 41

Яловенко С.А., Пузырев Н.С., Зарудный Н.О.

Методы и алгоритмы адаптивного управления транспортным потоком 45

Yalovenko S.A., Puzyrev N.S., Zarudny N.O.

Adaptive traffic flow management methods and algorithms 45

СЕКЦИЯ 1

«ТЕОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»

Андрущенко Д.А., Маслова А.В.

Сравнительный анализ алгоритма Ridge-регрессии: пользовательская реализация и
библиотечная реализация Scikit-learn 51

Andrushchenko D.A., Maslova A.V.

Comparative analysis of Ridge regression algorithm: custom implementation and
Scikit-learn library implementation 51

Аскарлов И.К.	
Разработка интеллектуальной системы подбора туристических локаций на основе семантического анализа текстовых данных.....	58
Askarov I.K.	
Development of an intelligent system for tourist location selection based on semantic analysis of textual data.....	58
Аскарулы Р.	
Разработка веб-приложения для автоматизированного создания резюме на основе стека MERN с применением технологий искусственного интеллекта	62
Askaruly R.	
Development of a web application for automated resume generation based on MERN stack using artificial intelligence	62
Ахметжанов М.М., Подпругин А.И.	
Разработка информационной системы учета книг в специализированном магазине	66
Ahmetzhanov M.M., Podprugin A.I.	
Development of an information system for book accounting in a specialized store	66
Ахундов Д.А., Фефелов О.С.	
Инструменты искусственного интеллекта в сфере розничной торговли	70
Akhundov D.A., Fefelov O.S.	
Artificial intelligence tools in retail	70
Ачкасова А.А., Подпругин А.И.	
Разработка информационной системы для учёта клиентов аутсорсинговой компании.....	75
Achkasova A.A., Podprugin A.I.	
Development of an information system for accounting customers of an outsourcing company	75
Багрова А.В.	
Аксометрическая проекция в инженерной и компьютерной графике.....	80
Bagrova A.V.	
Axonometric projection in engineering and computer graphics	80
Батаев Д.С., Гончарова И.И., Масленникова Н.С.	
Интеллектуальный анализ финансовых привычек: разработка системы персонализированных рекомендаций	85
Bataev D.S., Goncharova I.I., Maslennikova N.S.	
Intelligent analysis of financial habits: development of a personalized recommendation system.....	85
Бацман А.А.	
Контекстно-ориентированная генерация кода с использованием языковых моделей.....	89
Batsman A.A.	
Context-aware code generation using large language models	89
Белозерова А.А., Подпругин А.И.	
Разработка информационной системы для ведения деятельности малого бизнеса	92
Belozerova A.A., Podprugina I.V.	
Development of an information system for conducting small business activities	92
Бучнев К.В., Семендяев Ю.А.	
Методы извлечения и структурирования знаний при проектировании интеллектуальной системы	97

Buchnev K.V., Semendyaev Y.A.	
Methods for extracting and structuring knowledge in the design of an intelligent system	97
Витохина Е.В., Гончарова И.И.	
Разработка информационной системы для поиска новых знакомств.....	100
Vitokhina E.V., Goncharova I.I.	
Development of an information system for finding new acquaintances.....	100
Галченко П.О., Гончарова И.И.	
Разработка информационной системы для таксопарка.....	107
Galchenko P.O., Goncharova I.I.	
Development of an information system for a taxi park	107
Голдобина Д.М.	
Роль искусственного интеллекта в оптимизации повышения эффективности здравоохранения	114
Goldobina D.M.	
The role of artificial intelligence in optimizing healthcare efficiency	114
Голоденко Д.Р.	
Функциональное моделирование деятельности аниматорского агентства.....	117
Golodenko D.R.	
Functional modeling of an animation agency's activities	117
Гольшева Е.Н.	
Разработка метода автоматической подготовки запросов для генерации изображений	122
Golysheva E.N.	
Development of a method for automatic query preparation for image generation	122
Доценко П.Е.	
Сравнительный анализ моделей Wav2Vec2 и Whisper в задаче распознавания речи.....	126
Dotsenko P.E.	
Comparative analysis of Wav2Vec2 and Whisper models in speech recognition task	126
Доценко Э.Е.	
Исследование нелинейных характеристик слуха человека	130
Dotsenko E.E.	
Investigation of the nonlinear characteristics of human hearing	130
Зорин Е.А., Дрижирук К.С.	
Сравнительный анализ алгоритмов машинного обучения для прогнозирования отказов в компьютерных сетях	134
Zorin E.A., Drizhiruk K.S.	
Comparative analysis of machine learning algorithms for predicting failures in computer networks.....	134
Иващук О.О.	
Сравнительный анализ производительности языков программирования и фреймворков для встраиваемых систем	137
Ivashchuk O.O.	
Comparative performance analysis of programming languages and frameworks for embedded systems.....	137
Исаев М.	
Разработка веб-приложения FluxCraft для генерации игровых пейзажей с использованием генеративных моделей искусственного интеллекта	144
Isaev M.	
Development of the FluxCraft web application for generating game landscapes using generative artificial intelligence models.....	144

Канищев Н.А. Анализ подходов к мониторингу ИТ-инфраструктуры и бизнес-процессов: проблемы и перспективы интеграции.....	147
Kanishchev N.A. Analysis of approaches to monitoring IT infrastructure and business processes: problems and future prospects	147
Канцибер Г.К. Ключевые метрики для измерения производительности ML-моделей	150
Kantsiber G.K. Key metrics for measuring the performance of ML-models.....	150
Капулер Д.Р. Эффективная реализация алгоритма интервального повторения на примере приложения для изучения казахского языка.....	157
Kapuler D.R. Effective implementation of a spaced repetition algorithm in a kazakh language learning application	157
Коваленко С.С., Ефанов А.Д. Анализ архитектуры промышленной сети для интеграции предиктивной аналитики.....	162
Kovalenko S.S., Efanov A.D. Industrial network architecture analysis for predictive analytics integration	162
Козлов А.В., Гончарова И.И., Масленникова Н.С. Интеграция IoT-данных о концентрации CO ₂ с геоинформационными системами для пространственного анализа лесных территорий.....	166
Kozlov A.V., Goncharova I.I., Maslennikova N.S. Integration of IoT data on CO ₂ concentration with geographic information systems for spatial analysis of forest areas	166
Козлов А.В., Гончарова И.И., Масленникова Н.С. Предварительная обработка данных на периферии в IoT-системах экологического мониторинга.....	172
Kozlov A.V., Goncharova I.I., Maslennikova N.S. Edge computing data preprocessing in IoT systems for ecological monitoring	172
Кухарь Д.К. Современные методы интеллектуального анализа данных для среднесрочного прогнозирования температуры	178
Kukhar D.K. Modern data mining methods for medium-term temperature forecasting	178
Лапшина В.В. Разработка информационной системы для записи на прием и учета оказанных услуг в ветеринарной клинике.....	184
Lapshina V.V. Development of an information system for appointment registration and recording of services provided at a veterinary clinic	184
Литвин В.В. Архитектура информационной системы оценки надежности контрагентов с иерархической моделью ролей на платформе ELMA365.....	189

Litvin V.V. Architecture of an information system for assessing the reliability of counterparties with a hierarchical role model on the ELMA365 platform.....	189
Лукьяновская Л.В., Решетов М.А., Рудич Д.О. Аддитивные технологии в биомедицине: обзор методов 3d–моделирования, нормативного регулирования и перспектив применения	193
Lukyanovskaya L.V., Reshetov M.A., Rudich D.O. Additive technologies in biomedicine: review of 3d modeling methods, regulatory framework, and application prospects	193
Лысых В.В. Анализ инвестиционных настроений в реальном времени: создание системы мониторинга на основе данных соцсети «Пульс»	198
Lysykh V.V. Real-time analysis of investment sentiment: development of a monitoring system based on data from the «Pulse» social network	198
Лычев Н.Е. Проектирование и разработка АИС «Автомастерская»	201
Lychev N.E. Design and development of AIS «Car repair shop»	201
Магахура Б.М. Функциональное моделирование деятельности регистратуры медицинского центра.....	205
Magahura B.M. Functional modeling of the activities of the registration desk of a medical center	205
Медведев А.А. Методы извлечения и структурирования знаний при проектировании веб-информационной системы для организации научного взаимодействия студентов и преподавателей	209
Medvedev A.A. Methods for extracting and structuring knowledge in the design of a web information system for organizing scientific interaction between students and teachers.....	209
Могулева В.И., Гончарова И.И. Разработка информационной системы для туристической фирмы	213
Moguleva V.I., Goncharova I.I. Development of an information system for a tourist firm	213
Мурашко И.С. Разработка конфигурации для автоматизации розничной торговли и складского учета магазина одежды на платформе «1С:Предприятие 8»	216
Murashko I.S. Development of a configuration for automating retail trade and warehouse accounting in a clothing store on the «1С:Enterprise 8» platform	216
Невенченко С.М., Zubov D.A., Mikutis O.S. Роль проектно-ориентированного подхода в производственной практике студентов ИТ-специальностей.....	220
Nevenchenko S.M., Zubov D.A., Mikutis O.S. The role of a project-oriented approach in the industrial internship of IT students	220

Нестеров Д.С., Ильинский Р.Ю. Применение метода Retrieval-Augmented Generation и семантических векторных представлений в системе автоматической генерации русскоязычных новостных материалов	223
Nesterov D.S., Ilyinsky R.Y. Application of Retrieval-Augmented Generation and semantic vector representations in a system for automatic generation of russian-language news materials	223
Олейникова Л.С. Мобильное приложение как элемент цифровой экосистемы современного вуза	227
Oleynikova L.S. Mobile application as a component of the digital ecosystem of a modern university	227
Олексийчук Е.А. Автоматизированная система формирования тренировочного процесса футболистов	229
Oleksiychuk E.A. Automated system for forming football players' training process	229
Паманин М.Ю. Оценка эффективности геймификационных платформ в образовательном процессе	234
Pamanin M.YU. Evaluation of the effectiveness of gamification platforms in the educational process	234
Петренко М.В. Ключевые факторы внедрения веб-приложения для оптимизации работы поликлиники	239
Petrenko M.V. Key factors in implementing a web application to optimize the work of a polyclinic	239
Погорелов В.Р., Подпругин А.И. Разработка информационной системы для компьютерного клуба	243
Pogorelov V.P., Podprugin A.I. Development of an information system for a computer club	243
Половнева Ю.Е. Современные подходы к верификации и валидации сложных систем с использованием цифровых двойников	248
Polovneva J.E. Modern approaches to verification and validation of complex systems using digital twins	248
Пономарева Д.О. Разработка автоматизированной информационной системы обработки данных предприятия «Фитнес-клуб»	252
Ponomareva D.O. Development of an automated information system for data processing of the «Fitness club» enterprise	252
Провоторов Э.В., Коротенко Р.В. Интеграция клиентского рендеринга LaTeX и серверной обработки изображений в веб-образовательных системах	255
Provotorov E.V., Korotenko R.V. Integration of client-side LaTeX rendering and server-side image processing in web based educational systems	255

Пузанов Д.А. Разработка автоматизированной информационной системы мониторинга и анализа почвы с использованием машинного обучения.....	258
Puzanov D.A. Development of an automated information system for soil monitoring and analysis using machine learning	258
Пушкин Е.А., Шинкарев И.П., Гончарова И.И. Разработка расширения для масштабирования веб-контента	261
Pushkin E.A., Shinkarev I.P., Goncharova I.I. Development of an expansion for web content scaling	261
Рогожина В.М., Ключкина В.А., Пак А.А. Сравнительный анализ методов сглаживания временных рядов на примере динамики критических уязвимостей.....	265
Rogozhina V.M., Klyuchkina V.A., Pak A.A. A comparative analysis of time series smoothing methods using the example of critical vulnerabilities dynamics	265
Самофалов Д.А. Подходы к автоматизированному формированию сценариев хирургического лечения	270
Samofalov D.A. Approaches to automated formation of surgical treatment scenarios	270
Селютина Е.А. Методические аспекты искусственного интеллекта в контексте школьного курса информатики	275
Selyutina E.A. Methodological aspects of artificial intelligence in the context of a school computer science course	275
Сирота В.Г., Ключкина В.А. Проектирование информационной системы экологического мониторинга для водоканала	278
Sirota V.G., Klyuchkina V.A. Designing an environmental monitoring information system for a water utility.....	278
Стрекозова В.К., Подпругин И.А. Разработка информационной системы для поиска цифровых активов	282
Strekozova V.K., Podprugina I.V. Development of an information system for searching for digital assets.....	282
Труфанов А.Н. Формализация предметной области учета посещаемости студентов на основе методов инженерии знаний	287
Trufanov A.N. Formalization of the subject area of student attendance tracking based on knowledge engineering methods.....	287
Федорова Е.А. Экономическая эффективность внедрения системы быстрых платежей в корпоративном сегменте: анализ ROI и NPV	291
Fedorova E.A. Economic efficiency of fast payment sysyem implementation in the corporate segment: ROI and NPV analysis.....	291

Фефелов О.С.	
Цифровые двойники транспортной сети	295
Fefelov O.S.	
Digital twins of the transport network	295
Хемраев Д.	
Сравнительный анализ фреймворков мультиагентной оркестрации для задач управления ИТ-хостингом и их интеграции с протоколом MCP	299
Hemrayev D.	
Comparative analysis of multi-agent orchestration frameworks for IT hosting management tasks and their integration with the MCP protocol	299
Чеботарев В.А.	
Анализ программных средств имитационного моделирования на основе аппарата сетей Петри	304
Chebotarev V.A.	
Analysis of simulation software based on Petri nets	304
Черномурова Д.А., Подпругин А.И.	
Разработка информационной системы для мебельного магазина	309
Chernomurova D.A., Podprugin A.I.	
Development of an information system for a furniture store	309
Щепин Д.В., Подпругин А.И.	
Разработка информационной системы для учета личных финансов	313
Shchepin D.V., Podprugin A.I.	
Development of an information system for personal finance accounting	313
Яновский А.В.	
О применении технологий искусственного интеллекта в задачах автоматизации	318
Yanovski A.V.	
On the application of artificial intelligence technologies in automation tasks	318

СЕКЦИЯ 2

«МОДЕЛИРОВАНИЕ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЯХ НАУКИ И ТЕХНИКИ»

Al Janzeer Z.M.	
Оценивание качества цифровых снимков магнитно-резонансной томографии на основе применения нечеткой нейросети	322
Аль Жанзир З.М.	
Evaluation of the quality of digital magnetic resonance images using a fuzzy neural network	322
Артемов А.В.	
Архитектура ETL-систем для обработки потоковых данных в реальном времени	326
Artemov A.V.	
Architecture of ETL systems for real-time streaming data processing	326
Баданис К.Е.	
Структура системы «Умный город» и место в ней автоматизированной подсистемы мониторинга состояния дорожного покрытия	331
Badanis K.E.	
Structure of the «Smart city» system and the place of the automated road condition monitoring subsystem within it	331

Водка Е.В., Подпругин А.И.

Проектирование и моделирование телекоммуникационной сети для аквапарка с учетом требований информационной безопасности 334

Vodka E.V., Podprugin A.I.

Design and modeling of a telecommunication network for a water park taking into account information security requirements..... 334

Гармашев М.А., Подпругин А.И.

Разработка информационной системы для транспортной компании на этапе моделирования бизнес-процессов 337

Garmashev M.A., Podprugin A.I.

Development of an information system for a transport company at the business process modeling stage 337

Герби А.Ф.

Унифицированная платформа ресурсо-эффективного, объяснимого и структурно-устойчивого машинного обучения для мультимодального слияния сенсорных данных..... 343

Gerbi A.F.

Unified framework for resource-efficient, explainable and structurally robust machine learning for multi-modal sensor data fusion 343

Глотов Д.С., Подпругин А.И.

Разработка информационной системы для службы доставки строительных материалов 347

Glotov D.S., Podprugin A.I.

Development of an information system for building materials delivery service 347

Головко Я.Ю.

Гибридная нейросетевая архитектура с адаптивной функцией потерь для семантической сегментации дефектов жилой застройки..... 351

Golovko Ya.Yu.

Hybrid neural network architecture with adaptive loss function for semantic segmentation of residential building defects..... 351

Городова А.Э., Гончарова И.И., Масленникова Н.С.

Разработка информационной системы для сопровождения грузоперевозок..... 355

Gorodova A.E., Goncharova I.I., Maslennikova N.S.

Development of an information system for supporting freight transportation 355

Дахин А.В.

Метрики оценки эффективности адаптивного сбора и асинхронной передачи данных экологического мониторинга 360

Dakhin A.V.

Metrics for evaluating the effectiveness of adaptive collection and asynchronous transmission of environmental monitoring data..... 360

Диденкова В.С., Подпругин А.И.

Разработка информационной системы для организации просвещения и информирования населения об экологической обстановке Белгородской области 364

Didenkova V.S., Podprugin A.I.

Development of an information system for the organization of education and informing the population about the environmental situation of the Belgorod region..... 364

Елеуова А.М.

Разработка интеллектуальной системы анализа рентгеновских снимков для автоматического выявления признаков пневмонии 369

Yeleuova A.M. Development of an intelligent system for analyzing x-ray images for automatic detection of pneumonia signs.....	369
Зайченко Н.М., Нестерова Т.А. Разработка умной теплицы	374
Zaichenko N.M., Nesterova T.A. Development of a smart greenhouse	374
Иванов С.А. Оптимизация контроля геометрии сложных металлоконструкций: поэтапный подход с применением тахеометров.....	378
Ivanov S.A. Optimization of geometry control for complex metal structures: a step-by-step approach using total stations.....	378
Игнатов М.А. Профилактика респираторных заболеваний в национальном российском мессенджере МАХ: опыт разработки канала	382
Ignatov M.A. Prevention of respiratory diseases in the russian national messenger МАХ: experience in channel development	382
Кадышев К.П., Подпругин А.И. Проектирование и моделирование телекоммуникационной сети для строительного магазина с учетом требований информационной безопасности	388
Kadyshev K.P., Podprugin A.I. Design and modeling of a telecommunication network for a hardware store taking into account information security requirements.....	388
Киян В.А., Подпругин А.И. Проектирование и моделирование телекоммуникационной сети для спа-центра с учетом требований информационной безопасности	392
Kiyan V.A., Podprugin A.I. Design and modeling of a telecommunications network for a spa center taking into account information security requirements.....	392
Ключкина В.А., Бурлуцкий А.А., Ключкин А.В., Горяинов А.А. Экзоскелетные технологии в медицинской реабилитации: современные тенденции и перспективы развития	397
Klyuchkina V.A., Burlutsky A.A., Klyuchkin A.V., Goryainov A.A. Exoskeleton technologies in medical rehabilitation: current trends and development prospects	397
Ключкина В.А., Дробышева К.С., Ключкин А.В. Интеллектуальные сенсорные системы для непрерывного дистанционного мониторинга физиологических показателей.....	402
Klyuchkina V.A., Drobysheva K.S., Klyuchkin A.V. Intelligent sensor systems for continuous remote monitoring of physiological indicators.....	402
Ключкина В.А., Жандармов Н.Н., Ключкин А.В. Гибридная нейросетевая модель CNN-LSTM для диагностики эпилепсии по данным ЭЭГ.....	406
Klyuchkina V.A., Zhandarmov N.N., Klyuchkin A.V. Hybrid neural network model CNN-LSTM for epilepsy diagnosis based on EEG data	406

Ковтун В.Ю., Михайлов М.И. Векторные представления в математике квантовой механики и их роль в работе квантовых датчиков и систем (на примере квантовых часов)	411
Kovtun V.Y., Mikhailov M.I. Vector representations in the mathematics of quantum mechanics and their role in the operation of quantum sensors and systems (using the example of a quantum clock)	411
Козлов А.В., Гончарова И.И., Масленникова Н.С. Архитектура беспроводных сенсорных сетей на базе LPWAN для экологического мониторинга удалённых территорий	415
Kozlov A.V., Goncharova I.I., Maslennikova N.S. Architecture of wireless sensor networks based on LPWAN for ecological monitoring of remote areas	415
Куланбаев Р., Гончарова И.И. Углеродный баланс лесных экосистем: методы оценки потоков CO ₂ и их ограничения	420
Kulanbaev R., Goncharova I.I. Carbon balance of forest ecosystems: methods for assessing CO ₂ fluxes and their limitations	420
Козлов А.В., Гончарова И.И. Сравнительный анализ сенсоров CO ₂ для полевого мониторинга в условиях лесных экосистем	426
Kozlov A.V., Goncharova I.I. Comparative analysis of CO ₂ sensors for field monitoring in forest ecosystems	426
Кокоткина М.В., Горбулин С.В. Исследование поведения объекта на основе его математической модели	432
Kokotkina M.V., Gorbulin S.V. Study of object behavior based on a mathematical model	432
Колесников С.Д., Заева О.Г., Кизилова Э.А., Сергеев Е.А. Разработка автоматической подачи металлических листов на станок	437
Kolesnikov S.D., Zaeva O.G., Kizilova E.A., Sergeev E.A. Development of automatic feeding of metal sheets to the machine	437
Критская В.Ю. Разработка архитектуры интеллектуальной системы многокритериальной оценки кандидатов на основе нечеткой логики	441
Kritskaya V.Y. Development of an intelligent system architecture for multi-criteria candidate evaluation based on fuzzy logic	441
Кухарь Д.К. Архитектурные решения и источники данных в автоматизированных системах метеорологического мониторинга	446
Kukhar D.K. Architectural solutions and data sources in automated meteorological monitoring systems	446
Кхалифа М. Сравнительный анализ тепловых моделей при точении резцами с многослойным покрытием	452
Khalifa M. Comparative study of thermal analytical models for prediction of heat partition coefficient with multilayer coated tools in the cutting process	452

Литвин С.А. Лабораторный стенд для изучения архитектуры микроконтроллеров семейства GD32.....	458
Litvin S.A. Laboratory setup for studying the architecture of GD32 microcontrollers.....	458
Маматов М.Е., Польщиков И.К., Шевченко О.А. Система поддержки принятия решений при управлении параметрами формирования сигналов в беспроводной сети мониторинга диких животных	462
Mamatov M.E., Polshchikov I.K., Shevchenko O.A. Decision support system for signal generating parameters control in a wireless wildlife monitoring network	462
Мартынов В.А., Терский М.О., Игитян Е.В. Имитационное моделирование передачи данных в сети узкополосного интернета вещей ...	466
Martynov V.A., Terskiy M.O., Igityan E.V. Simulation modeling of data transmission in the narrowband internet of things network	466
Матвеев В.А., Подпругин А.И. Проектирование и моделирование телекоммуникационной сети для ветеринарной клиники с учетом требований информационной безопасности.....	472
Matveenko V.A., Podprugin A.I. Design and modeling of a telecommunication network for a veterinary clinic taking into account information security requirements.....	472
Неронов Д.И. Прогнозирование свойств сплавов с использованием интеллектуальных методов анализа данных.....	478
Neronov D.I. Prediction of alloy properties using intelligent data analysis methods.....	478
Пашков Д.С. Интеллектуальные методы обработки данных носимых медицинских устройств	482
Pashkov D.S. Intellectual methods for processing data from wearable medical devices.....	482
Роменко С.Р., Ефанов А.Д., Татарникова Н.Б. Разработка программы управления шагающим роботом	485
Romenko S.R., Efanov A.D., Tatarnikova N.B. Development of a control program for a walking robot	485
Смирнов Д.А. Архитектура и структура подсистемы видеомониторинга в контуре АСУ ТП молочной фермы	491
Smirnov D.A. Architecture and structure of a video monitoring subsystem in the APCS of a dairy farm.....	491
Сова К.А. Программные модули предварительной обработки МРТ-изображений головного мозга	495
Sova K.A. Software modules for pre-processing MRI images of the brain	495
Сомов Е.Е., Ефанов А.Д. Моделирование тренда и краткосрочный прогноз российского автомобильного рынка в условиях нестабильности.....	498
Somov E.E., Efanov A.D. Trend modeling and short-term forecast of the russian automobile market in an unstable condition	498

Тарарьев М.С., Иголкина В.В., Чуб В.А.

Разработка и практическое применение системы учета радиокомпонентов предприятия 503

Tarariev M.S., Igolkina V.V., Chub V.A.

Development and practical application of an enterprise radio component accounting system 503

Терский М.О.

Автоматизированная система управления параметрами повторений
информационных блоков в сети интернета вещей мониторинга добычи газа 508

Terskiy M.O.

Automated system for controlling the parameters of information blocks
repetitions in the internet of things network for monitoring gas production 508

Токарев И.И., Нестерова Т.А.

Системы для поиска пути мобильным роботом 511

Tokarev I.I., Nesterova T.A.

Mobile robotic pathfinding systems..... 511

Туров Я.В., Ключкина В.А.

Моделирование и конфигурирование политик безопасности локальной
сети центра дополнительного образования 516

Turov Y.V., Klyuchkina V.A.

Modeling and configuring security policies for the local network of the center
for continuing education 516

Холодова В.К., Подпругин А.И.

Разработка цифровой платформы городского гида для жителей и туристов
Белгородской области..... 520

Kholodova V.K., Podprugin A.I.

Development of a digital platform for a city guide for residents and tourists
of the Belgorod region 520

Штоколов Н.С.

Разработка интернет-магазина на микросервисной архитектуре..... 524

Shtokolov N.S.

Development of an online store based on microservice architecture..... 524

**МАТЕРИАЛЫ ДОКЛАДОВ
ПО ИТОГАМ ПЛЕНАРНОГО ЗАСЕДАНИЯ
MATERIALS OF REPORTS
ON THE RESULTS OF THE PLENARY SESSION**

УДК 57.087

*Научный руководитель:
Шамраев Анатолий Анатольевич,
доцент кафедры информационных
и робототехнических систем,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

М.А. ЗИНОВЬЕВА
M.A. ZINOVEVA

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ИНСТРУМЕНТЫ ВЫЯВЛЕНИЯ
РАННИХ СИМПТОМОВ БОЛЕЗНИ ПАРКИНСОНА НА ЭЭГ
MATHEMATICAL TOOLS FOR DETECTING EARLY SYMPTOMS
OF PARKINSON'S DISEASE ON THE EEG**

В данной статье представлен обзор современных подходов к анализу ЭЭГ-сигналов для детекции ранних признаков болезни Паркинсона. Рассматриваются методы нелинейной динамики, вейвлет-анализа, энтропийные метрики и алгоритмы машинного обучения. Приводятся конкретные результаты эмпирических исследований, подтверждающие диагностическую значимость описанных математических аппаратов.

Ключевые слова: болезнь Паркинсона, электроэнцефалограмма, вейвлет-анализ, энтропия, машинное обучение, биомаркеры

This article provides an overview of modern approaches to analyzing EEG signals for detecting early signs of Parkinson's disease. It discusses methods of nonlinear dynamics, wavelet analysis, entropy metrics, and machine learning algorithms. The article presents specific results from empirical studies that support the diagnostic significance of these mathematical frameworks.

Keywords: Parkinson's disease, electroencephalogram, wavelet analysis, entropy, machine learning, biomarkers

Болезнь Паркинсона (БП) занимает второе место по распространённости среди нейродегенеративных заболеваний после болезни Альцгеймера. Согласно современным представлениям, нейродегенеративный процесс при БП начинается за 10-15 лет до дебюта классической моторной симптоматики, что обуславливает актуальность поиска надёжных инструментов доклинической диагностики. Традиционный диагноз базируется преимущественно на оценке двигательных нарушений, однако к моменту их появления гибель нейронов чёрной субстанции достигает 50-70%.

Электроэнцефалография предоставляет собой один из доступных способов неинвазивной регистрации биоэлектрической активности головного мозга. Однако визуальный анализ ЭЭГ при БП малоинформативен, требуются применения специализированных математических методов обработки сигналов, которые необходимо рассмотреть более детально и систематизировать по функциональным характеристикам.

Традиционными методами обработки сигналов являются методы частотно-временного анализа. Однако классический спектральный анализ на основе преобразования Фурье имеет принципиальное ограничение при работе с нестационарными биомедицинскими сигналами – он не позволяет локализовать частотные компоненты во времени. Данное ограничение преодолевается применением вейвлет-преобразования, обеспечивающего многомасштабный частотно-временной анализ.

В 2024 году на X Международной конференции по информационным технологиям и нанотехнологиям (Самара, РФ) Сушковой О.С. был представлен обновленный метод анализа

всплескообразной электрической активности мозга, основанный на ROC-анализе параметров волновых пакетов ЭЭГ [1]. Математическая задача сводится к поиску глобальных экстремумов целевой функции в многомерном пространстве параметров волновых пакетов на вейвлет-спектрограммах. Исследование пациентов на 1-й стадии БП и здоровых добровольцев выявило статистически значимые изменения всплескообразной активности в α – и β – диапазонах. У пациентов с БП наблюдалось увеличение активности в нижнем α – диапазоне на частоте 8-9 Гц и снижение в верхнем α – диапазоне на частоте 11-13 Гц и β – диапазоне на частоте 18-24 Гц. На рисунке 1 приведен пример всплеска в β – диапазоне и его спектограмма.

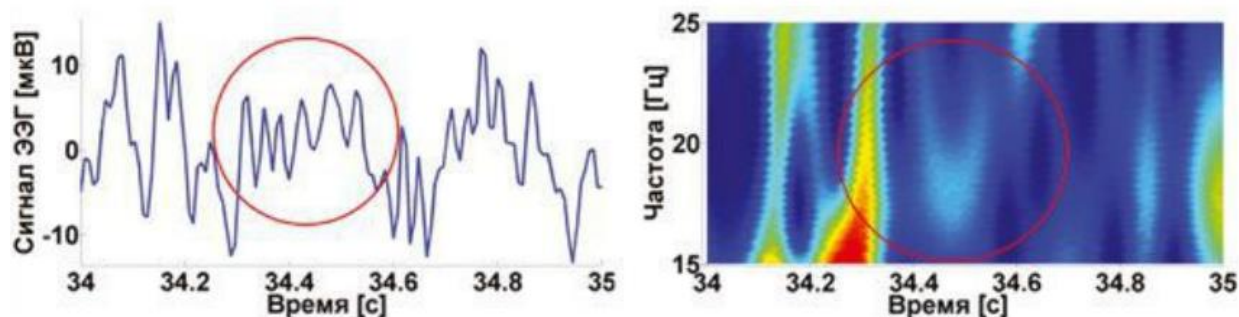


Рисунок 1 – Всплеск β – частоты на ЭЭГ и его вейвлет-спектограмма

Для автоматизации анализа разработаны алгоритмы на основе методов обобщённого поиска по образцу и адаптивного симулированного отжига, позволяющие детектировать глобальные экстремумы в пространстве параметров волновых пакетов [1].

Синхросжимающее вейвлет-преобразование представляет собой усовершенствованный метод частотно-временного анализа, повышающий разрешающую способность за счёт сжатия вейвлет-коэффициентов вдоль частотной оси. В исследовании с участием 74 пациентов с БП и 37 здоровых испытуемых показано, что энтропия на основе синхросжимающего вейвлет-преобразования устойчиво выявляет значимые межгрупповые различия в моторных и срединных областях коры с высокими величинами эффекта [2]. У пациентов с БП значения данного показателя оказались сниженными, тогда как амплитудные энтропийные меры или условная энтропия демонстрировали повышение, что свидетельствует о разнонаправленных изменениях различных измерений сложности сигнала.

Приближённая энтропия (ApEn) и энтропия выборки (SampEn) оценивают регулярность временного ряда. Снижение ApEn у пациентов с БП отражает уменьшение сложности корковой динамики, что коррелирует с тяжестью моторных проявлений.

Перестановочная энтропия анализирует порядковые паттерны в сигнале, устойчива к артефактам. Дисперсионная энтропия учитывает как амплитудные, так и частотные характеристики. В сравнительном исследовании, опубликованном 2022 году в журнале «Biomedical signal processing and control», комбинация дискретного вейвлет-преобразования с различными энтропийными метриками позволила достичь точности классификации БП на уровне 95-99% [3].

Нейродегенерация при БП затрагивает не изолированные зоны, а распределённые нейронные сети. Количественная оценка функциональной связности между различными областями коры представляет собой перспективное направление. Когерентный анализ оценивает линейную синхронизацию в частотной области. Phase Lag Index (PLI) измеряет фазовую синхронизацию, игнорируя вклад объёмной проводимости. Исследования показывают изменение паттернов коннективности в α – и β – диапазонах уже на ранних стадиях БП.

Аналитика мозговых сетей (BNA) – это технология анализа сетевой организации мозга на основе вызванных потенциалов. В пилотном и самом крупном по данной технологии исследовании 2022 года на базе Медицинского центра им. Шибы с участием 19 пациентов с длительностью болезни Паркинсона менее 2 лет и 30 здоровых испытуемых алгоритм машинного обучения на основе BNA-признаков позволил дискриминировать раннюю БП с AUC ROC=0.79, чувствительностью 0.74 и специфичностью 0.73. Ключевыми

дискриминативными признаками оказались: амплитуда компонента P=50 (ранняя сенсорная обработка), латентность N=100, амплитуда и топографическое сходство P=200 (фильтрация информации) [4]. На рисунке 2 (а, б) показаны наглядные результаты исследования. На рисунке 2а представлены веса маркеров, а также в рамку выделены пять важнейших характеристик, а на рисунке 2б – диаграммы показателей BNA по пяти наиболее важным нейромаркерам у участников с ранней стадией БП и здоровых испытуемых.

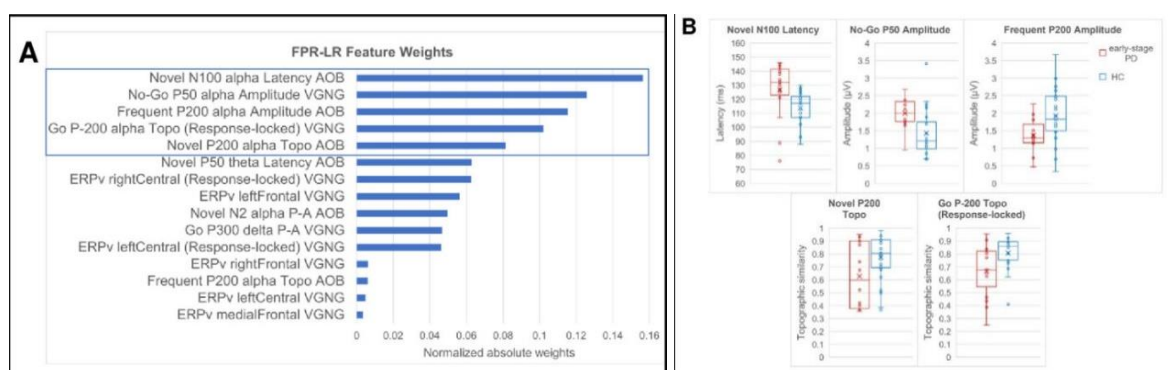


Рисунок 2 – Особенности маркеров BNA: а – весовые коэффициенты нейромаркеров BNA; б – диаграммы показателей BNA по пяти наиболее важным нейромаркерам

Можно сделать вывод о том, что современные алгоритмы машинного обучения позволяют автоматически выявлять сложные паттерны в многомерных ЭЭГ-данных, недоступные для визуального анализа.

Сверточные нейронные сети (CNN) применяются для классификации ЭЭГ-образов БП. В исследовании 2025 года по инициативе Австралийского национального университета на выборке из 31 испытуемого, 15 из которых страдали от БП, а 16 – были здоровы, ЭЭГ-сигналы после удаления артефактов тремора преобразовывались в вейвлет-изображения и анализировались CNN. Точность классификации 74% достигнута в γ -диапазоне для центрально-теменных отведений (CP1, Pz, CP2) и 76% при полноспектральном анализе центральных отведений (C3, Cz, C4). При снятии ЭЭГ были задействованы 32 электрода, расположенные в соответствии с международной системой 10-20, как показано на рисунке 3.

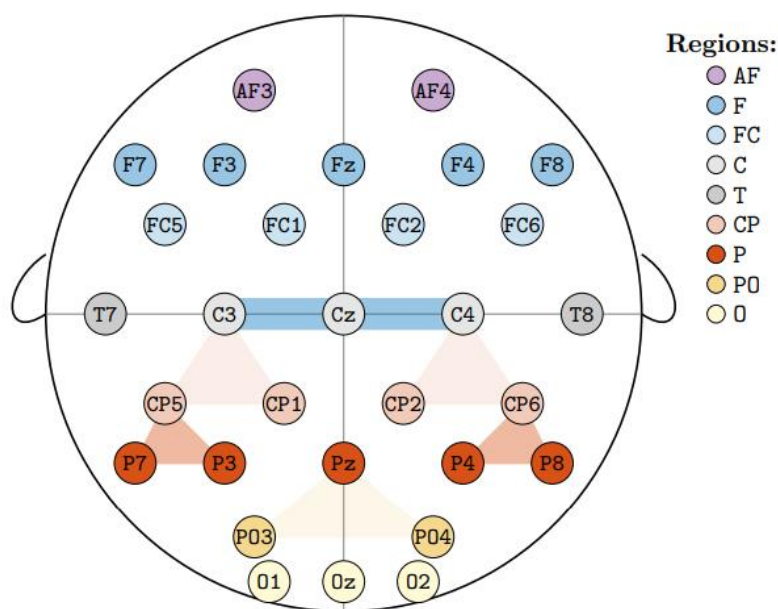


Рисунок 3 – Расположение 32-х электродов во время исследования

Примечательно, что авторы намеренно исключили тремор-ассоциированные артефакты, чтобы изолировать истинные нейрофизиологические изменения, что выгодно отличает данную работу от исследований, получающих завышенные показатели точности за счёт классификации артефактов [5].

Метод опорных векторов (SVM) остаётся одним из наиболее распространённых классификаторов. Систематический обзор 2025 года от Международной федерации клинической нейрофизиологии подтверждает эффективность комбинации методов количественной ЭЭГ с SVM для выявления когнитивных нарушений при БП [6].

Таким образом, можно сделать вывод о том, что математический анализ ЭЭГ представляет собой инструментарий для выявления ранних симптомов болезни Паркинсона. Методы частотно-временного анализа, нелинейной динамики, оценки машинного обучения в совокупности позволяют детектировать нейрофизиологические изменения, предшествующие активному развитию болезни. Клиническое внедрение описанных подходов требует дальнейшей валидации на расширенных выборках, стандартизации методологии и разработки удобных программных решений для практического здравоохранения. Вейвлет-анализ и методы нелинейной динамики обеспечивают количественную оценку тонких изменений корковой активности, не выявляемых при рутинном визуальном анализе. Алгоритмы машинного обучения позволяют интегрировать множественные признаки в единую диагностическую модель.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сушкова О.С., Морозов А.А., Габова А.В., Карабанов А.В. Применение метода анализа всплескообразной электрической активности мозга для выявления особенностей ЭЭГ пациентов на ранней стадии болезни Паркинсона. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2018;118(7):45-48.
2. Davoodi R. [et al.] EEG Entropy Markers for Cognitive Dysfunction in Parkinson's Disease // *Nonlinear Dynamics*. 2025. Vol. 113. P. 33831–33851. DOI: 10.1007/s11071-025-11731-x.
3. Chawla P. [et al.] A decision support system for automated diagnosis of Parkinson's disease from EEG using FAWT and entropy features // *Biomedical Signal Processing and Control*. 2023. Vol. 79. P. 104116.
4. Hassin-Baer S. [et al.] Identification of an early-stage Parkinson's disease neuromarker using event-related potentials, brain network analytics and machine-learning // *PLOS ONE*. 2022. Vol. 17, № 1. P. e0261947. DOI: 10.1371/journal.pone.0261947.
5. Lensky, A. Central and Central-Parietal EEG Signatures of Parkinson's Disease / A. Lensky. – Текст : электронный // arXiv:2503 : [сайт]. – URL: <https://arxiv.org/abs/2503.12392v1> (дата обращения: 09.04.2026).
6. Zawisłak-Fornagiel K. [et al.] Application of quantitative EEG analysis in machine learning research on cognitive impairment in Parkinson's disease: A systematic review // *Clinical Neurophysiology*. 2025. Vol. 178. P. 2110945. DOI: 10.1016/j.clinph.2025.2110945.

Зиновьева Мария Алексеевна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: zinoveva@bsuedu.ru

УДК 530.145

Научный руководитель:
Ротару Татьяна Александровна,
преподаватель инжинирингового колледжа,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)

В.Ю. КОВТУН, М.И. МИХАЙЛОВ
V.Y. KOVTUN, M.I. MIKHAILOV

КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА: ОТ ОСНОВ К КВАНТОВЫМ КОМПЬЮТЕРАМ – ПРЕИМУЩЕСТВА, ИНЖЕНЕРНЫЕ БАРЬЕРЫ

QUANTUM MECHANICS: FROM FUNDAMENTALS TO QUANTUM COMPUTERS – ADVANTAGES, ENGINEERING BARRIERS

В данной работе авторы рассматривают основные принципы квантовой механики и их значение для создания квантовых компьютеров. Особое внимание уделяется явлениям суперпозиции, квантовой запутанности, неопределённости и квантовой телепортации. Также объясняются математические основы квантовых вычислений. Отдельно описаны устройство и принцип работы квантового компьютера, его основные элементы и области применения. Также, анализируются ключевые проблемы квантовых технологий, такие как декогеренция, шумы, высокая стоимость и сложность реализации. Работа показывает, что квантовые компьютеры обладают большим потенциалом, но на данный момент не могут полностью заменить классические вычислительные системы.

Ключевые слова: квантовая механика, фотон, квантовая криптография, квантовая запутанность, принцип суперпозиции, принцип неопределённости, кубит, уравнение Шрёдингера, алгоритм.

In given article, authors consider the basic principles of quantum mechanics and their significance for the creation of quantum computers. Special attention is paid to the phenomena of superposition, quantum entanglement, uncertainty and quantum teleportation. The mathematical foundations of quantum computing are also explained. The device and the principle of operation of a quantum computer, its main elements and fields of application are described separately. Also, the key problems of quantum technologies such as decoherence, noise, high cost and complexity of implementation are analyzed. The work shows that quantum computers have great potential, but at the moment they cannot completely replace classical computing systems.

Keywords: quantum mechanics, photon, quantum cryptography, quantum entanglement, superposition principle, uncertainty principle, qubit, Schrodinger equation, algorithm.

В наше время мы привыкли к различным ЭВМ и не можем представить нашу жизнь без них. Мы используем ЭВМ абсолютно везде – от поиска прогноза погоды, до сложнейших математических расчетов. Важно понимать, что ЭВМ, не являются идеалом. В настоящее время человечество ищет новое устройство, которое позволит быстрее обрабатывать информацию, практически без ошибок и значимых погрешностей, решать различные задачи, иметь абсолютное шифрование и т. д. Совместить в себе все эти составляющие сможет квантовой компьютер. Необходимо отметить, что квантовой компьютер хоть и имеет преимущества, но даже в таком случае некоторые задачи проще и удобнее решать через классический компьютер [1].

В первую очередь необходимо отметить, что микромир (в дальнейшем квантовый мир) является очень своеобразным, то есть большинство его законов не совпадают с нашим привычным миром. Можно сказать, что это некий отдельный мир, в котором действует свои правила и законы и не каких аналогичных или схожих явлений в классическом мире нет. К сожалению, из-за данной отстранённости, многие «странности» квантового мира не поддаются объяснению. Может быть так, что мы прекрасно знаем и понимаем как работает тот или иной механизм, но объяснить это на фундаментальном уровне и почему данное явление работает именно так – невозможно. Квантовая механика в той или иной степени необъяснима.

Законы квантовой механики встречаются в очень многих сферах и не стоит считать, что мы можем их встретить только в сложных лабораторных исследованиях и идеальных

условиях. Мы можем их видеть каждый день в нашей жизни. Без квантовой механики невозможна жизнь, планеты, вселенная. Все они работают по принципам и законам квантовой механики и если бы они работали по другим законам – то любая звезда была бы обычной водородной бомбой со сроком жизни всего лишь несколько миллионов лет, вместо десятков миллиардов привычных нам.

Чтобы понять, как работают дальнейшие принципы квантовой механики необходимо знать её фундаментальные основы, одной из которых является квантовая запутанность в паре с принципом суперпозиции.

Квантовая запутанность – это явление, при котором система объектов (например, фотонов) становятся неразрывно связанными и при этом обратно пропорциональны друг другу. При непосредственном измерении одной из частиц мы можем получить любую информацию о других частицах, а изменяя состояние (информацию) одной частицы – мы меняем состояние других, причём изменение происходит мгновенно. Можно сказать, что, зная состояние одной из частицы, мы сразу же можем узнать состояние других, не проводя дополнительных измерений.

Также стоит отметить, что измерение состояния частиц происходит не классическим методом через передачи информации от одной частицы к другой, а через корреляцию (некую взаимосвязь над квантовыми системами и результатами их измерений).

Как создаётся пара запутанных частиц? Чтобы создать пару запутанных частиц использовать несколько способов. Например, использование квантовых точек столкновение атомов или, спонтанной параметрической рассеивание (SPDC) [3]. В первую очередь необходимо найти источник света. Например, ультрафиолетовый лазер, после чего направить луч лазера на нелинейный кристалл, и как его называют «магический кристалл», чаще всего он изготавливается из бета-борат бария. Внутри «магического кристалла» один фотон из луча распадается на два фотона меньшего размера (при этом закон сохранения энергии не нарушается, и сумма энергий двух новых фотонов будет равна энергии исходного), после чего они разлетаются под определенными углами в виде двух световых конусов. В точках пересечения этих конусов фотоны будут запутаны по поляризации, то есть обратно противоположно и если мы измерим состояние одного из фотонов (поляризацию), то получим противоположный результат второго, а также его состояние изменится мгновенно [1].

Что касается квантовую запутанности – её применяют в различных сферах квантовых технологий. Наибольшую «популярность» она находит в: квантовой криптографии, квантовой телепортации и квантовых компьютерах.

Принцип квантовой неопределённости гласит, что невозможно одновременно измерить пару сопряжённых физических величин. Чем точнее мы измеряем один показателей – тем сильнее мы отклоняемся от другого. Эту ситуацию нельзя воспринимать как погрешность, а необходимо рассматривать как прямое свойство природы. К примеру, с математической точки зрения, неопределённость координат и импульса частицы в любых обстоятельствах будет равна постоянной Планка или превышать её. Это служит наглядной демонстрацией того, что классическое детерминированное в физике не имеет отношения к квантовому миру [2].

Математически это можно выразить так:

$$\Delta x * \Delta p \geq \frac{\hbar}{2\pi}$$

Сразу необходимо отметить, что квантовая телепортация – это не привычный перенос объекта на расстояния, а процесс передачи различных квантовых состояний от одной частицы к другой. Чаще всего в роли частицы выступает фотон, но могут выступать и другие микрообъекты, причём без переноса физических характеристик. Также следует чётко понимать, что при квантовой телепортации происходит разрушение исходного состояния отправителя. Это связано с теоремой запретом клонирования. В основе данного явления лежит эффект квантовой запутанности, но при этом нам всё равно будет необходим классический канал передачи информационного состояния частиц.

Математика – это фундамент квантовой механики. Главный математический объект, на котором она строится, называется гильбертовым пространством [1].

В квантовой теории каждое возможное состояние системы (например, электрона или фотона) представляется в виде вектора в особом математическом пространстве. Все физические величины (энергия, импульс, спин и т. д.), а также любые воздействия на систему описываются операторами, которые преобразуют эти векторы.

Гильбертово пространство – это в своём роде «арена», где существуют все допустимые квантовые состояния и по строгим математическим правилам вычисляются вероятности и предсказания [1].

В математическом формализме квантовой механики любое допустимое воздействие на кубит описывается линейным оператором, действующим на вектор состояния в гильбертовом пространстве. Линейность гарантирует, что преобразования корректно работают с суперпозициями: результат воздействия на линейную комбинацию состояний равен той же комбинации результатов действия на каждый компонент в отдельности. Если система изолирована от окружающей среды, её эволюция во времени задаётся унитарным оператором. Ключевое свойство унитарности – сохранение нормы (длины) вектора состояния, что физически означает сохранение полной вероятности: сумма вероятностей всех возможных исходов всегда остаётся равной [2].

Процесс измерения принципиально отличается от унитарной эволюции и формализуется через спектр эрмитовых операторов, соответствующих физическим наблюдаемым величинам. Возможные результаты измерения – это собственные значения оператора, а сам акт измерения приводит к коллапсу волновой функции: система мгновенно переходит в то собственное состояние (собственный вектор), которому соответствует полученное значение. Вероятность конкретного исхода определяется квадратом модуля амплитуды проекции исходного состояния на данный собственный вектор.

Квантовый компьютер – это вычислительное устройство выполняет вычислительные операции, опираясь на работу не с классическими битами, а их квантовую реализацию – кубиты.

Обычный бит может принимать только одно из двух значений 0 либо 1 одновременно, т. е. он принимает одно состояние из нескольких, в свою очередь кубит может находиться сразу в нескольких состояниях одновременно, т.е. кубит является нулём и единицей одновременно.

Основными составляющими квантового компьютера являются: квантовый регистр, система управления, система считывания, система охлаждения, экранирование.

Квантовый регистр включает в себя большую систему совокупностей кубитов, где производится различные вычисления [3]. В зависимости от системы, в качестве кубитов могут выступать разные объекты: фотоны, атомы сверхпроводников, ионы и т.д.

Самые острые проблемы квантовых это: декогеренция, влияние шумов, сложность операции требующих межкубитных связей. Среди всех перечисленных проблем особое внимание нужно уделить декогеренции.

Декогеренция – это некий процесс, который приводит к разрушению квантовой системы при взаимодействии с окружающей средой. Данный процесс хоть и является неизбежным – время до разрушения кубитов в следствии декогеренции может очень сильно отличаться. В современных квантовых компьютерах время «жизни» кубитов составляет примерно несколько микросекунд, чего категорически недостаточно для сложных вычислений [1].

В результате проведённого исследования были рассмотрены фундаментальные основы квантовой механики, включая её основные законы, принципы и математический аппарат, необходимый для описания квантовых явлений и разработки квантовых технологий. Особое внимание уделено анализу устройства и принципов работы квантовых компьютеров, а также выявлению актуальных проблем, препятствующих их широкому внедрению.

В работе проанализированы современные подходы к решению ключевых технических и теоретических трудностей, определены направления дальнейших исследований в области

квантовых вычислений. Кроме того, предложены оригинальные варианты возможных усовершенствований, способствующих повышению эффективности и устойчивости квантовых систем. Таким образом, представленное исследование создаёт основу для более глубокого понимания квантовых технологий и перспектив их практического применения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савельев И. В. Основы теоретической физики. В 2 т. Т. 2. Квантовая механика : учеб. для вузов / И. В. Савельев. – 6-е изд., стер. – М. : Наука : Физматлит, 2009. – 543 с. : ил. – ISBN 978-5-02-033841-4.
2. Ландау Л. Д. Квантовая механика (нерелятивистская теория) / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. В. Б. Берестецкого. – 5-е изд., испр. – М. : Физматлит, 2004. – 712 с. : ил. – (Теоретическая физика ; т. 3). – ISBN 5-02-015460-3.
3. Дирак П. А. М. Принципы квантовой механики / П. А. М. Дирак ; пер. с англ. В. А. Фока. – М. : Наука : Физматлит, 1960. – 448 с. : ил. – (Классики науки).

Ковтун Владимир Юрьевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент инжинирингового колледжа

E-mail: 1845716@bsuedu.ru

Михайлов Максим Игоревич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент инжинирингового колледжа

E-mail: 1845686@bsuedu.ru

УДК 629.05

Научный руководитель:
Шеметова Ольга Михайловна,
доцент кафедры информационных
и робототехнических систем,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)

О.Г. ЗАЕВА, С.С.СЕДОВ, О.М. КИЗИЛОВ
O.G. ZAEVA, S.S. SEDOV, O.M. KIZILOV

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ УЧЕБНЫЙ ПУЛЬТ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ БОРТОВЫМИ СИСТЕМАМИ

UNIVERSAL TRAINING CONTROL UNIT FOR CONTROLLING ON-BOARD SYSTEMS

Статья посвящена разработке универсального учебного пульта для управления бортовыми системами летательных аппаратов в авиасимуляторах. Проведён анализ существующих зарубежных устройств, выявлены их преимущества и недостатки. В качестве импортозамещения предложен собственный проект, включающий 3D-моделирование корпуса панели управления и платформы ручки управления двигателем. Разработана электрическая схема с использованием мультиплексоров и микроконтроллера, реализована поддержка USB HID-устройства с дескриптором, обеспечивающим эмуляцию джойстика. Программное обеспечение микроконтроллера написано на языке C/C++ и обрабатывает сигналы кнопок, тумблеров, энкодеров, переменных резисторов и стика джойстика. Благодаря использованию стандартного USB HID-интерфейса пульт может применяться не только в авиационных, но и в автомобильных, морских и космических симуляторах, а также для управления реальными процессами. Разработка является полностью отечественной и может рассматриваться как альтернатива зарубежным аналогам.

Ключевые слова: бортовые системы, Virpil, пульт управления, блок, управление, микроконтроллер.

This article focuses on the development of a universal training remote control for controlling onboard aircraft systems in flight simulators. An analysis of existing foreign devices is conducted, identifying their advantages and disadvantages. A proprietary design is proposed as an import substitution, including 3D modeling of the control panel housing and engine control stick platform. An electrical circuit using multiplexers and a microcontroller is developed, and support for a USB HID device with a descriptor enabling joystick emulation is implemented. The microcontroller software is written in C/C++ and processes signals from buttons, toggle switches, encoders, variable resistors, and the joystick stick. Thanks to the use of a standard USB HID interface, the remote control can be used not only in aviation but also in automotive, marine, and space simulators, as well as for controlling real-world processes. This development is entirely domestic and can be considered an alternative to foreign counterparts.

Keywords: On-board systems, Virpil, control panel, unit, control, microcontroller.

Много людей желают стать с детства лётчиками, но не у всех сбывается такая мечта, у кого-то нет бюджета для получения лицензии пилота, а у кого-то нет возможности пройти медкомиссию по состоянию здоровья. В настоящее время существует много авиационных симуляторов, которые позволяют осуществить свою мечту и попробовать себя в роли пилота, не выходя из дома. Такие симуляторы подразделяются на упрощённые и реалистичные.

Упрощённые симуляторы подразумевают облегчённое управление транспортом, пользователю не нужно изучать инструкцию эксплуатации выбранной моделью авиационного аппарата и у него есть возможность частично взаимодействовать с бортовыми системами. Как правило для этого хватает клавиатуры и мышки или джойстика. Реалистичные симуляторы подразумевают управление транспортом близкое к реалистичному, то есть необходимо изучать инструкцию эксплуатации выбранной моделью авиационного аппарата, взаимодействовать со всеми доступными функциями бортовой системы, выполнять список правил безопасности, который соблюдает, каждый настоящий лётчик.

На практике многие пользователи реалистичных симуляторов сталкиваются с тем что не удобно взаимодействовать с бортовыми системами летального аппарата в экстренных

ситуациях, где необходимо быстро отреагировать на возникшую ситуацию, например, выключить один из двигателей в случае его неисправности, выпуск тормозного парашюта после приземления во время пробега, если самолёт им оборудован, настройка работы радара для поиска и анализа неопознанных объектов, сброс подвесных компонентов для комфортного выполнения посадки техники [1-5]. Подведя итог обзора существующих панелей, сведём все данные в таблицу 1. Как можно заметить, что у всех производителей, есть отличие между собой и в их решениях есть свои плюсы и минусы, а также каждая компания предлагает разные варианты своих решений.

Таблица 1 – Сравнение устройств различных компаний

Устройство	ПО	USB HID	Кнопки	Энкодеры	Стики джойстика	Потенциометры	Тумблеры
Virpil	+	–	+	+	+	+	+
Thrustmaster	–	+	+	+	+	+	+
Logitech	–	+	+	+	+	+	+
Winwing	+	–	+	+	+	+	+
VKB sim	+	–	+	+	+	+	+

Разница между устройствами представленных в таблице 1 заключается в том, что используется разное количество физических кнопок, тумблеров, стиков джойстика и энкодеров, а также в их наличии, в каких-то устройствах может быть и кнопки, и тумблеры, а у другого устройства будет больше вариантов элементов управления. Но так как все рассмотренные устройства являются зарубежными, мы решили разработать отечественный пульт для управления бортовыми системами как вариант импортозамещения.

Первым этапом была разработка 3D модель панели управления. На рисунке 1 представлена 3D сборка универсальной панели управления.

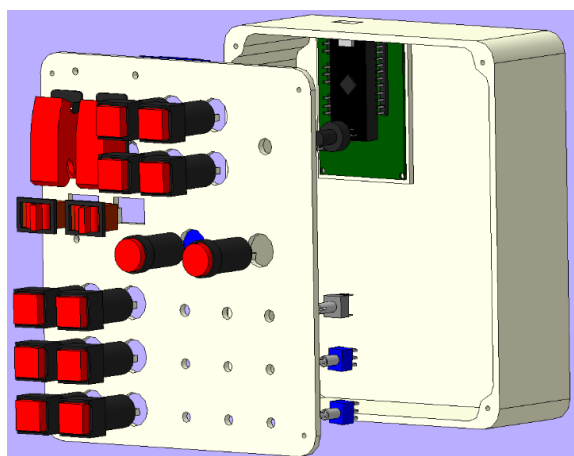


Рисунок 1 – 3D сборка универсальной панели управления

Чтобы начертить универсальную панель управления, необходимо сначала начертить крышку и на ней сделать отверстия под кнопки, энкодеры, тумблеры, галетный переключатель. Также нужно разместить два мультиплексора, чтобы в дальнейшем была возможность сделать компактную сборку электроники. После создания крышки, можно сделать корпус размеры, которого будут частично совпадать. На корпусе было сделано посадочное место под печатную плату контроллера, к которому будет подключаться вся электроника. Чтобы была возможность подключать универсальную панель управления к компьютеру, было сделано отверстие в который можно вставить USB Type C шнур и подключить провода для подключения блока ручки управления двигателем.

Так как посадочные места совпали с универсальной панелью управления, то следующим шагом было ручка управления двигателем, она должна быть спроектирована очень компактным, с возможностью управления оборотами левого и правого двигателя по

отдельности. Также многие пользователи желают, чтобы рядом располагался стик джойстика для триммирования летательного аппарата. У аналогов тоже присутствует стик джойстика, а также набор кнопок и энкодеров. Но так как присутствуют ограничения на количество подключаемых элементов управления, было принято решение оставить один стик джойстика, который можно настроить в дальнейшем, как мини джойстик.

Сначала был начерчен корпус, на котором будет располагаться ручка левого и правого двигателя. Ручка будет закреплена на переменном резисторе для отслеживания положения и на общем вале. На крышке корпуса были начерчены прямоугольные отверстия для свободного движения ручки вперёд-назад. Чтобы закрепить стик джойстика, было начерчено посадочное место. На рисунке 2 представлена 3D сборка платформы ручки управления двигателем.

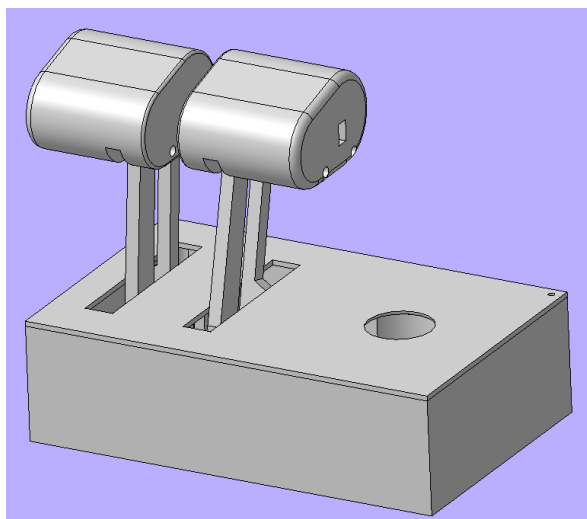


Рисунок 2 – Сборка платформы ручки управления двигателем

Посадочное место под джойстик располагается сбоку ручки управления двигателем, так как это необходимо для комфортного перемещения кисти руки человека от одной позиции к другой, чтобы ничего не мешало.

У рассмотренных в обзоре устройств, есть приложение для обработки данных с последующей эмуляции джойстика. Но их приложение значительно отличается, так как предназначено только для одного единственного симулятора и в их программном обеспечении есть скрипты, которые берут ключевые данные из файлов симулятора и используют дальше в своих устройствах. Например, для дублирования изображений дисплеев бортовой системы летательных аппаратов на дисплеи устройств Winwing. Все приложения созданы по неофициальным данным на языке программирования C# с использованием framework .NET и WPF или на C++ с библиотеками Qt для кроссплатформенности. Возможны элементы скриптинга и автоматизации, написанные на Python или JavaScript. А сами устройства аппаратная часть вероятно написано на языке C или C++. Разница между языками заключается, только в возможностях и удобствах написания программного кода, производительность будет одинаковой, так как компиляторы сами сгенерируют оптимальный ассемблер код для микроконтроллера.

Класс USB HID описывает устройства, используемые практически в каждом современном компьютере. В классе USB HID существует множество predefined функций. Эти функции позволяют производителям оборудования разрабатывать устройства в соответствии со спецификациями класса USB HID и ожидать, что они будут работать с любым программным обеспечением, соответствующим этим спецификациям.

Чтобы разработать такой дескриптор, необходимо разделить клавиатуру и джойстик на report ID, именно таким образом получится добиться этого эффекта. Дескрипторы разрабатываются в специальном программном обеспечении HID DESCRIPTOR TOOL, которое создала компания USB Implementers Forum и находится в общем доступе, каждый

может попробовать создать своё собственное USB HID устройство [6]. Программное обеспечение для разработки дескрипторов показано на рисунке 3.

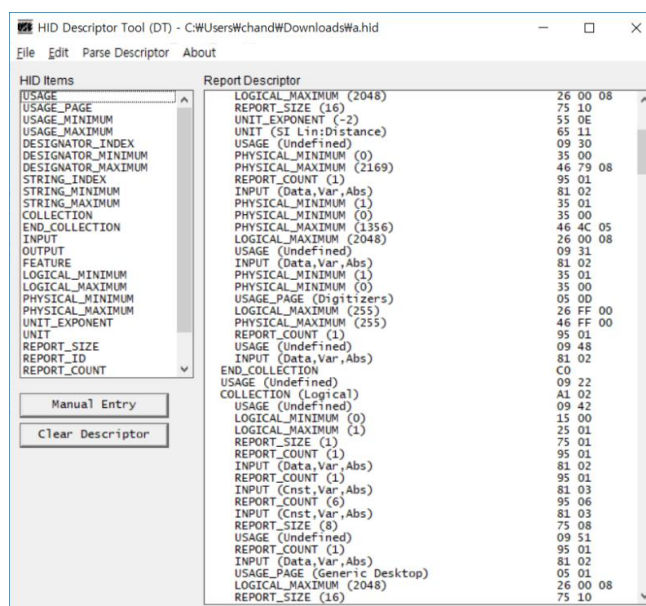


Рисунок 3 – Программное приложение для работы с HID-дескрипторами

Согласно требованиям эмуляции джойстика, рапорт должен отправляться с помощью USB интерфейса в компьютер в установленный период времени, который был прописан в дескрипторе, а именно 10 мили секунд. Библиотека для работы с USB HID показана на рисунке 3. Для джойстика ниже 10 мили секунд отправка рапорта невозможна, так как наблюдаются некорректное работа драйвера компьютера USB HID [6].

Чтобы подключить большое количество кнопок и тумблеров, необходимо использовать расширитель портов ввода-вывода. Существует много разных вариантов, например, микросхема PCF8574, позволяет подключить максимум 8 кнопок, а данные потом опрашиваются микроконтроллером по I2C интерфейсу. Также существуют мультиплексоры, с которыми надо взаимодействовать по принципу булевой логики, но требуют задействовать некоторое количество портов вывода, всё зависит от разрядности.

В программном коде для микроконтроллера необходимо реализовать:

- отработку энкодеров, кнопок, переменных резисторов;
- таймер счётчик, который считает микросекунды;
- UART интерфейс;
- USB HID устройство.

Универсальная панель управления бортовыми системами была соединена с ручкой управления двигателем проводниками для их общения между собой. Получившиеся сборка показана на рисунке 4.



Рисунок 4 – Универсальная панель управления и ручка управления двигателем

Для тестирования проекта, устройство было подключено к компьютеру для того, чтобы в диспетчере устройств обнаружить устройство. А для проверки работы универсальной панели управления вместе с блоком ручки управления двигателем было запущено стандартное приложение Windows игровые устройства, в котором можно открыть свойство выбранного игрового контроллера. На рисунках 5 показан результат распознавания устройства компьютером.

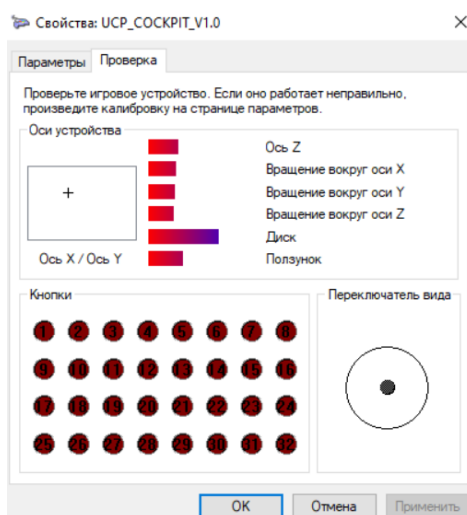


Рисунок 5 – Свойство HID устройства универсальной панели управления

Универсальная панель управления бортовыми системами вместе с блоком ручки управления двигателем была испытана в авиационном симуляторе Digital Combat Simulator World. Данное программное обеспечение является реалистичным симулятором с реально существующими прототипами летальных аппаратов. В качестве летального аппарата был выбран самолёт Су-25, у которого достаточно функций бортовой системы для полной проверки работы разработанного устройства.

Чтобы испытать получившиеся устройство, необходимо подключить USB кабель к компьютеру и запустить приложение DCS world. Затем открыть настройки управления выбранного летательного аппарата и назначить активацию необходимых функций на нажатие кнопок, тумблеров и галетного переключателя. По такому же самому принципу можно настроить виртуальные оси для ручки управления двигателем и энкодеров. Настройка управления показана на рисунке 6.

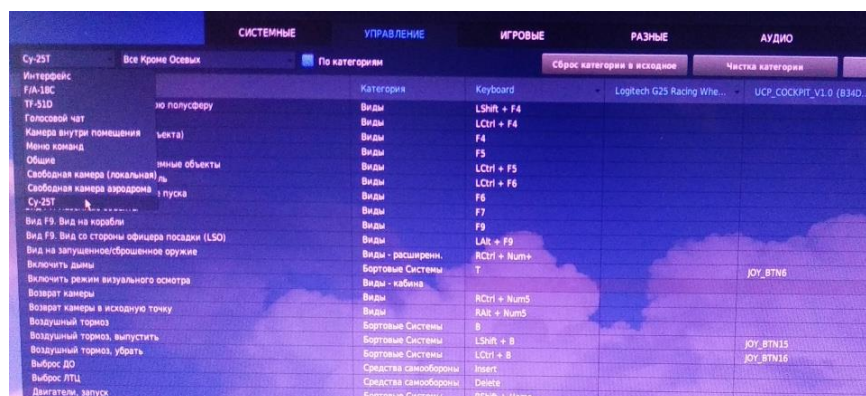


Рисунок 6 – Настройки управления самолётом Су-25Т в авиационном симуляторе DCS world

Таким образом, можно использовать данный пульт управления в любых симуляторах авиационных, автомобильных, морских и космических. Универсальность была достигнута благодаря USB HID интерфейсу, к который есть на любом компьютере, а если он есть на каждом компьютере, это значит, что можно сделать своё уникальное приложение, которое будет считывать все сигналы с пульта и перенаправлять для управления реальными

процессами, например, автоматизация на производстве, управление беспилотниками, роботами, манипуляторами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О проекте VIRPIL Controls – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://virpil-controls.by/o-proekte>.
2. Logitech – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Logitech>.
3. Winwing – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://winwingsim.com/view/index.html>.
4. VKB sim – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://shop.vkb-sim.pro/>.
5. Human Interface Devices Specifications and Tools – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.usb.org/hid>.
6. USB HID Class – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/USB_human_interface_device_class.

Седов Сергей Сергеевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: digitalsssne@mail.ru

Заева Ольга Геннадьевна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Старший преподаватель кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: hudasova_og@bsuedu.ru

Кизилев Олег Михайлович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: 1952728@bsuedu.ru

УДК 005.591.6

*Научный руководитель:
Заева Ольга Геннадьевна,
старший преподаватель кафедры
информационных и робототехнических систем,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

В.В. УСИКОВ, Э.А. КИЗИЛОВА
V.V. USIKOV, E.A. KIZILOVA

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ЗАХВАТА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ MODERNIZATION OF THE METAL PARTS CAPTURE SYSTEM

Статья посвящена модернизации существующих систем захвата металлических деталей для транспортировки в металлургической промышленности. Рассматривается проблема, заключающаяся в том, что существующие системы захвата металлических деталей, соответственно использующие электромагнитный захват, потребляют электроэнергию в излишней форме для поднятия металлических деталей. Предлагается решение по модернизируемой системе захвата металлических деталей. Основное внимание уделено реализации прототипа, которое подразумевает его трёхмерное моделирование, печать всех компонентов на 3D принтере, сборку и монтаж. Тестирование прототипа является важной частью, которая показывает эффективное модернизированное решение адаптивного регулирования грузоподъёмности для экономии электроэнергии.

Ключевые слова: прототип, захват деталей, магнит, металлические детали.

The article is devoted to the modernization of existing systems for capturing metal parts for transportation in the metallurgical industry. The problem is considered, which is that the existing systems for capturing metal parts, which use electromagnetic capture, consume excessive amounts of electricity for lifting metal parts. A solution is proposed for the modernized system for capturing metal parts. The main focus is on the implementation of the prototype, which includes three-dimensional modeling, 3D printing of all components, assembly, and installation. Prototype testing is an important part that demonstrates an effective and modernized solution for adaptive load capacity control to save energy.

Keywords: prototype, parts gripper, magnet, metal parts.

Решением проблемы с не разумным использованием лишней электроэнергии является модернизация системы путём адаптивного регулирования напряжения на электромагните [3] и внедрения дополнительных измерительных устройств, таких как тензодатчик, в конструкцию системы захвата металлических деталей. Такое решение позволит регулировать грузоподъёмность электромагнитного захвата в зависимости от заранее измеряемых параметров массы транспортируемой металлической детали.

Модернизация системы захвата металлических деталей происходит с помощью адаптивного регулирования напряжения на электромагнитном захвате путём дополнительных измерительных устройств, таких как тензодатчик. На рисунке 1 представлена модернизированная система захвата металлических деталей с обозначениями номера отдельной части системы. Механизм подачи детали 1 перемещает деталь на весы, механизм весов 2 перемещает деталь на конвейерную ленту. Конвейерная лента 3 предназначена для перемещения детали до точки срабатывания датчика индуктивности. Кронштейн для фиксирования датчика индуктивности 4, корпус блока электронной платы управления 5. Манипулятор 6 с электромагнитным захватом, который забирает металлическую деталь с точки срабатывания датчика индуктивности и переносит её для дальнейшего размещения на основание корпуса манипулятора. Данный процесс производит транспортировку металлических деталей с учётом их массы, благодаря внедрению в систему тензодатчика.

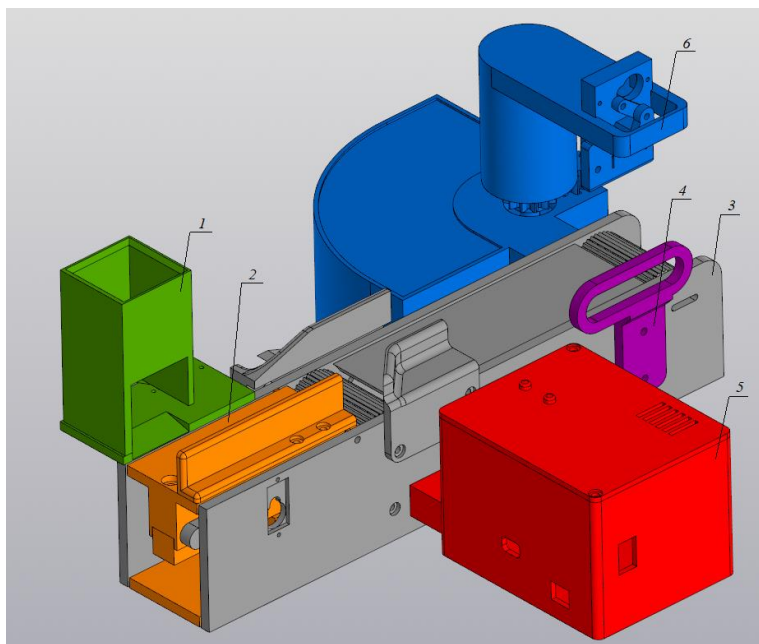


Рисунок 1 – Модернизированная система захвата металлических деталей

Для реализации проекта модернизации системы захвата металлических деталей предлагается использование специализированного программного комплекса КОМПАС-3D [1]. Ключевой частью трёхмерной сборки является внедрение механизма весов, представленного на рисунке 2.

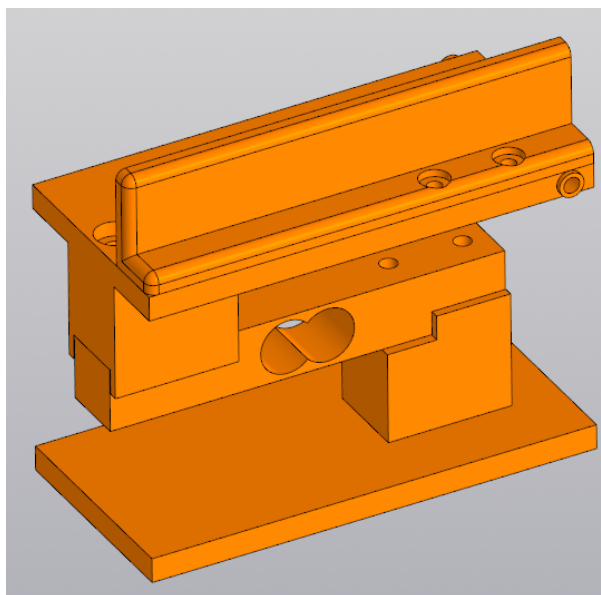


Рисунок 2 – Трёхмерная модель весов

Конструкция весов представлена в виде верхней взвешиваемой части, с бортиком, который является ограничителем для передвигаемой детали, а также нижней части весов, которая опирается от пол, и тензодатчика к которому крепятся обе эти части. Весы устанавливаются между двумя пластинами основного корпуса конвейера и крепятся на ось расположенной в верхней части весов, что позволяет им поворачиваться для перемещения металлической детали дальше на саму ленту конвейера. Трёхмерная сборка, представленная на рисунке 1, представляет собой соединение всех созданных компонентов модернизированной системы захвата металлических деталей.

После печати трёхмерных моделей посходит сборка конструкции прототипа. Сборка с монтажом проводки представлена на рисунке 3.

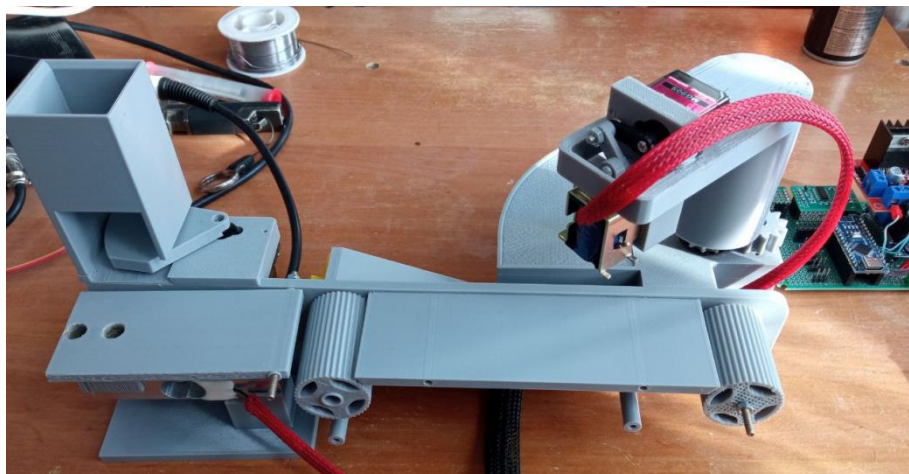


Рисунок 3 – Сборка с монтажом проводки рассмотренных механизмов

Монтаж проводов и подключение всех электронных компонентов к плате управления представлено на рисунке 4.

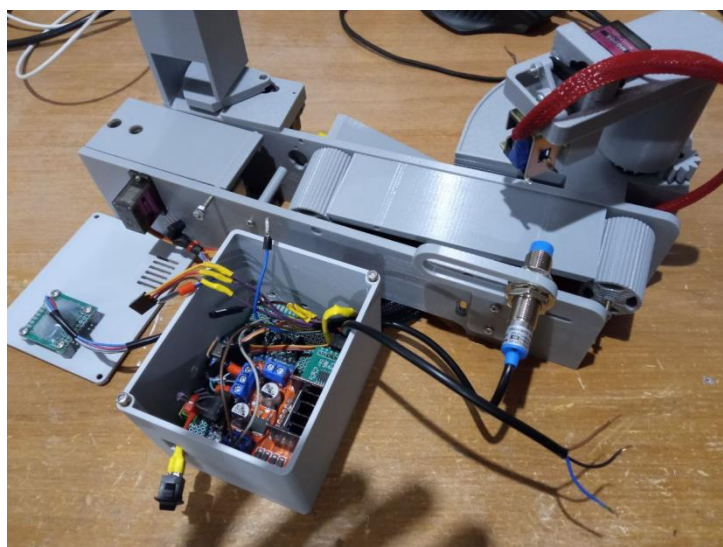


Рисунок 4 – Подключение всех электронных компонентов к плате

Итоговый вариант сборки модернизированной системы захвата металлических деталей представлен на рисунке 5.

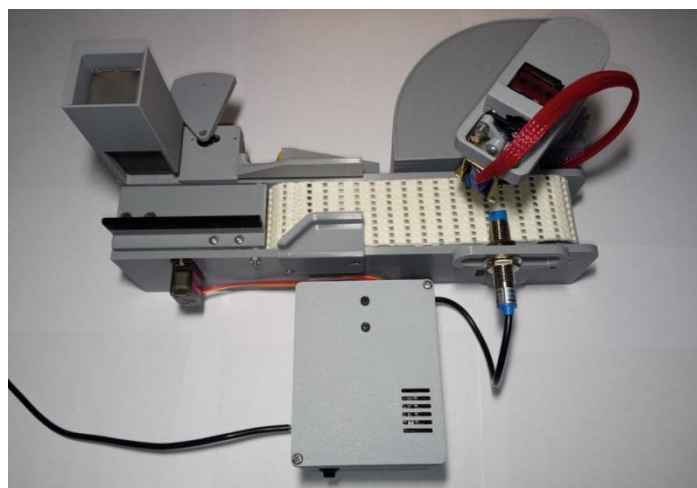


Рисунок 5 – Модернизированная система захвата металлических деталей

Натяжение ленты конвейера осуществляется посредством фиксации ролика и одной опоры на определенном расстоянии друг от друга [4]. Ролик перемещается по направляющим, равномерно распределяя нагрузку на ленту, предотвращая образование складок и провисание. Расстояние между роликом и опорой выбирается исходя из свойств материала и величины требуемого усилия натяжения. Объектами транспортировки прототипа являются изготовленные из профильной трубы и соединенные полуавтоматической сваркой, кубы размера 3х3х3 см.

Прототип отличается надёжной конструкцией, которая обладает всеми необходимыми средствами для успешного функционирования. Конструкция собрана и настроена под процесс транспортировки металлических деталей.

Чтобы проверить работу модернизированной системы захвата, необходимо перед включением загрузить в контейнер для подачи два металлических куба и включить тумблер питания вверх и подключить кабель USB type-c для передачи данных. После чего в программе открыть последовательный монитор порта, подключенного к плате. Там приходит уведомление об успешной загрузке подготовки кода к работе.

Для запуска основного цикла необходимо нажать кнопку старт на крышке корпуса электронной платы управления, находящейся ближе к ленте конвейера. После нажатия кнопки запускается процесс транспортировки одной из металлических деталей. После того как деталь прошла взвешивание можно наблюдать в мониторе порта считанные и рассчитанные данные о детали. Данные о транспортируемых деталях представлены на рисунке 6.

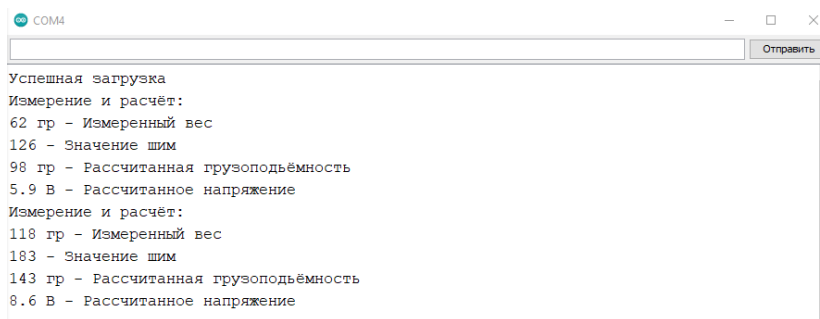


Рисунок 6 – Данные о первой и второй детали

На рисунке 6 наблюдается больший вес второй детали и значительное изменение расчётных параметров грузоподъёмности электромагнита. Разница в весе 56 гр. Напряжение увеличивается на 2,7 В.

Результат транспортировки второй детали с большим весом представлен на рисунке 7.

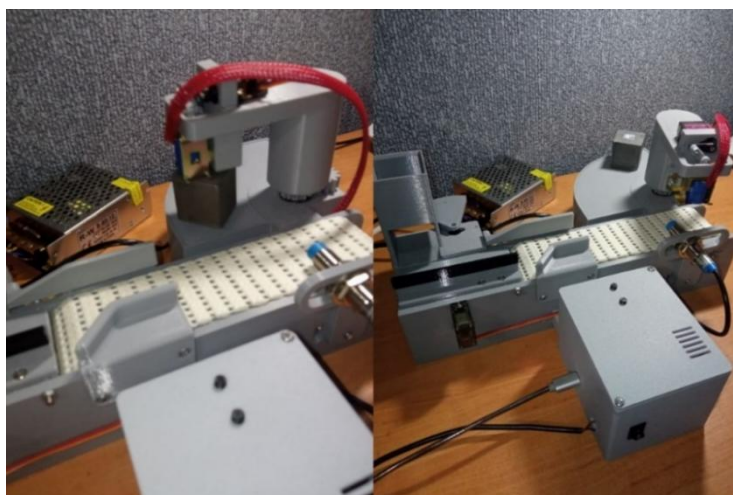


Рисунок 7 – Завершение транспортировки второй детали

Разница потребляемой мощности между вторым и первым грузом составляет 13,5 Вт при силе тока в 5 А. Грузоподъемность электромагнита адаптируется при работе с разными массами металлических деталей [2].

Тестирование прототипа модернизированной системы захвата металлических деталей показывает полную работоспособность и эффективность предложенного решения.

Модернизация системы захвата металлических деталей показывает эффективную работу. Успешно реализовано адаптивное регулирование напряжения на электромагнитном захвате и внедрение дополнительного измерительного тензодатчика в конструкцию модернизированной системы захвата металлических деталей. Такое решение справляется с регулированием грузоподъемности электромагнитного захвата в зависимости от измеряемых параметров массы металлической детали.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. КОМПАС-3D. Учебная версия. [Электронный ресурс] URL: <https://kompas.ru/kompas-educational/about/> – (Дата обращения: 24.02.2026). – Текст: электронный.
2. Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование. Основные задачи автоматического управления [Электронный ресурс] URL: <https://studfile.net/preview/733725/page:7/> – (Дата обращения: 10.02.2026). – Текст: электронный.
3. Электромагниты: устройство, расчёт, применение. [Электронный ресурс] URL: <https://radioskot.ru/publ/spravochnik/elektromagnity-ustrojstvo-raschyot-primenenie?ysclid=m150nhiwqn102450910> – (Дата обращения: 8.02.2026). – Текст: электронный.
4. Киселёв Б. Р. Ленточные конвейеры обрабатывающей промышленности: учебник / Б. Р. Киселёв. Санкт-Петербург: Лань, 2020. 212 с.: ил. (Учебники для вузов). – (Дата обращения: 3.02.2026). – Текст: электронный.

Усиков Вячеслав Васильевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: 1952797@bsuedu.ru

Кизилова Элла Алексеевна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: 1952797@bsuedu.ru

УДК 621.791

*Научный руководитель:
Шеметова Ольга Михайловна,
доцент кафедры информационных
и робототехнических систем,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

О.Г. ЗАЕВА, М.В.САПРОНОВ, О.М. КИЗИЛОВ, В.А. ЗАЙЦЕВ
O.G. ZAEVA, M.V. SAPRONOV, O.M. KIZILOV, V.A. ZAITSEV

РАЗРАБОТКА СВАРОЧНОЙ ГОЛОВКИ ДЛЯ РОБОТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА DEVELOPMENT OF A WELDING HEAD FOR A ROBOTIC COMPLEX

В статье описан процесс проектирования и имитационного моделирования двухпроводной сварочной горелки для роботизированных систем сварки. Проведен обзор конструктивных решений, определяющих эффективность и стабильность сварочного процесса. Детально рассмотрено имитационное моделирование в системе RoboGuide, где были оценены кинематические характеристики комплекса, режимы подачи проволоки и динамическая нагрузка на робота. Показано, что применение двухпроводной схемы обеспечивает увеличение скорости наплавки при сохранении устойчивости дуги и допустимых нагрузок на робот.

Ключевые слова: роботизированная сварка, двухпроводная сварка, MIG/MAG, RoboGuide, моделирование, сварочная головка.

The article describes the process of designing and simulating a two-wire welding torch for robotic welding systems. It provides an overview of the design solutions that determine the efficiency and stability of the welding process. The article also discusses the simulation in the RoboGuide system, where the kinematic characteristics of the complex, the wire feed modes, and the dynamic load on the robot are evaluated. It is shown that the use of a two-wire scheme increases the deposition speed while maintaining the stability of the arc and the allowable load on the robot

Keywords: robotic welding, dual-wire welding, MIG/MAG, RoboGuide, simulation, welding torch.

Современные роботизированные сварочные комплексы характеризуются высокой степенью автоматизации и применяются в различных отраслях промышленности, включая машиностроение, судостроение и производство металлоконструкций. Использование промышленных роботов позволяет повысить точность и безопасность технологического процесса, качество сварных соединений и снизить влияние человеческого фактора [1].

Одним из ключевых элементов таких комплексов является сварочная головка, от конструктивных особенностей которой зависит эффективность процесса сварки. В традиционных системах широко применяются однопроводные сварочные головки, однако их производительность ограничена, особенно при выполнении сварки с высоким объёмом наплавляемого металла. Увеличение скорости подачи проволоки в таких системах приводит к нестабильности дуги, росту разбрызгивания и ухудшению качества сварного соединения [2].

В связи с этим актуальным направлением является применение двухпроводных сварочных головок, позволяющих реализовать более эффективные режимы сварки за счёт одновременной подачи двух электродных проволок.

Конструкция сварочной головки включает токопроводящий узел, механизм подачи проволоки, систему охлаждения, газораспределительный канал, защитное сопло и корпус, выполненный из термостойких материалов. В зависимости от условий эксплуатации используются воздушно-охлаждаемые и жидкостно-охлаждаемые конструкции. Воздушные системы отличаются меньшей массой и простотой обслуживания, однако ограничены по рабочим токам. Жидкостное охлаждение обеспечивает более эффективный теплоотвод, что позволяет выполнять работы при высоких нагрузках [1].

Разрабатываемая двухпроводочная сварочная головка включает два независимых канала подачи проволоки, каждый из которых оснащён собственным механизмом подачи и контактным наконечником. Проволоки располагаются под определённым углом относительно друг друга, что позволяет формировать две дуги в зоне сварки. Такое решение обеспечивает возможность реализации различных технологических режимов, включая Tandem MIG/MAG и двойной импульсный режим.

Сварочная головка с двухпроводочной подачей представляет собой механико–технологический узел, устанавливаемый на манипулятор промышленного робота и предназначенный для формирования сварочной дуги, подачи присадочного материала и стабилизации процесса сварки. В отличие от традиционных однопроводочных систем, данная конструкция обеспечивает одновременную подачу двух электродов в зону сварки, что позволяет реализовывать режимы повышенной производительности, в том числе параллельное плавление или комбинированное управление дугами.

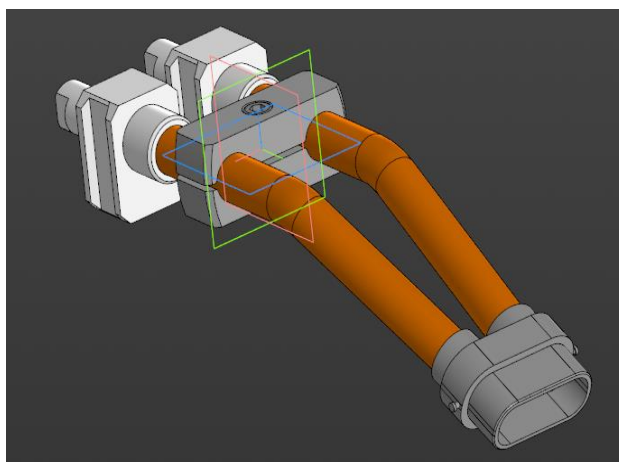


Рисунок 1 – Модель горелки дуговой сварки

Внутри корпуса горелки размещается механизм подачи проволоки, включающий приводной двигатель, редуктор и систему роликов. Этот узел обеспечивает транспортировку сварочных проволок из катушек к зоне сварки. Привод формирует необходимую скорость подачи, а ролики создают усилие прижима, исключающее проскальзывание материала. В двухпроводочной системе используются два независимых канала подачи, что позволяет регулировать параметры каждой проволоки отдельно.

Основным преимуществом двухпроводочной схемы является увеличение производительности за счёт роста суммарной подачи металла. При этом происходит более равномерное распределение теплового воздействия, что способствует снижению деформаций и улучшению структуры сварного шва [2–3]. Вместе с тем применение двухпроводочной схемы сопровождается рядом технических сложностей. Необходимо обеспечить синхронизацию подачи проволок, стабильную газовую защиту и эффективное охлаждение. Увеличение массы конструкции также оказывает влияние на динамику работы робота и требует дополнительных расчётов нагрузок на манипулятор.

Имитационное моделирование процесса сварки выполнено в среде RoboGuide, которая позволяет воспроизводить работу промышленного робота с высокой степенью точности. На этапе моделирования была задана траектория движения сварочной головки, соответствующая линии сварного соединения. Такой подход позволяет оценить достижимость рабочей зоны, корректность ориентации инструмента и отсутствие пересечений с элементами конструкции. По результатам моделирования видно, что робот способен выполнять заданную траекторию без потери точности. Все точки траектории достигаются, при этом сохраняется необходимое положение сварочной головки относительно изделия. При типичных режимах работы достигается значительное увеличение производительности по сравнению с однопроводочной схемой.

Отдельно можно вынести систему подачи проволоки, в которой сопротивление подаче определяется длиной канала, наличием изгибов и усилием прижима роликов. В ходе анализа было установлено, что требуемое усилие подачи находится в диапазоне, характерном для стандартных механизмов. Это означает, что для реализации двухпроводочной схемы не требуется существенное усложнение приводной части. Оценка мощности привода показала, что даже при увеличенной суммарной подаче проволоки требуемая мощность остаётся относительно небольшой. Что соответствует стандартным системам подачи, обеспечивающим стабильную работу системы.

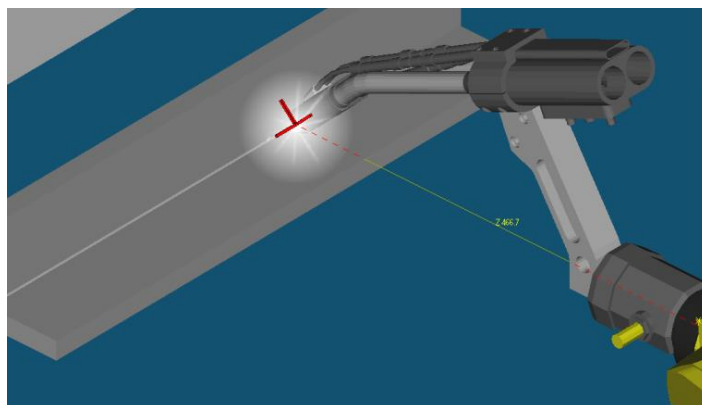


Рисунок 2 – Процесс сварки с использованием программы Roboguide

После проверки инерционных характеристик оборудования параметры нагрузки в данном случае находятся в допустимых пределах, что подтверждает возможность безопасной эксплуатации.

Для выполнения программной реализации процесса выбрана среда симуляции RoboGuide с использованием виртуального контроллера. Интерфейс системы полностью воспроизводит функциональность реального контроллера промышленного робота, она позволяет выполнять разработку и отладку программ в условиях, приближенных к реальным.

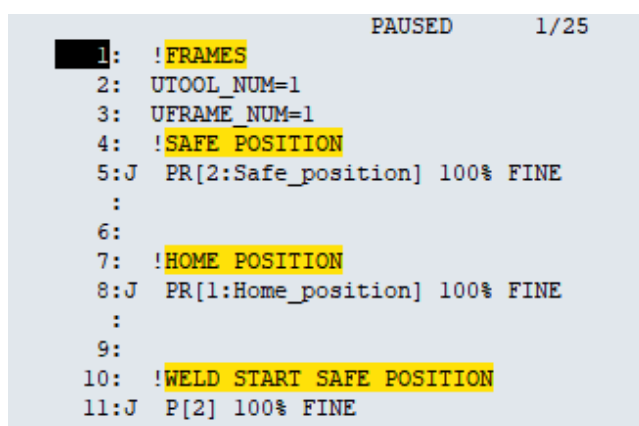


Рисунок 3 – Задание расположений робота

Программирование осуществляется с использованием стандартных команд перемещения, включая суставные и линейные движения. Линейные движения применяются при выполнении сварки, поскольку обеспечивают точное следование траектории шва. Для управления процессом сварки используются специализированные команды, обеспечивающие запуск и завершение процесса, а также контроль технологических параметров. Настройка систем координат инструмента и изделия позволяет обеспечить точное позиционирование сварочной головки. Использование позиционных регистров и параметрических переменных адаптирует программу под различные условия без её полной переработки.

```

13: !WELD START
14:L P[1] 100mm/sec FINE
15:L P[3] 100.0inch/min FINE
   : Weld Start[1,1]
16:
17: !WELD END
18:L P[4] WELD_SPEED FINE
   : Weld End[1,1]
19:
20: !WELD END SAFE POSITION
21:L P[5] 100mm/sec FINE
22: !HOME POSITION
23:J PR[1:Home_position] 100% FINE
   :
24:
[End]

```

Рисунок 4 – Инициализация процесса сварки

Дополнительно в процессе моделирования были проанализированы режимы движения робота, включая переходы между точками, скорость перемещения и точность позиционирования. Оптимальный выбор параметров движения позволяет снизить динамические нагрузки и повысить стабильность процесса сварки. Проведённое моделирование подтвердило, эффективность решения для повышения производительности роботизированной сварки. Предложенная конструкция обеспечивает увеличение скорости наплавки, снижение тепловых деформаций и стабильность технологического процесса при сохранении допустимых нагрузок на манипулятор.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зараменских, Е. П. Управление жизненным циклом информационных систем : учебник и практикум для вузов / Е. П. Зараменских. – 4-е изд. – Москва : Издательство Юрайт, 2026. – 458 с. – ISBN 978-5-534-21900-5. – Текст : электронный // URL: <https://urait.ru/bcode/582402> (дата обращения: 15.04.2026).
2. Аббясов, В. М. Автоматизация технологических процессов. Промышленные роботизированные комплексы : учебник для среднего профессионального образования / В. М. Аббясов, С. Л. Петухов. – Москва : Издательство Юрайт, 2026. – 89 с. – ISBN 978-5-9916-5700-6. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/600164> (дата обращения: 15.04.2026).
3. Архипов, М. В. Промышленные роботы: управление манипуляционными роботами : учебник для вузов / М. В. Архипов, М. В. Вартанов, Р. С. Мищенко. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2026. – 170 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-11992-3. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/587633> (дата обращения: 15.04.2026).

Сапронов Максим Витальевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)
Студент кафедры информационных и робототехнических систем
E-mail: 1390032@bsuedu.ru

Заева Ольга Геннадьевна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)
Старший преподаватель кафедры информационных и робототехнических систем
E-mail: hudasova_og@bsuedu.ru

Кизилев Олег Михайлович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)
Студент кафедры информационных и робототехнических систем
E-mail: 1952728@bsuedu.ru

Зайцев Владислав Александрович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)
Студент кафедры информационных и робототехнических систем
E-mail: 1469486@bsuedu.ru

УДК 004.65

*Научный руководитель:
Иващук Ольга Александровна,
профессор кафедры информационных
и робототехнических систем,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

Н.С. ПУЗЫРЕВ
N.S. PUZYREV

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ АРХИТЕКТУРЫ БАЗЫ ДАННЫХ
ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИМ СНАБЖЕНИЕМ**
**DATABASE DESIGN FOR AN AUTOMATED DRUG
SUPPLY MANAGEMENT SYSTEM**

В статье рассматривается задача проектирования базы данных для автоматизированной системы управления фармацевтическим снабжением медицинской организации. Цель работы состоит в формировании такой структуры данных, которая обеспечивает не только складской учёт, но и поддержку прогнозирования потребности, сценарного моделирования, формирования планов снабжения. Предложена модульно-контурная схема базы данных, включающая нормативно-справочный, складской, закупочно-логистический, клинико-нормативный и планово-аналитический контуры. Показано, что включение в базу данных сущностей, отражающих сценарии, версии прогнозов, метрики плана и журнал управленческих решений, обеспечивает воспроизводимость результатов работы системы.

Ключевые слова: база данных; лекарственное снабжение; проектирование БД; управление запасами.

The paper addresses the problem of database design for an automated drug supply management system of a medical organization. The goal is to define a data structure that supports not only inventory accounting but also demand forecasting, scenario modeling and generation of supply plans. A modular contour-based database structure is proposed, including reference, warehouse, procurement and logistics, clinical and regulatory, as well as planning and analytical layers. It is shown that storing scenarios, forecast versions, plan metrics, and decision logs makes the system results reproducible.

Keywords: database; drug supply; medical organization; database design; inventory management.

Целью настоящей работы является разработка архитектуры базы данных для автоматизированной системы управления лекарственным снабжением, ориентированной на поддержку процессов прогнозирования потребности, формирования альтернативных планов снабжения и их последующей оценки. В отличие от локальных учётных решений, такая база данных должна обеспечивать не только хранение фактов движения лекарственных средств, но и фиксацию контекста принятия решений: параметров прогнозных запусков, сценариев, ограничений, критериев сравнения и утверждённых вариантов плана.

Архитектурно разрабатываемая система рассматривается как многоуровневая модульная структура, включающая слой данных, слой прикладной логики, аналитические модули и пользовательский интерфейс. В этом контуре база данных выступает центральным интеграционным ядром, связывающим подсистему сбора и консолидации данных, модуль прогнозирования потребности, модуль сценарного моделирования, модуль формирования альтернативных планов снабжения, модуль многокритериальной оценки и модуль мониторинга исполнения плана [1-3]. Следовательно, проектирование БД должно исходить из двойственной природы системы: с одной стороны, она обслуживает операционные процессы; с другой – обеспечивает аналитические расчёты и трассируемость решений.

Логическую структуру базы данных целесообразно строить, разбив ее на несколько логических контуров.

Первый контур образуют нормативно-справочные данные. В него входят сущности, описывающие номенклатуру лекарственных средств и медицинских изделий, международные непатентованные наименования, формы выпуска, единицы измерения, условия хранения, склады, подразделения медицинской организации, поставщиков и группы взаимозаменяемости. Наличие такого контура позволяет поддерживать единообразие мастер-данных, без которого невозможно корректное сопоставление исторического потребления, остатков, закупок и планов.

Второй контур составляют операционные данные, непосредственно отражающие движение и состояние запасов. Здесь выделяются таблицы партий, остатков, приходных и расходных операций, перемещений между местами хранения, фактов отпуска в подразделения, сведений о сроках годности и журналов инвентаризации. Именно этот слой формирует фактическую основу для оценки текущего состояния обеспечения. Важной особенностью проектирования является учёт партионности: запись о запасе должна быть связана не только с позицией номенклатуры, но и с конкретной партией, поскольку остаточный срок годности, цена закупки и поставщик относятся именно к партии, а не к препарату в целом. Такое решение позволяет корректно рассчитывать риски списаний и выбирать допустимые варианты потребления по принципу FEFO.

Третий контур – закупочно-логистический. Он включает заявки подразделений, консолидированные потребности, закупочные процедуры, договоры, графики поставок, сведения о фактически выполненных поставках, закупочных ценах и задержках поставки. Для задач планирования этот контур принципиален, поскольку именно он связывает внутреннюю потребность организации с внешними ограничениями рынка и поведения поставщиков. Здесь же должны храниться признаки надёжности поставщика, параметры минимальной партии, кратности упаковок и другие ограничения, влияющие на реализуемость плана снабжения.

Четвёртый контур имеет клиничко-нормативный характер. Он необходим для формализации предметной области и включает сущности, описывающие профили отделений, категории критичности номенклатуры, правила допустимых замен, нормативы потребления и, при необходимости, связь с клиническими стандартами. Включение данного контура в общую схему БД позволяет перейти от сугубо складской модели к модели, ориентированной на медицинскую организацию как на организационно-технологическую систему, где потребность определяется не только прошлым расходом, но и клиническим контекстом [4, 5].

Пятый контур образуют планово-аналитические данные. Фактически этот контур обеспечивает воспроизводимость расчётов: система должна позволять восстановить, на каких данных, с какими ограничениями и по каким критериям был выбран конкретный план. В этих таблицах должны содержаться: исторические ряды потребления по позициям и группам, версии прогнозных моделей, результаты запусков прогноза, сценарии спроса и поставок, варианты планов снабжения, позиции планов, рассчитанные метрики качества, результаты многокритериальной оценки и журнал утверждения решений. Фактически этот контур обеспечивает воспроизводимость расчётов: система должна позволять восстановить, на каких данных, с какими ограничениями и по каким критериям был выбран конкретный план. В таблице 1 представлены названия таблиц и их назначение.

Схема связей между сущностями определяется спецификой медицинской отрасли области. Так, связь между лекарственной позицией и группой взаимозаменяемости имеет характер «многие ко многим» и реализуется через промежуточную таблицу, аналогичным образом оформляется связь между планом снабжения и включёнными в него позициями, между клиническим стандартом и позициями номенклатуры, между сценарием и параметрами неопределённости. Для операционных таблиц ключевыми являются строгие внешние ключи и ограничения целостности: остаток не может существовать без ссылки на партию и место хранения; партия – без ссылки на номенклатуру и поставщика; запись о прогнозе – без указания версии модели, горизонта и временного среза данных. Подобные ограничения важны не только с позиций корректности хранения, но и как основа доверия к результатам аналитических модулей.

Особое значение при проектировании имеет временное измерение данных. Система должна поддерживать историю состояний, а не только текущее состояние. Поэтому для критически значимых сущностей – остатков, цен, задержек, бюджетных ограничений, правил замены и риск-политик – целесообразно ввести атрибуты периода действия. Это необходимо по двум причинам. Во-первых, прогнозирование потребности и оценка качества плана используют исторические данные, причём в их подлинном состоянии на момент расчёта. Во-вторых, управленческое решение в такой системе должно быть воспроизводимым и аудируемым: при повторном анализе необходимо видеть не только итог плана, но и ту версию нормативных и ограничивающих данных, на основании которой он был сформирован.

Таблица 1 – Основные сущности проектируемой базы данных

Контур	Основные таблицы	Назначение
Нормативно-справочный	drug_item, inn, dosage_form, unit, storage_condition, department, supplier, substitute_group	Поддержка единых мастер-данных о номенклатуре, подразделениях, местах хранения и поставщиках.
Складской	stock_lot, stock_balance, stock_movement, issue_fact, inventory_act	Учёт партий, остатков, движений, сроков годности и результатов инвентаризации.
Закупочно-логистический	department_request, procurement_order, contract, delivery_schedule, delivery_fact, price_history	Фиксация потребностей подразделений, процедур закупки, графиков и фактов поставки, цен и лагов.
Клинико-нормативный	care_profile, criticality_category, standard_item, substitution_rule	Учет клинического контекста, критичности номенклатуры и допустимых правил замены.
Планово-аналитический	demand_history, forecast_run, scenario, supply_plan, supply_plan_item, plan_metric, decision_log	Информационная поддержка прогнозирования, сценарного анализа, формирования и оценки планов.

Функциональная пригодность проектируемой БД определяется тем, насколько полно она поддерживает следующие ключевые вычислительные модули системы.

Для модуля прогнозирования необходимы ряды потребления, агрегированные по времени, подразделениям, номенклатуре и терапевтическим группам, а также признаки сезонности и ограничений;

Для модуля формирования планов требуется информация об остатках, партиях, сроках годности, бюджетных лимитах, допустимых заменах, ожидаемых поставках, ценах и ограничениях кратности;

Для модуля многокритериальной оценки должны быть доступны показатели стоимости, дефицита, риска списаний, реализуемости и устойчивости плана.

С практической точки зрения существенным является и вопрос качества программной реализации. Проектируемая структура БД должна обеспечивать совместимость с требованиями к качеству программных систем, включая функциональную пригодность, надёжность, сопровождаемость и возможность последующего развития. Кроме того, поскольку система работает с данными медицинской организации и поддерживает контур управленческих решений, её информационная архитектура должна соответствовать требованиям законодательства в области обращения лекарственных средств и защиты информации [5]. Это означает, что уже на этапе проектирования БД необходимо предусматривать разграничение прав доступа, журналирование критических действий,

поддержку резервного копирования и возможность интеграции с внешними информационными системами.

Предлагаемая модель базы данных отличается от обычных складских решений тем, что связывает в едином информационном пространстве пять типов сущностей: мастер-данные, операционные данные, закупочно-логистические данные, клинично-нормативные данные и планово-аналитические данные. За счёт этого база данных поддерживает полный цикл работы автоматизированной системы управления лекарственным снабжением – от накопления фактов потребления и движения запасов до формирования, оценки и последующего аудита вариантов плана. Такая структура позволяет обеспечить переход от документоцентричного подхода к интеллектуальному автоматизированному управлению.

Реализация архитектуры такой базы данных создаёт информационную основу для работы модулей прогнозирования потребности, формирования альтернативных планов снабжения и многокритериальной оценки решений, описанных в прошлых исследованиях [1,2], а значит, непосредственно влияет на качество и устойчивость управления лекарственным обеспечением медицинской организации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пузырев, Н. С. Разработка системы формирования плана снабжения / Н. С. Пузырев // Информационные технологии и инжиниринг : сборник материалов международной молодежной научно-практической конференции, Белгород, 25 апреля 2024 года. – Белгород : Белгородский государственный национальный исследовательский университет, 2024. – С. 133–136. – EDN FRUPGP.
2. Щерба, М. П. Анализ и проектирование автоматизированной системы планирования обеспечения медицинским имуществом в ведомственном здравоохранении / М. П. Щерба, Ю. В. Мирошниченко, В. М. Калинин // Фармакоэкономика: теория и практика. – 2025. – Т. 13, № 3. – С. 13–24.
3. Shen, J. Management of drug supply chain information based on “artificial intelligence + vendor managed inventory” in China: perspective based on a case study / J. Shen, F. Bu, Z. Ye, M. Zhang, Q. Ma, J. Yan, T. Huang // Frontiers in Pharmacology. – 2024. – Vol. 15. – Art. 1373642.
4. Гайдуков, А. И. Логистика медикаментов как точка оптимизации затрат медицинских организаций / А. И. Гайдуков, Д. Б. Жупанова, Е. Л. Реброва, С. Г. Кузнецова // Менеджер здравоохранения. – 2018. – № 4. – С. 30–38.
5. Об обращении лекарственных средств: ФЗ от 12.04.2010 № 61-ФЗ.
6. Пузырев, Н. С. Разработка модели клиент-серверного приложения для формирования планов медицинского снабжения / Н. С. Пузырев // Информационные технологии и инжиниринг : Сборник материалов международной молодежной научно-практической конференции, Белгород, 23 апреля 2025 года. – Белгород: Белгородский государственный национальный исследовательский университет, 2025. – С. 169-171. – EDN LMETGK.

Пузырев Никита Сергеевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Аспирант кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: Puzylev@bsuedu.ru

УДК 004.89:656.13

Научный руководитель:
Иващук Ольга Александровна,
профессор кафедры информационных и
робототехнических систем,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)

С.А. ЯЛОВЕНКО, Н.С. ПУЗЫРЕВ, Н.О. ЗАРУДНИЙ
S.A. YALOVENKO, N.S. PUZYREV, N.O. ZARUDNY

МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМ ПОТОКОМ

ADAPTIVE TRAFFIC FLOW MANAGEMENT METHODS AND ALGORITHMS

Статья посвящена анализу математических и современных методов автоматизации управления транспортным потоком на регулируемом перекрестке. В данном материале рассматриваются методы начиная с середины XX века, основанные на использовании статистической информации о потоке, и заканчивая современными исследованиями, специализирующимися на больших объемах данных, полученных с использованием современных технологий. Анализируются преимущества и недостатки методов управления, основанных на математических функциях, а также поднимаются вопросы, связанные с предвзятостью и несправедливостью алгоритмов на основе современных интеллектуальных систем.

Ключевые слова: автоматизация, управление дорожным движением, адаптивное светофорное управление, алгоритмы светофорного регулирования, оптимизация дорожного движения.

The article is devoted to the analysis of mathematical and modern methods of automating traffic flow control at a controlled intersection. This article discusses methods starting from the middle of the 20th century, based on the use of statistical information about the flow, and ending with modern research specializing in large amounts of data obtained using modern technologies. The advantages and disadvantages of control methods based on mathematical functions are analyzed, as well as issues related to the bias and unfairness of algorithms based on modern intelligent systems.

Keywords: traffic management, adaptive traffic light control, traffic light regulation algorithms, traffic optimization.

Транспортное сообщение является одним из важных элементов современной экономики многих стран. Например, согласно Министерству Транспорта РФ, транспортная отрасль обеспечивает 6% ВВП страны и входит в пятерку крупнейших секторов России [1]. Грузовой транспорт используется, чтобы перевозить ресурсы и товары между регионами внутри отдельной страны и между разными странами. Таким образом появляется большее число рынков сбыта продукции, что повышает отказоустойчивость предприятия за счет децентрализации и разделения производства.

Поскольку транспортная отрасль существенно влияет на экономику, государство стремится уменьшить расходы, чтобы снизить итоговую стоимость производимой и потребляемой продукции. Одним из основных источников расходов является стоимость поездки, которую упрощенно можно вычислить по данным о расходе топлива, стоимости топлива и времени нахождения транспорта в пути. Расход топлива во многом зависит от технических характеристик транспортного средства, поэтому инженеры с каждым годом совершенствуют устройство автомобилей. Однако если транспорт долгое время находится в пути, экономичность двигателя может не компенсировать расходы во время холостого хода. Поэтому совместно с уменьшением расхода топлива важно сократить время, которое транспортное средство находится в пути. Одной из причин увеличения времени в пути является необходимость пересечения участков, где несколько транспортных потоков встречаются. На таких участках дорожного движения чаще всего устанавливаются светофоры, которые переключают фазы разрешающего и запрещающего сигнала для каждого потока. Эффективное управление светофором является основным способом уменьшения времени ожидания, которое достигается за счет использования адаптивного управления транспортным потоком.

Рассмотрим существующие методы адаптивного управления. Начнем с первого метода, предложенного в 1958 году британским ученым Фредериком Вебстером. Метод Вебстера [2] представляет собой классический циклический метод с фиксированной длиной фазы светофора, которая вычисляется с использованием данных о потоке, собранных за предыдущую фазу. Принцип работы метода описывается следующими шагами: в начале за интервал времени контроллер считывает количество транспортных средств, проходящих по участку дороги, и на основе полученного значения вычисляется длительность следующего вычислительного интервала и фазы разрешающего сигнала светофора; в таблице 1 представлен псевдокод метода.

Таблица 1 – Метод «Вебстера»

Входные данные: `cycle_min`, `cycle_max`, `saturation_rate`, `cycle_lost`, `lines_inc`, `phases`, `last_cycle_flows`,

Выходные данные: `cycle`, `green`

```

1: flows = []
2: flows_index = 0
3: ЦИКЛ ДЛЯ phase В phases ТОГДА
4:   flow_line = []
5:   flow_line_index = 0
6:   ЦИКЛ ДЛЯ line В lines_inc[phase] ТОГДА
7:     flow_line[flow_line_index] =  $\frac{\text{last-cycle-flows[line]}}{\text{saturation-rate}}$ 
8:     flow_line_index = flow_line_index + 1
9:   КОНЕЦ ЦИКЛА
10: flows[flows_index] = max(line_flow)
11: flows_index = flows_index + 1
12: КОНЕЦ ЦИКЛА
13: cycle =  $\frac{(1.5 * \text{cycle-lost}) + 5}{1 - \sum \text{flows}}$ 
14: cycle = min( max(cycle, cycle_min), cycle_max )
15: green = []
16: green_index = 0
17: ЦИКЛ ДЛЯ flow В flows ТОГДА
18:   green[green_index] =  $G \frac{\text{flow}}{\sum \text{flows}}$ 
19:   green_index = green_index + 1
20: КОНЕЦ ЦИКЛА

```

Как можно наблюдать из алгоритма, вычисление производится для каждой входящей полосы с учетом информации, собранной в предыдущем цикле, о величине потока. Для того чтобы метод был справедливым для всех участков, предусмотрены параметры минимального и максимального времени цикла, а также параметр насыщения участка дороги. Данные параметры вводятся разработчиком заранее. Существенным недостатком данного метода является использование исторических данных, которые в следующей фазе работы светофора могут быть неактуальны.

Для решения недостатка исторических данных был предложен метод максимального давления [3]. Данный метод использует предложенный параметр потока – «давление», которое

вычисляется в реальном времени для каждого участка перекрестка. Рассчитывается «давление» по следующей формуле:

$$Pressure(phase) = \sum_{l \in line\_inc(phase)} n_l - \sum_{l \in line\_out(phase)} n_l \quad (1)$$

где n_l – количество транспортных средств, проходящих по участку дорожного движения в текущий момент; $line\_inc$ – полоса, входящая в перекресток; $line\_out$ – полоса, выходящая из перекрестка. Входящей полосой на перекрестке называется полоса, с которой транспортные средства въезжают на регулируемый перекресток, и соответственно выходящей – полоса, с которой транспортное средство выезжает с перекрестка.

Метод включает разрешающий сигнал светофора для участка дороги, «давление» которого выше. Чтобы исключить ситуации, когда после начала движения потока давление уменьшается, фаза светофора должна проработать минимально установленное время, которое задается разработчиком. Псевдокод метода представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Метод «Максимального давления», псевдокод

Входные данные: `time`, `cycle_min`, `current_phase_index`, `phases`

Выходные данные: `phase_index`

```

1:  ЕСЛИ time < cycle_min ТОГДА
2:    time = time + 1
3:    phase_index = current_phase_index
4:  ИНАЧЕ
5:    time = 0
6:    pressures = []
7:    pressure_index = 0
8:    ЦИКЛ ДЛЯ phase В phases ТОГДА
9:      pressures[pressure_index] = Pressure(phase)
10:   pressure_index = pressure_index + 1
11:  КОНЕЦ ЦИКЛА
12:  phase_index = argmax(pressures)
13:  КОНЕЦ ЕСЛИ

```

При сравнении представленного выше алгоритма и алгоритма Вебстера можно заметить, что количество параметров, которые задаются разработчиком, уменьшено до одного. Например, в методе максимального давления не требуется максимальная длительность цикла, поскольку длительность разрешающего сигнала светофора зависит от «давления» на полосе, и если оно остается высоким, то фазы светофора не изменяются.

Несмотря на преимущества и эффективность метода максимального давления, основной недостаток проявляется, когда в качестве исследуемого объекта выбирается отдельное транспортное средство. Например, на перекрестке на участке входящей дороги, обозначим как «А», поток транспортных средств создает «низкое давление», а на другом участке дороги, обозначим как «Б», создается «высокое давление». Тогда разрешающий сигнал светофора для полосы «Б» будет предоставляться до тех пор, пока «давление» на участке дороги «Б» остается больше, чем «давление» на участке «А». Из этого следует, что транспортным средствам, которые находятся на участке «А», необходимо будет вхолостую ожидать момента изменения фазы светофора.

Для решения данной проблемы Агафоновым А.А. и др. [4] был предложен метод максимального взвешенного потока, в котором авторы предложили добавить каждому транспортному средству параметр «вес», который равняется времени его ожидания на перекрестке. Для вычисления значения взвешенного потока используется следующая формула:

$$PWFlow(phase) = \sum_{l \in line-inc(phase)} \sum_{c \in C} (1if(t(c) < \tau) else 0) * (1 + \alpha * delay(l, c)) \quad (2)$$

В формуле (2) c обозначает транспортное средство из множества C ; $t(c)$ – прогнозируемое время, за которое транспортное средство c достигнет перекрестка; $delay(l, c)$ – время ожидания транспортного средства на перекрестке; α – коэффициент единицы измерения. Таким образом, каждое транспортное средство в потоке при вычислении «давления» потока вносит вклад, равный времени нахождения транспортного средства на перекрестке. В таблице 3 представлен псевдокод метода максимального взвешенного потока.

Таблица 3 – Метод «Максимального взвешенного потока»

Входные данные: `time`, `cycle_min`, `current_phase_index`, `phases`

Выходные данные: `phase_index`

```

1:  ЕСЛИ time < cycle_min ТОГДА
2:    time = time + 1
3:    phase_index = current_phase_index
4:  ИНАЧЕ
5:    time = 0
6:    pwflows = []
7:    pwflow_index = 0
8:    ЦИКЛ ДЛЯ phase В phases ТОГДА
9:      pwflows[pwflow_index] = PWFlow(phase)
10:   pwflow_index = pwflow_index + 1
11:  КОНЕЦ ЦИКЛА
12:  phase_index = argmax(pwflows)
13:  КОНЕЦ ЕСЛИ

```

Алгоритм максимального взвешенного потока отличается от алгоритма максимального давления только функцией, которая возвращает качественное представление потока; однако благодаря введению нового параметра «вес» метод более справедливо регулирует переключение фаз на перекрестке.

Дальнейшее развитие методов адаптивного управления выполняется в разработке гибридных систем управления светофорами. Например, в научной работе Агафова А.А. и Юмаганова А.С. «Совместное управление сигналами светофоров и траекториями движения транспортных средств» [5] в качестве метода управления циклами светофора используется метод максимального взвешенного потока, который дополнен модулем управления траекториями беспилотного транспорта.

По результатам эксперимента представленный гибридный метод позволил уменьшить в 2 раза среднее время ожидания транспортного средства на перекрестке.

На основании представленных выше работ можно сделать предположение о процессе развития адаптивного управления транспортным потоком: вначале разрабатывались методы, использующие исторические данные для прогнозирования трафика, но такой подход делал систему менее адаптивной к изменениям в транспортном потоке. Для повышения адаптивности методов был предложен подход, который предлагал использовать свойства потока – «давление» – для регулирования фаз перекрестка. Предложенный способ повысил отзывчивость систем регулирования дорожным движением к изменениям потока, но в большинстве случаев за счет появления неравенства между главными и второстепенными полосами перекрестка.

Таблица 4 – Гибридный подход

Входные данные: `time`, `cycle_min`, `current_vehicle_path`, `current_phase_index`, `phases`

Выходные данные: `vehicle_path`, `phase_index`

```

1:  ЕСЛИ time < cycle_min ТОГДА
2:    time = time + 1
3:    phase_index = current_phase_index
4:  ИНАЧЕ
5:    time = 0
6:    pwflows = []
7:    pwflow_index = 0
8:    ЦИКЛ ДЛЯ phase В phases ТОГДА
9:      pwflows[pwflow_index] = PWFlow(phase)
10:     pwflow_index = pwflow_index + 1
11:   КОНЕЦ ЦИКЛА
12:   phase_index = argmax(pwflows)
13:  КОНЕЦ ЕСЛИ
14:  vehicle_path = current_vehicle_path
15:  ЕСЛИ phase_index != current_phase_index
16:    vehicle_path = build_path(phase_index)
17:  КОНЕЦ ЕСЛИ

```

Следующим шагом были разработка и исследование методов, решающих проблемы предвзятости, целью которых было повышение «равенства» между участками перекрестка. В настоящее время популярным научным направлением являются исследования, которые рассматривают адаптивное управление с позиции отдельного участника дорожного движения: водителя транспортного средства, пешехода или пассажира общественного транспорта. Данные исследования стремятся достичь максимального комфорта для всех участников движения без увеличения времени простоя транспортного средства.

В итоге существующие этапы исследования можно сгруппировать в виде следующих кластеров, представленных в таблице 5.

Как видим, современным подходом к решению проблем адаптивного управления дорожным движением является проектирование и тестирование гибридных систем, использующих математические методы распределения трафика и работающих совместно с современными технологиями искусственного интеллекта и беспилотных транспортных средств.

Таблица 5 – Этапы исследований

№	Наименование подхода управления	Основа метода	Взаимодействие с беспилотным транспортом	Учет общественного транспорта	Учет пешеходов
1	Гибридные системы	Гибридные системы с управлением траекториями	да	да	возможно
2	Алгоритмы справедливого распределения	Методы с учётом времени ожидания отдельного транспортного средства	возможно	да	нет
3	Алгоритмы реального времени	Методы на основе текущего состояния потока	нет	нет	нет
4	Статистические алгоритмы	Методы, использующие исторические данные	нет	нет	нет

В результате исследования были представлены этапы развития алгоритмов адаптивного управления, а также предложена классификация этапов их развития. Каждый из представленных алгоритмов был разработан для решения определенной проблемы. Например, классический алгоритм Вебстера решал проблему неэффективного управления трафиком, а все последующие алгоритмы улучшали систему адаптивного управления. Современные же разработки исследуют возможности повышения качества управления перекрестком для всех участников движения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Минтранс России. Приоритетные направления развития транспортного комплекса отражены в федеральном бюджете на 2026–2028 годы / Минтранс России // Официальный Интернет-ресурс Министерства транспорта Российской Федерации – Москва – 2025. URL: <https://mintrans.gov.ru/press-center/news/12177> (дата обращения: 16.03.2026).

2. Wade Genders. An Open-Source Framework for Adaptive Traffic Signal Control [Электронный ресурс] / Wade Genders, Saiedeh Razavi // ArXiv. – 2019. URL: <https://arxiv.org/abs/1909.00395> (дата обращения: 16.03.2026).

3. Мясников, В.В. Детерминированная прогнозная модель управления сигналами светофоров в интеллектуальных транспортных и геоинформационных системах [Электронный ресурс] / В.В. Мясников, А.А. Агафонов, А.С. Юмаганов // Компьютерная оптика. – Самара – 2021. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47449549> (дата обращения: 16.03.2026).

4. Агафонов, А. А. Метод адаптивного управления дорожными сигналами на основе максимального взвешенного потока [Электронный ресурс] / А. А. Агафонов, А. С. Юмаганов, В. В. Мясников // Информационные технологии и нанотехнологии (ИТНТ-2022). – Самара – 2022. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49780712> (дата обращения: 16.03.2026)

5. Агафонов, А.А. Совместное управление сигналами светофоров и траекториями движения транспортных средств [Электронный ресурс] / А.А. Агафонов, А.С. Юмаганов // Информатика и автоматизация. – Санкт-Петербург – 2023. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50160659> (дата обращения: 16.03.2026)

Яловенко Сергей Алексеевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)
Аспирант кафедры информационных и робототехнических систем
E-mail: 1376586@bsuedu.ru

Пузырев Никита Сергеевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)
Аспирант кафедры информационных и робототехнических систем
E-mail: 1248005@bsuedu.ru

Зарудный Никита Олегович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)
Аспирант кафедры информационных и робототехнических систем
E-mail: 1376616@bsuedu.ru

СЕКЦИЯ 1
«ТЕОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»
SECTION 1
«THEORY AND METHODOLOGY
OF INFORMATION TECHNOLOGIES»

УДК 004.852:519.233

Научный руководитель:
Великая Яна Геннадиевна,
доцент кафедры математического и программного
обеспечения информационных систем,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)

Д.А. АНДРУЩЕНКО, А.В. МАСЛОВА
D.A. ANDRUSHCHENKO, A.V. MASLOVA

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМА RIDGE-РЕГРЕССИИ:
ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ
И БИБЛИОТЕЧНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ SCIKIT-LEARN
COMPARATIVE ANALYSIS OF RIDGE REGRESSION ALGORITHM:
CUSTOM IMPLEMENTATION
AND SCIKIT-LEARN LIBRARY IMPLEMENTATION

В работе проводится сравнительный анализ двух реализаций алгоритма Ridge-регрессии: пользовательской на основе градиентного спуска и библиотечной из Scikit-learn. Исследуется эффективность L2-регуляризации в борьбе с переобучением на искусственных и реальных датасетах Kaggle. Анализируется влияние коэффициента регуляризации α на качество модели, а также сравниваются точность и вычислительная эффективность обеих реализаций. Результаты показывают, что Ridge-регрессия значительно повышает обобщающую способность линейных моделей, при этом пользовательская реализация демонстрирует более высокую точность, а библиотечная – превосходство в скорости.

Ключевые слова: машинное обучение, Ridge-регрессия, L2-регуляризация, градиентный спуск, Scikit-learn, переобучение, Kaggle.

This paper compares two implementations of Ridge regression: a custom gradient descent-based approach and the Scikit-learn library version. The study evaluates the effectiveness of L2-regularization in preventing overfitting using both synthetic and real Kaggle datasets. The influence of the regularization parameter α on model quality is analyzed, along with a comparison of accuracy and computational efficiency. Results show that Ridge regression significantly improves linear model generalization, with the custom implementation achieving higher accuracy and the library version offering superior speed.

Keywords: machine learning, Ridge regression, L2-regularization, gradient descent, Scikit-learn, overfitting, Kaggle.

Введение

Машинное обучение является одной из ключевых технологий современного анализа данных, позволяющей выявлять сложные закономерности и строить прогностические модели. Среди множества алгоритмов особое место занимает линейная регрессия – простой, интерпретируемый и широко применяемый метод для решения задач восстановления регрессии. Однако классическая линейная регрессия, основанная на методе наименьших квадратов (МНК), обладает существенным недостатком: она склонна к переобучению (overfitting) при работе с данными высокой размерности или при наличии мультиколлинеарности (сильной корреляции между признаками) [1].

Переобучение проявляется в том, что модель чрезмерно «подстраивается» под обучающую выборку, улавливая не только истинные зависимости, но и случайный шум. В

результате модель показывает отличные результаты на обучающих данных, но ее прогностическая способность на новых, тестовых данных резко падает. Эффективным методом борьбы с переобучением линейных моделей является регуляризация.

Одним из наиболее популярных методов регуляризации является гребневая регрессия (Ridge Regression), которая накладывает штраф (L2-регуляризацию) на большие значения весовых коэффициентов модели [2]. Это позволяет контролировать сложность модели и повышать ее устойчивость.

Целью данной работы является всесторонний сравнительный анализ двух реализаций алгоритма Ridge-регрессии: пользовательской, которая написана на Python с использованием метода градиентного спуска и библиотечной реализации Ridge из пакета scikit-learn. В задачи исследования входит: (1) демонстрация проблемы переобучения на искусственных данных; (2) реализация класса Ridge-регрессии с нуля; (3) проведение экспериментов на реальных датасетах с платформы Kaggle; (4) анализ влияния гиперпараметра регуляризации на качество модели и норму весов; (5) сравнение производительности и точности обеих реализаций.

Теоретические основы Ridge-регрессии

Задача обучения в классической линейной регрессии формулируется как минимизация функции потерь, которая обычно представляет собой среднеквадратичную ошибку (MSE). Для заданного набора данных $\{(x_i, y_i)\}_{i=1}^m$, где $x_i \in R^n$ – вектор признаков, а $y_i \in R$ – целевая переменная, функция потерь выражается следующим образом:

$$J(w) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (a(x_i) - y_i)^2 = \frac{1}{m} \|Xw - y\|^2$$

где X – матрица «объекты-признаки», w – вектор весов, y – вектор целевых значений.

Ridge-регрессия модифицирует эту функцию потерь, добавляя штрафное слагаемое, пропорциональное квадрату L2-нормы вектора весов w :

$$J_{ridge}(w) = \frac{1}{m} \|Xw - y\|^2 + \alpha \|w\|^2$$

Параметр $\alpha \geq 0$ является коэффициентом регуляризации. Когда $\alpha = 0$, модель сводится к классической линейной регрессии. Чем больше α , тем сильнее штраф за большие веса, что приводит к построению более простых и устойчивых моделей. Важно отметить, что в данной работе смещение w_0 обычно не регуляризуется.

Для поиска оптимального вектора весов w существует два основных подхода:

1. *Аналитическое решение.* Минимизируя $J_{ridge}(w)$, можно получить решение в замкнутой форме: $w = (X^T X + \alpha I)^{-1} X^T y$, где I – единичная матрица (с нулевым первым элементом на главной диагонали, если смещение не регуляризуется). Этот метод точен, но требует обращения матрицы, что может быть затратно с точки зрения вычислений для очень больших наборов данных.

2. *Итеративные методы (градиентный спуск).* Этот подход заключается в итеративном обновлении весов в направлении, противоположном градиенту функции потерь. Правило обновления весовых коэффициентов на каждом шаге итерации t определяется следующим образом:

$$w^{(t+1)} = w^{(t)} - \eta \nabla J_{ridge}(w^{(t)})$$

где η обозначает скорость обучения. Градиент функции потерь для Ridge-регрессии, не включающий регуляризацию смещения, вычисляется как:

$$\nabla J_{ridge}(w) = \frac{2}{m} X^T (Xw - y) + \frac{\alpha}{m} \begin{bmatrix} 0 \\ w_{1:n} \end{bmatrix}$$

Именно итеративный метод градиентного спуска был реализован в пользовательской части данного исследования.

Программная среда и инструменты

Эксперименты проводились на языке Python 3 с использованием библиотек: NumPy для матричных вычислений, Pandas для обработки данных, Matplotlib и Seaborn для визуализации, Scikit-learn для предобработки данных, сравнения с эталонной реализацией и оценки качества.

Пользовательская реализация Ridge-регрессии

Был разработан класс RidgeRegressionGradientDescent, который включает методы fit() для обучения модели и predict() для получения предсказаний. Ключевые особенности реализации:

1. Поддержка смещения (fit_intercept), которое не регуляризуется.
2. Использование полного градиентного спуска (Batch Gradient Descent).
3. Настраиваемые гиперпараметры: коэффициент регуляризации (alpha), скорость обучения (learning_rate), максимальное количество итераций (n_iterations), порог сходимости (tolerance).
4. Ведение истории значений функции потерь для анализа сходимости.

Наборы данных

Для проведения всестороннего анализа использовались как искусственно сгенерированные, так и реальные наборы данных.

1. Переобучение. Были созданы линейно-зависимые признаки для провокации эффекта мультиколлинеарности и демонстрации переобучения.

2. Medical Cost Personal Dataset [3]. Набор данных предназначен для анализа и прогнозирования индивидуальных медицинских расходов. Моделирование этих расходов осуществляется с привлечением таких признаков, как возраст субъекта, его пол, индекс массы тела (ИМТ), количество детей, информация о статусе курения и принадлежности к определенному региону.

3. California Housing Prices [4]. Набор данных для прогнозирования медианной стоимости дома (median_house_value) в Калифорнии на основе демографических и географических признаков. (Использован как альтернатива устаревшему Boston Housing).

4. Student Performance Dataset [5]. Набор данных для прогнозирования итоговой оценки студента (G3) на основе различных демографических, социальных и школьных факторов.

Методология эксперимента и предобработка данных

Для обеспечения воспроизводимости результатов, исходный массив данных был разделен на обучающую (80%) и тестовую (20%) выборки с фиксированным значением random_state. Импутация пропущенных значений проводилась дифференцированно: для числовых признаков использовалась медиана, тогда как категориальные признаки с пропусками заполнялись константой 'Unknown'. В процессе обработки категориальных признаков применялся метод OneHotEncoder, где параметр drop='first' был выбран с целью предотвращения ловушки фиктивных переменных. Кроме того, числовые признаки были стандартизированы с помощью StandardScaler. Данная операция позволила привести их к нулевому среднему значению и единичному стандартному отклонению, что является существенным фактором для корректной и стабильной работы алгоритмов, использующих градиентный спуск. Для каждого реального датасета на этапе предобработки было добавлено 3 новых признака, которые являются линейными комбинациями существующих, с добавлением небольшого шума. Это было сделано для создания дополнительной мультиколлинеарности и проверки способности Ridge-регрессии справляться с ней.

Для оценки производительности моделей использовалась тестовая выборка. В качестве метрик применялись среднеквадратичная ошибка (MSE), корень из среднеквадратичной ошибки (RMSE), средняя абсолютная ошибка (MAE) и коэффициент детерминации (R^2). Дополнительно регистрировалось время, затраченное на обучение каждой модели.

Демонстрация проблемы переобучения

Первым этапом исследования стала демонстрация переобучения линейной регрессии без регуляризации. На искусственно сгенерированном датасете с избыточными линейно-зависимыми признаками была обучена стандартная модель `LinearRegression` и пользовательская `RidgeRegressionGradientDescent` (с $\alpha=1.0$). Результаты наглядно представлены на рисунке 1.

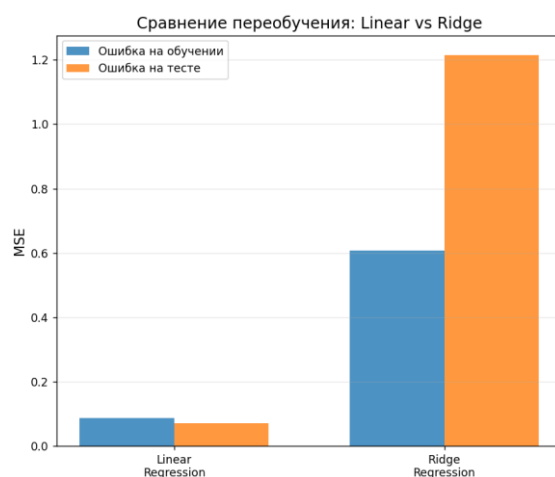


Рисунок 1 – Сравнение ошибок (MSE) на обучающей и тестовой выборках для линейной и Ridge-регрессии

Анализ полученных результатов выявил, что модель Ridge-регрессии демонстрирует более сбалансированное соотношение ошибок между обучающей и тестовой выборками по сравнению с классической линейной регрессией. Это свидетельствует о её способности эффективно регулировать сложность модели и повышать надёжность предсказаний.

Влияние параметра регуляризации α

Был проведен анализ влияния коэффициента α на качество модели и величину весовых коэффициентов. Модель Ridge-регрессии обучалась при различных значениях α в диапазоне от 0.001 до 100.0. Результаты представлены на рисунке 2.

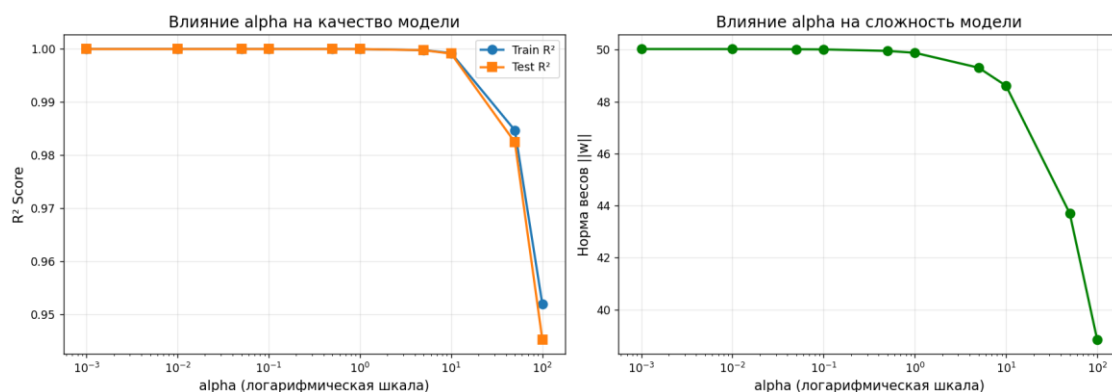


Рисунок 2 – Влияние коэффициента регуляризации α на R^2 Score и норму весов $\|w\|$

Графики и таблица демонстрируют следующую закономерность: при очень малых значениях α (близких к 0) норма весов $\|w\|$ максимальна, что соответствует модели, близкой к обычной линейной регрессии. Однако на данном синтетическом датасете с малым уровнем шума модель демонстрирует стабильно высокое качество ($R^2 \approx 1.0$) во всем диапазоне α .

С увеличением коэффициента регуляризации наблюдается монотонное уменьшение нормы весов, что является прямым следствием L2-штрафа. Весовые коэффициенты «прижимаются» к нулю, модель становится проще и устойчивее к потенциальному переобучению.

При экстремально больших значениях α (≈ 100) норма весов снижается примерно на 25% от исходной, однако значение R^2 Score снижается незначительно (до 0.998). Это говорит о том, что для данного конкретного набора данных регуляризация не приводит к заметному недообучению, а лишь незначительно упрощает модель без потери качества.

Таким образом, выбор правильного значения α является критически важным при работе с зашумленными или мультиколлинеарными данными и обычно осуществляется с помощью кросс-валидации. На «идеальных» же данных влияние регуляризации минимально.

Сравнение на реальных наборах данных

Сравнительный анализ пользовательской и библиотечной реализаций Ridge-регрессии был проведен на трех наборах данных с Kaggle. Для всех датасетов использовался коэффициент регуляризации $\alpha = 1.0$. Результаты сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Сравнение качества моделей Ridge-регрессии на датасетах Kaggle

Набор данных	Признаки (после обработки)	Модель	MSE	RMSE	MAE	R^2
Medical Cost	11	Собственная	35 228 164	5935,33	4052,03	0,7731
		Scikit-learn	39 907 062	6 317,20	4 414,05	0,7429
California Housing	12	Собственная	5 740 976 708	75 769,23	57 123,72	0,5619
		Scikit-learn	7 135 266 932	84 470,51	60 653,11	0,4555
Student Performance	8	Собственная	5,65	2,38	1,63	0,7243
		Scikit-learn	5,90	2,43	1,63	0,7122

Как можно заметить в таблице 1, обе реализации успешно решают задачу и демонстрируют хорошие результаты, однако собственная реализация на основе градиентного спуска имеет заметно более высокие значения коэффициента детерминации R^2 на всех трех наборах данных. Это особенно заметно на датасете California Housing, где разница в R^2 составила более 0.1 (0,5619 против 0,4555). Похожая картина наблюдается и для других метрик: собственная модель демонстрирует меньшие значения среднеквадратичной (MSE) и средней абсолютной (MAE) ошибок.

Такой результат может быть обусловлен несколькими факторами. Во-первых, реализация Ridge в scikit-learn по умолчанию использует solver='auto', который на основе данных выбирает наиболее подходящий метод (часто 'cholesky' для плотных данных). В то время как самостоятельно написанная реализация использует итеративный градиентный спуск, который при хорошо подобранной скорости обучения и достаточном числе итераций может точнее приближаться к оптимуму функции потерь, особенно на данных со сложной структурой или добавленными искусственными линейно-зависимыми признаками. Во-вторых, небольшие различия в реализации предобработки или параметрах регуляризации (например, регуляризация смещения) также могли оказать влияние на результат.

Несмотря на преимущество в точности, время обучения пользовательской модели на порядки превышает время обучения библиотечной реализации scikit-learn, что подтверждает высокую степень оптимизации промышленных библиотек.

Анализ эффективности борьбы с переобучением

Ключевым этапом исследования стала проверка способности Ridge-регрессии противостоять переобучению на данных с искусственно созданной мультиколлинеарностью. Результаты этого этапа, представленные в логе работы программы, однозначно подтверждают эффективность метода L2-регуляризации.

Для датасета Medical Cost классическая линейная регрессия показала катастрофическое переобучение: ошибка на тестовой выборке ($2,29e+09$) на порядки превысила ошибку на

обучении ($3,72e+07$). Применение Ridge-регрессии позволило не только стабилизировать модель, но и добиться уменьшения эффекта переобучения на 100.1% (то есть полностью его нивелировать), снизив ошибку на тесте до 35,2 млн, что сопоставимо с ошибкой на обучении.

Аналогичная картина наблюдалась и для других датасетов.

На датасете California Housing переобучение было уменьшено на 96.9%.

На датасете Student Performance, где классическая линейная регрессия дала ошибку на тесте (1458) в 500 раз больше ошибки на обучении (2.79), Ridge-регрессия снизила этот разрыв до двукратного, что соответствует уменьшению переобучения на 99.8%.

Эти результаты наглядно демонстрируют, что Ridge-регрессия является мощным и незаменимым инструментом при работе с данными, содержащими коррелирующие признаки, и позволяет строить значительно более надежные прогностические модели.

Визуализация предсказаний и сходимости

Для качественной оценки работы моделей были построены диаграммы рассеяния, сравнивающие предсказанные значения с истинными. На рисунке 3 представлен пример такого графика для датасета «Student Performance».

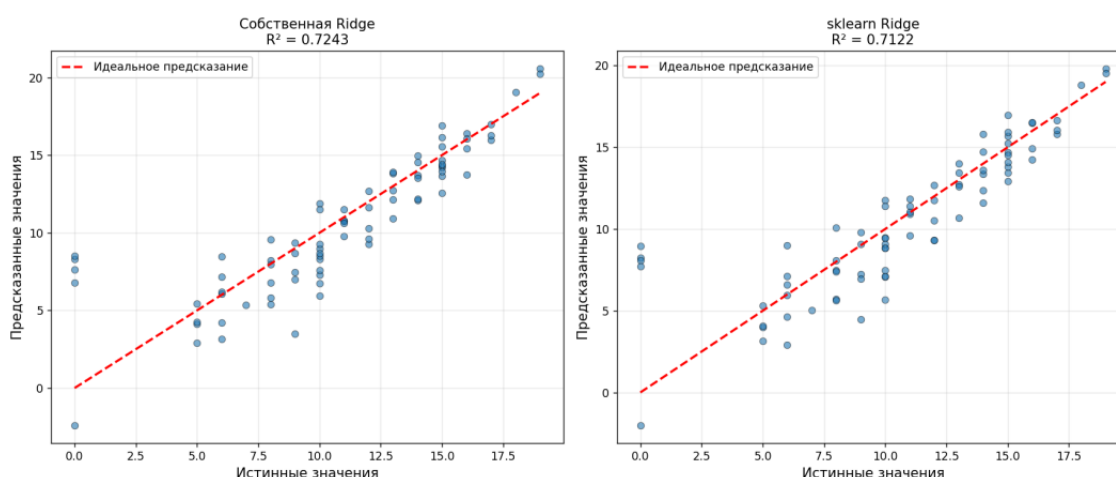


Рисунок 3 – Сравнение истинных и предсказанных значений для датасета «Student Performance»

Точки на графике группируются вдоль идеальной диагонали, что соответствует полученным значениям коэффициента детерминации $R^2 \approx 0.72$ для обеих моделей. Наблюдаемый разброс, особенно в правой части графика, указывает на то, что модель объясняет около 72% вариации данных – приемлемый результат для данной предметной области.

Также важным аспектом является проверка сходимости алгоритма градиентного спуска. На рисунке 4 представлен график изменения функции потерь в процессе обучения пользовательской модели на одном из датасетов.

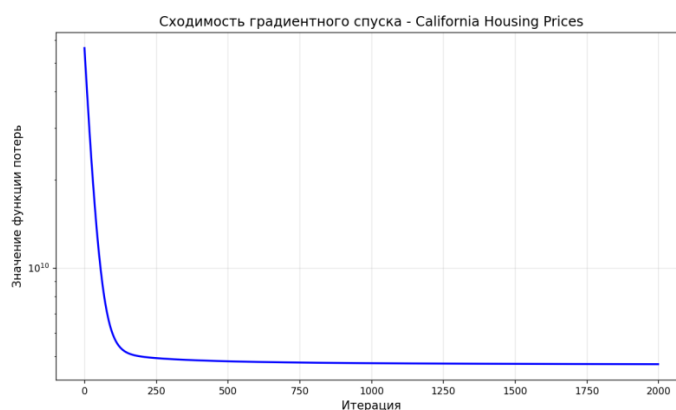


Рисунок 4 – График сходимости функции потерь при обучении Ridge-регрессии методом градиентного спуска

Монотонное убывание функции потерь, которое идет резко, а потом плавно после 500-ой итерации, а также отсутствие осцилляций подтверждают, что алгоритм градиентного спуска успешно и стабильно сходится к оптимальному решению.

Заключение

В рамках выполненной работы было проведено исследование алгоритма гребневой (Ridge) регрессии. Экспериментально установлено, что Ridge-регрессия с L2-регуляризацией является высокоэффективным инструментом для решения проблемы переобучения линейных моделей. На всех исследованных датасетах добавление L2-штрафа позволило практически полностью устранить последствия переобучения, уменьшив его проявление на 97-100%.

Сравнительный анализ показал, что реализованная пользовательская модель на основе градиентного спуска способна не только сравниться, но и иметь более точную (метрики R^2 , RMSE, MAE) готовую реализацию из библиотеки scikit-learn на рассмотренных данных. Это подчеркивает важность понимания принципов работы алгоритмов и потенциал для их тонкой настройки под конкретную задачу.

Однако, несмотря на преимущество в точности, библиотечная реализация scikit-learn остается лидером по вычислительной эффективности, демонстрируя время обучения на несколько порядков меньше.

Таким образом, можно сделать следующие выводы.

Ridge-регрессия – это простой, но мощный метод регуляризации, обязательный к использованию при наличии в данных мультиколлинеарности или большого числа признаков.

Самостоятельная реализация алгоритмов является важнейшим этапом обучения, позволяющим глубже понять принцип из работы и в некоторых случаях получить более качественные модели за счет контроля процесса оптимизации.

Для большинства практических задач, где крайне важна скорость разработки и обучения, наиболее оптимальным выбором является использование высокооптимизированных библиотек, таких как Scikit-learn. Однако результаты данного исследования показывают, что пользовательские реализации не стоит полностью сбрасывать со счетов, особенно в исследовательских работах или при необходимости нестандартной модификации алгоритма.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J. The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction. – 2nd ed. – Springer, 2009. – 745 p.
2. Hoerl, A. E., & Kennard, R. W. Ridge Regression: Biased Estimation for Nonorthogonal Problems // Technometrics. – 1970. – Vol. 12, No. 1. – P. 55-67.
3. Medical Cost Personal Dataset [Электронный ресурс] // Kaggle. – Режим доступа: <https://www.kaggle.com/datasets/mirichoi0218/insurance> (дата обращения: 16.05.2025).
4. California Housing Prices [Электронный ресурс] // Kaggle. – Режим доступа: <https://www.kaggle.com/datasets/camnugent/california-housing-prices> (дата обращения: 16.05.2025).
5. Student Performance Dataset [Электронный ресурс] // Kaggle. – Режим доступа: <https://www.kaggle.com/datasets/devansodariya/student-performance-data> (дата обращения: 16.05.2025).
6. Pedregosa, F. et al. Scikit-learn: Machine Learning in Python // Journal of Machine Learning Research. – 2011. – Vol. 12. – P. 2825-2830.

Андрущенко Дарья Александровна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры математического и программного обеспечения информационных систем

E-mail: 1694161@bsuedu.ru

Маслова Ангелина Викторовна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры математического и программного обеспечения информационных систем

E-mail: 1645583@bsuedu.ru

УДК 004

Научный руководитель:
Иващук Олег Орестович,
ассоциированный профессор,
КУТИ им. Ш. Есенова (Актау, Казахстан)

И.К. АСКАРОВ
I.K. ASKAROV

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПОДБОРА ТУРИСТИЧЕСКИХ ЛОКАЦИЙ НА ОСНОВЕ СЕМАНТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ТЕКСТОВЫХ ДАННЫХ

DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT SYSTEM FOR TOURIST LOCATION SELECTION BASED ON SEMANTIC ANALYSIS OF TEXTUAL DATA

В данной статье описывается прикладной подход к разработке интеллектуальной системы, предназначенной для автоматизации процесса поиска и подбора туристических локаций. Основное внимание уделяется использованию современного программного стека на базе языка Python и фреймворка FastAPI в связке с технологиями семантического анализа данных. Рассматривается архитектура системы, методы интеграции векторного поиска для обработки запросов на естественном языке, а также практические преимущества предложенного решения для персонализации выбора мест отдыха и повышения качества пользовательского опыта.

Ключевые слова: веб-разработка, стек Python/FastAPI, искусственный интеллект, подбор локаций, семантический поиск, автоматизация.

This article describes an applied approach to the development of an intelligent system designed to automate the process of searching and selecting tourist locations. The primary focus is on the use of a modern software stack based on the Python language and the FastAPI framework in conjunction with semantic data analysis technologies. The article considers the system architecture, methods for integrating vector search for natural language query processing, as well as the practical advantages of the proposed solution for personalizing the choice of leisure spots and improving the quality of the user experience.

Keywords: web development, Python/FastAPI stack, artificial intelligence, location selection, semantic search, automation.

В условиях современной цифровой экономики процесс выбора туристических локаций и мест отдыха требует от пользователей высокой скорости обработки значительных объемов информации. Ключевым инструментом взаимодействия с базами данных туристических объектов выступают поисковые сервисы, качество алгоритмов которых напрямую влияет на точность соответствия предложенных мест индивидуальным предпочтениям человека. Традиционные методы поиска, основанные на жестких фильтрах и ключевых словах, зачастую не позволяют обеспечить необходимую гибкость и понимание контекста запроса, что делает актуальной задачу автоматизации данного процесса.

Настоящая работа посвящена прикладному аспекту разработки веб-приложения для интеллектуального выбора локаций на основе анализа текста. В качестве технологического базиса выбран современный стек на языке Python с использованием фреймворка FastAPI, обеспечивающий высокую производительность и эффективную работу с асинхронными запросами. Особенностью предлагаемого подхода является интеграция технологий искусственного интеллекта (ИИ), которые позволяют не просто фильтровать данные, но и семантически сопоставлять намерения пользователя с описаниями объектов.

Разрабатываемое решение направлено на упрощение взаимодействия пользователя с интерфейсом и повышение релевантности выдачи за счет использования алгоритмов обработки естественного языка и векторного поиска. В статье рассматривается архитектурная

реализация приложения на базе SQLAlchemy и механизмы взаимодействия серверной части с интеллектуальными сервисами через слой интеграций.

Для реализации задачи интеллектуального подбора локаций был выбран современный высокопроизводительный стек на языке Python. Основным критерием выбора послужила необходимость обработки асинхронных запросов и эффективной работы с алгоритмами машинного обучения. Использование фреймворка FastAPI позволяет обеспечить минимальные задержки при обработке поисковых запросов и автоматическую валидацию данных. Основные компоненты программного стека системы, которые далее более подробно рассматриваются, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Компоненты программного стека системы

Компонент	Технология	Назначение в проекте
Database	PostgreSQL (Supabase)	Надежное хранение профилей пользователей и данных о локациях
Backend Framework	FastAPI	Обработка API-запросов, маршрутизация и бизнес-логика поиска
ORM & Validation	SQLModel	Описание моделей данных и безопасное взаимодействие с БД
Vector Engine	Qdrant / In-memory	Семантическое сопоставление текстовых описаний и запросов

Веб-приложение спроектировано на основе клиент-серверной архитектуры. В качестве основной системы управления базами данных выбрана реляционная модель PostgreSQL. Данный выбор обусловлен необходимостью строгого структурирования информации о географических объектах: каждая локация содержит фиксированный набор атрибутов, таких как географические координаты (широта и долгота), категория, уровень бюджета и текстовые описания.

Использование библиотеки SQLAlchemy позволяет объединить преимущества SQLAlchemy и Pydantic, обеспечивая строгую типизацию данных на всех уровнях приложения. В отличие от традиционных поисковых систем, архитектура Findfield включает слой интеграции с векторными хранилищами.

Серверная часть на базе FastAPI выполняет роль интеллектуального посредника (middleware). Она не только управляет доступом к реляционным данным, но и организует взаимодействие с моделями машинного обучения для генерации эмбеддингов. Это позволяет изолировать тяжелую логику семантического анализа от клиентской части, обеспечивая безопасность API-ключей и высокую скорость работы интерфейса даже на мобильных устройствах.

На рисунке 1 представлена схема взаимодействия компонентов системы при семантическом поиске.

Центральным элементом приложения является интеллектуальный модуль, базирующийся на технологиях обработки естественного языка (NLP) и интеграции с языковыми моделями.

В прикладном аспекте работа модуля организована по следующему алгоритму:

- 1) сбор неструктурированных данных: пользователь вводит поисковый запрос в свободной форме (например, «тихое кафе с красивым видом для работы»);
- 2) векторизация запроса: система автоматически обрабатывает текстовый ввод пользователя с помощью ИИ, преобразуя его в многомерный вектор (эмбеддинг), который математически описывает семантический смысл фразы;
- 3) семантический поиск и ранжирование: полученный вектор сравнивается с заранее вычисленными векторными представлениями всех локаций в базе данных; система вычисляет косинусное сходство и формирует отсортированный список наиболее подходящих мест.

Такой подход позволяет автоматизировать подбор туристических объектов и заведений, ориентируясь не на жесткие фильтры или точные совпадения ключевых слов, а на

скрытый контекст и истинные потребности пользователя, что критически важно для современных рекомендательных систем.

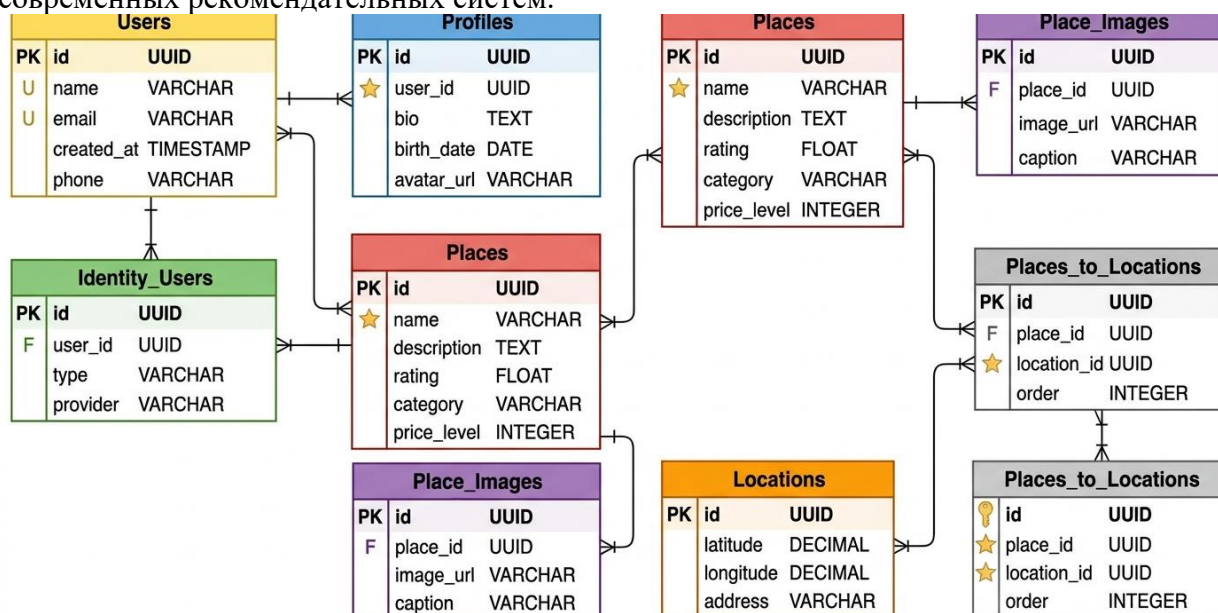


Рисунок 1 – Схема взаимодействия компонентов системы при семантическом поиске

Далее рассмотрим клиентскую часть приложения, которая спроектирована с акцентом на высокую интерактивность и удобную навигацию. Для повышения качества пользовательского опыта (UX) внедрена система компонентного проектирования, позволяющая реализовать динамическое отображение результатов поиска. При отправке запроса пользователь мгновенно видит обновленный список релевантных локаций (карточки мест с фотографиями, рейтингом и описанием), как показано на рисунке 2. Для верстки интерфейса применяются современные CSS-фреймворки, обеспечивающие адаптивность платформы и корректное отображение контента как на десктопных, так и на мобильных устройствах.

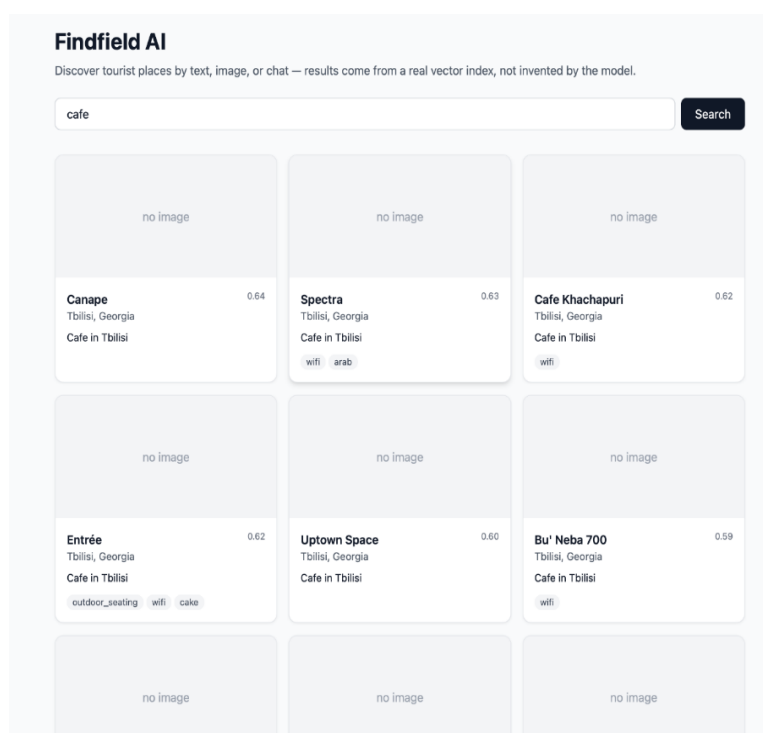


Рисунок 2 – Интерфейс системы интеллектуального поиска с динамическим отображением рекомендованных локаций

Особое внимание в процессе разработки уделено защите персональных данных пользователей и их истории поисковых запросов. Передача информации между клиентом и сервером осуществляется по безопасному протоколу HTTPS. Использование JWT-токенов обеспечивает надежную аутентификацию и разграничение прав доступа к персональным подборкам избранных локаций и настройкам профиля пользователя.

Таблица 2 – Сравнительный анализ методов создания резюме

Критерий	Традиционные системы фильтрации	Интеллектуальный поиск Findfield
Ввод поискового запроса	Ручной выбор категорий и жестких фильтров	Свободный текстовый ввод на естественном языке
Понимание контекста	Отсутствует, строгий поиск по ключевым словам	Семантический анализ и векторное сопоставление
Время на подбор места	Высокое, требует самостоятельного перебора карточек	Минимальное, алгоритм мгновенно выдает топ релевантных мест
Качество рекомендаций	Ограничено базовыми тегами (цена, рейтинг)	Учет неявных параметров и смысловой нагрузки фразы

В результате проведенной работы было спроектировано и реализовано веб-приложение для интеллектуального подбора туристических локаций, объединяющее возможности современного технологического стека Python/FastAPI и инструментов искусственного интеллекта. Разработанный программный продукт позволяет пользователям минимизировать временные затраты на поиск подходящих мест отдыха, обеспечивая при этом высокую релевантность выдачи за счет применения алгоритмов семантического анализа и векторного поиска.

Практическая ценность исследования заключается в создании функционального прототипа, который эффективно решает задачу интеллектуального сопоставления намерений пользователя с характеристиками географических объектов на основе неструктурированных текстовых данных.

Использование современных методов обработки естественного языка позволило создать гибкую систему, превосходящую традиционные сервисы поиска по ключевым словам в аспекте понимания контекста и персонализации пользовательского опыта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Флэнаган, Д. JavaScript. Полное руководство / Д. Флэнаган. – Текст: непосредственный. – 7-е изд. – Санкт-Петербург: Символ-Плюс, 2021. – 720 с.
2. Бэнкс, А. React: современные шаблоны для разработки приложений / А. Бэнкс, Е. Порчелло. – Текст: непосредственный. – Санкт-Петербург: Питер, 2023. – 320 с.
3. Чиннатурай, А. Искусственный интеллект и машинное обучение / А. Чиннатурай. – Текст: непосредственный. – Москва: Диалектика, 2024. – 256 с.
4. Рашид, К. Разработка веб-приложений с использованием Node.js, Express и MongoDB / К. Рашид. – Текст: непосредственный. – Москва: Вильямс, 2022. – 384 с.
5. Документация React. – Текст: электронный // Официальный сайт React. – URL: <https://react.dev/> (дата обращения: 10.04.2026).
6. MongoDB Documentation. – Текст: электронный // MongoDB Inc. – URL: <https://www.mongodb.com/docs/> (дата обращения: 12.04.2026).

Аскаров Иманғали Қанғабайұлы

Каспийский государственный университет технологий и инжиниринга имени Ш. Есенова (г. Актау Казахстан)

Студент Факультета компьютерных наук и искусственного интеллекта

E-mail: imangali.askarov@yu.edu.kz

УДК 004

Научный руководитель:
Иващук Олег Орестович,
ассоциированный профессор,
КУТИ им. Ш. Есенова (Актау, Казахстан)

Р. АСКАРУЛЫ
R. ASKARULY

РАЗРАБОТКА ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СОЗДАНИЯ РЕЗЮМЕ НА ОСНОВЕ СТЕКА MERN С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

DEVELOPMENT OF A WEB APPLICATION FOR AUTOMATED RESUME GENERATION BASED ON MERN STACK USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE

В данной статье описывается прикладной подход к разработке веб-приложения, предназначенного для автоматизации процесса создания профессиональных резюме. Основное внимание уделяется использованию современного программного стека MERN в связке с технологиями искусственного интеллекта. Рассматривается архитектура системы, методы интеграции интеллектуальных алгоритмов для обработки естественного языка и генерации контента, а также практические преимущества предложенного решения для конечных пользователей на рынке труда.

Ключевые слова: веб-разработка, стек MERN, искусственный интеллект, генерация резюме, машинное обучение, автоматизация.

This article describes an applied approach to developing a web application designed to automate the process of creating professional resumes. The main focus is on using the modern MERN software stack in conjunction with artificial intelligence technologies. The system architecture, methods of integrating intelligent algorithms for natural language processing and content generation, as well as the practical advantages of the proposed solution for end users in the labor market are considered.

Keywords: web development, MERN stack, artificial intelligence, resume generation, machine learning, automation.

В условиях современной цифровой экономики процесс поиска работы требует от соискателей высокой скорости адаптации под требования работодателей. Ключевым инструментом первичного взаимодействия выступает резюме, качество составления которого напрямую влияет на успешность прохождения автоматизированных систем подбора персонала (ATS). Традиционные методы создания документов в текстовых редакторах зачастую не позволяют обеспечить необходимую гибкость и профессиональное качество формулировок, что делает актуальной задачу автоматизации данного процесса.

Настоящая работа посвящена прикладному аспекту разработки веб-приложения для автоматизированного создания резюме. В качестве технологического базиса выбран современный стек MERN (MongoDB, Express.js, React, Node.js), обеспечивающий высокую производительность и масштабируемость системы. Особенностью предлагаемого подхода является интеграция технологий искусственного интеллекта (ИИ), которые позволяют не просто структурировать данные, но и интеллектуально оптимизировать текстовое содержание под конкретные профессиональные стандарты.

Разрабатываемое решение направлено на упрощение взаимодействия пользователя с интерфейсом и повышение конкурентоспособности готового документа за счет использования алгоритмов обработки естественного языка. В статье рассматривается архитектурная реализация приложения и механизмы взаимодействия фронтенд-части с интеллектуальными сервисами через серверный слой.

Для реализации прикладной задачи автоматизации создания резюме был выбран стек MERN, который включает MongoDB, Express.js, React и Node.js, представленные в таблице 1. Данный выбор обусловлен необходимостью обеспечения высокой реактивности интерфейса и гибкости структуры хранимых данных. Использование JavaScript на всех уровнях разработки (Full-stack JS) позволяет сократить время на проектирование API и обеспечить бесшовную передачу данных между фронтендом и бэкендом.

Таблица 1 – Компоненты программного стека системы

Компонент	Технология	Назначение в проекте
Database	MongoDB	Хранение профилей пользователей и структур резюме
Backend Framework	Express.js	Обработка API-запросов и маршрутизация
Frontend Library	React.js	Создание динамического интерфейса и Live-превью
Runtime Environment	Node.js	Выполнение серверного кода и интеграция с ИИ

Веб-приложение спроектировано на основе клиент-серверной архитектуры. В качестве системы управления базами данных используется MongoDB. Выбор NoSQL-решения продиктован спецификой объекта: резюме различных пользователей могут иметь разный набор секций (наличие или отсутствие портфолио, сертификатов, специфических навыков). Документоориентированная модель позволяет хранить данные пользователя в виде JSON-подобных структур, что упрощает их обработку в среде Node.js.

Серверная часть на базе Express.js выполняет роль промежуточного звена (middleware), которое не только управляет доступом к базе данных, но и организует взаимодействие с внешними сервисами искусственного интеллекта. Это позволяет изолировать логику обработки промптов от клиента, обеспечивая безопасность API-ключей и снижая нагрузку на браузер пользователя.

На рисунке 1 представлена схема взаимодействия компонентов системы.

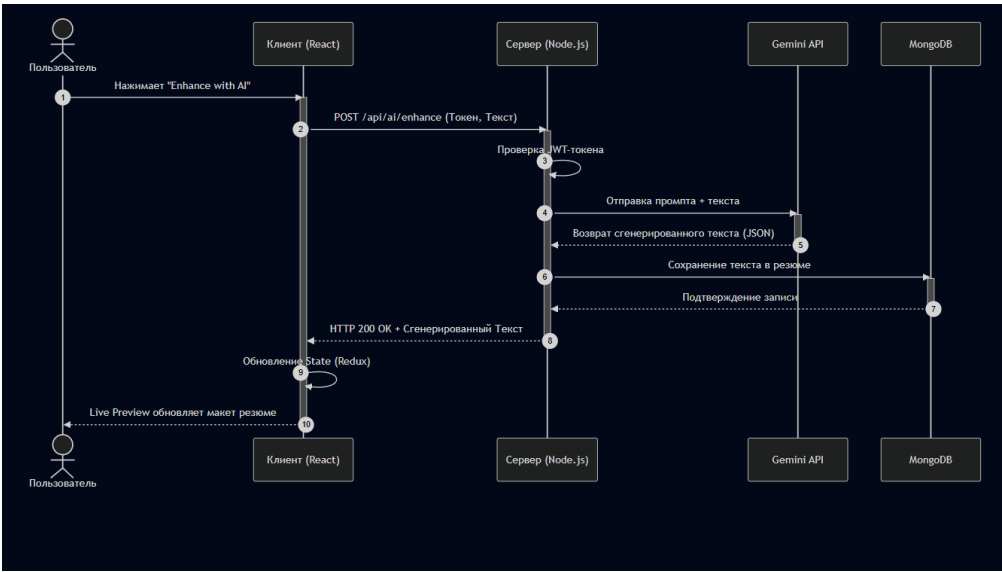


Рисунок 1 – Схема взаимодействия компонентов системы

Центральным элементом приложения является интеллектуальный модуль, базирующийся на интеграции с большими языковыми моделями (LLM). В прикладном аспекте работа модуля организована по следующему алгоритму:

1) сбор первичных данных: пользователь вводит базовую информацию о своем опыте и желаемой позиции;

2) формирование контекстного запроса: система автоматически дополняет ввод пользователя техническими инструкциями (system prompts), задавая роль эксперта в области рекрутинга;

3) генерация и пост-обработка: полученный от ИИ текст проходит валидацию на сервере для исключения галлюцинаций модели и приведения к заданному формату.

Такой подход позволяет автоматизировать написание раздела «О себе» (Summary) и профессиональное описание достижений (Key Achievements), используя глаголы действия и метрики, что важно для успешного прохождения систем ATS (Applicant Tracking Systems).

Фронтенд-часть приложения реализована с использованием библиотеки React. Для повышения качества пользовательского опыта (UX) внедрена система компонентного проектирования, позволяющая реализовать динамическое превью документа. При внесении изменений в форму ввода пользователь мгновенно видит обновленную версию резюме в правой части экрана. Для верстки шаблонов применяются современные CSS-фреймворки, обеспечивающие корректное отображение структуры документа при последующем экспорте в формат PDF.

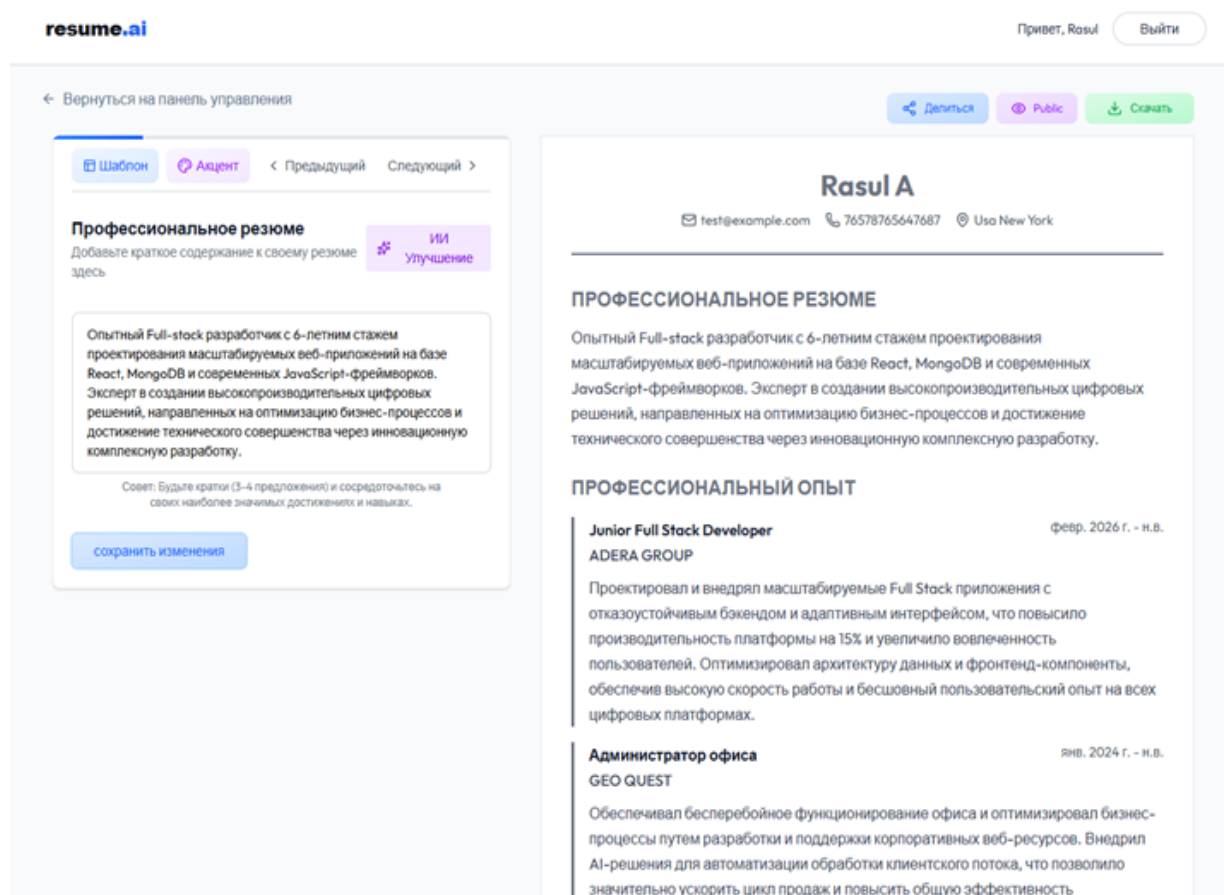


Рисунок 2 – Интерфейс конструктора резюме с функцией динамического превью

Особое внимание в процессе разработки уделено защите персональных данных соискателей. Передача информации между клиентом и сервером осуществляется по протоколу HTTPS. Использование JWT-токенов (JSON Web Token) обеспечивает надежную аутентификацию пользователей и разграничение прав доступа к созданным документам.

В результате проведенной работы было спроектировано и реализовано веб-приложение для автоматизированного создания резюме, объединяющее возможности современного технологического стека MERN и инструментов искусственного интеллекта. Разработанный программный продукт позволяет пользователям минимизировать временные затраты на

составление профессиональных документов, обеспечивая при этом высокое качество контента и его соответствие стандартам систем автоматизированного подбора персонала (ATS).

Таблица 2 – Сравнительный анализ методов создания резюме

Критерий	Традиционный конструктор	Ваше решение с ИИ
Генерация контента	Ввод текста вручную пользователем	Автоматическое написание и расширение описаний
Оптимизация под вакансии	Самостоятельный подбор ключевых слов	Интеллектуальное сопоставление навыков (AI Enhance)
Время на создание	Высокое (необходимость формулирования опыта)	Минимальное (ИИ формирует фразы за секунды)
Качество текста	Зависит от уровня грамотности пользователя	Профессиональный стиль и соблюдение стандартов ATS

Практическая ценность исследования заключается в создании функционального прототипа, который эффективно решает задачу интеллектуальной генерации текстов на основе кратких вводных данных соискателя. Использование нереляционной базы данных MongoDB обеспечило необходимую гибкость архитектуры, а применение React позволило реализовать отзывчивый интерфейс с функцией мгновенного предварительного просмотра.

Перспективы дальнейшего развития проекта связаны с расширением библиотеки визуальных шаблонов, внедрением функционала многоязычной поддержки и интеграцией модулей для прямого экспорта данных на платформы по поиску работы. Предложенное решение подтвердило свою эффективность в качестве прикладного инструмента для автоматизации рутинных процессов в сфере управления карьерой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Флэнаган, Д. JavaScript. Полное руководство / Д. Флэнаган. – Текст: непосредственный. – 7-е изд. – Санкт-Петербург: Символ-Плюс, 2021. – 720 с.
2. Бэнкс, А. React: современные шаблоны для разработки приложений / А. Бэнкс, Е. Порчелло. – Текст: непосредственный. – Санкт-Петербург: Питер, 2023. – 320 с.
3. Чиннатурай, А. Искусственный интеллект и машинное обучение / А. Чиннатурай. – Текст: непосредственный. – Москва: Диалектика, 2024. – 256 с.
4. Рашид, К. Разработка веб-приложений с использованием Node.js, Express и MongoDB / К. Рашид. – Текст: непосредственный. – Москва: Вильямс, 2022. – 384 с.
5. Документация React. – Текст: электронный // Официальный сайт React. – URL: <https://react.dev/> (дата обращения: 10.04.2026).
6. MongoDB Documentation. – Текст: электронный // MongoDB Inc. – URL: <https://www.mongodb.com/docs/> (дата обращения: 12.04.2026).

Аскарулы Расул

Каспийский государственный университет технологий и инжиниринга имени Ш. Есенова (г. Актау Казахстан)
Студент Факультета компьютерных наук и искусственного интеллекта
E-mail: rassul.askaruly@yu.edu.kz

УДК 004.45:656.073

*Научный руководитель:
Подпругина Ирина Вячеславовна,
старший преподаватель кафедры
прикладной информатики
и информационных технологий,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

М.М. АХМЕТЖАНОВ, А.И. ПОДПРУГИН
M.M. AHMETZHANOV, A.I. PODPRUGIN

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УЧЕТА КНИГ В СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОМ МАГАЗИНЕ

DEVELOPMENT OF AN INFORMATION SYSTEM FOR BOOK ACCOUNTING IN A SPECIALIZED STORE

В статье рассматривается вопрос автоматизации процессов ведения учета на основе информационной системы с разграничением прав доступа. Проведён анализ существующих решений, выявлены их недостатки. Разработана многопользовательская информационная система, поддерживающая несколько ролей пользователей: продавец, товаровед, администратор, системный администратор, поставщик и клиент. Система реализована на платформе .NET с использованием технологий Windows Presentation Foundation для построения пользовательского интерфейса и ADO.NET для взаимодействия с базой данных Microsoft SQL Server. Приведены структурная схема системы, описание архитектуры, основные алгоритмы работы. Выполнена оценка эффективности внедрения разработанной системы.

Ключевые слова: информационная система, учет; автоматизация, Windows Presentation Foundation, .NET, ADO.NET, SQL Server, разграничение прав доступа.

The article considers the issue of automation of accounting processes based on an information system with access rights differentiation. The analysis of existing solutions is carried out, their shortcomings are revealed. A multi-user information system has been developed that supports several user roles: salesperson, merchandiser, administrator, system administrator, supplier, and customer. The system is implemented on the platform.NET using Windows Presentation Foundation technologies to build a user interface and ADO.NET to interact with the Microsoft SQL Server database. A structural diagram of the system, a description of the architecture, and basic operating algorithms are provided. The effectiveness of the implementation of the developed system has been assessed.

Keywords: information system, accounting; automation, Windows Presentation Foundation, .NET, ADO.NET, SQL Server, access rights differentiation.

Чтобы компаниям облегчить ведение учета товаров, разрабатывается информационная система. В данной системе сотрудники смогут добавлять какие-либо виды товаров, принимать поставки в магазин и отслеживать количество каждого вида товара. Для этого пользователю сначала предлагается пройти верификацию, или авторизоваться.

Целью работы является оптимизация процесса ведения учета и приемки товара за счет создания информационной системы.

При выполнении работы использованы методы системного анализа, объектно-ориентированного проектирования, теории баз данных. В качестве среды разработки выбрана Microsoft Visual Studio 2022. Пользовательский интерфейс реализован на платформе WPF (Windows Presentation Foundation) с использованием языка разметки XAML. Для взаимодействия с базой данных использована технология ADO.NET. В качестве системы управления базами данных выбран Microsoft SQL Server.

Разработанная информационная система имеет клиент-серверную архитектуру и включает следующие компоненты: клиентское приложение (WPF-приложение), сервер базы данных (Microsoft SQL Server) и шлюз для передачи данных. Система поддерживает шесть ролей пользователей, каждой из которых соответствует определённый набор функций:

- клиент – просмотр каталога книг;

- товаровед – приемка товара и редактирование информации;
- продавец – обработка заказов, просмотр каталога, проведение оплаты;
- администратор – управление ресурсами магазина, подпись документов;
- поставщик – подпись документов;
- системный администратор – назначение прав пользователя.

Діаграма прецедентів представлена на рисунку 1.



Рисунок 1 – Диаграмма прецедентов

В ходе работы спроектирована реляционная база данных, содержащая следующие основные таблицы: Пользователь, Роль пользователя, Заказ, Статус, Заказ_Книга, Книга, Книга_Автор, Автор, Жанр, Издательство. Связи между таблицами организованы с использованием внешних ключей, обеспечена целостность данных на уровне базы данных. Схема базы данных приведена на рисунке 2.

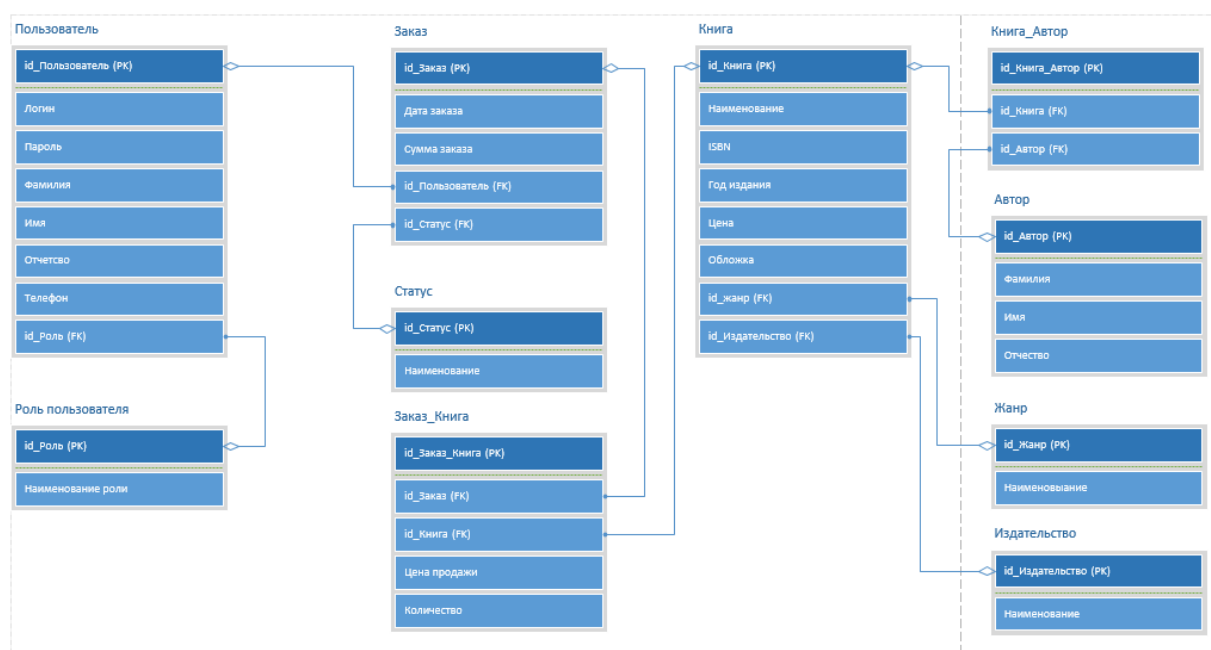


Рисунок 2 – Схема базы данных

Для успешного проектирования информационной системы, призванной автоматизировать учетные процессы в книжном магазине, необходимо детальное исследование существующей организации работы. Такой анализ позволяет выявить узкие места, дублирование функций и операции, требующие оптимизации. Одним из наиболее эффективных инструментов структурного анализа предметной области является методология функционального моделирования IDEF0, позволяющая представить деятельность предприятия в виде иерархической системы взаимосвязанных функций. На рисунке 3 представлена контекстная диаграмма «КАК БУДЕТ».



Рисунок 3 – Контекстная диаграмма «КАК БУДЕТ»

На рисунке 4 представлена диаграмма декомпозиции «КАК БУДЕТ».

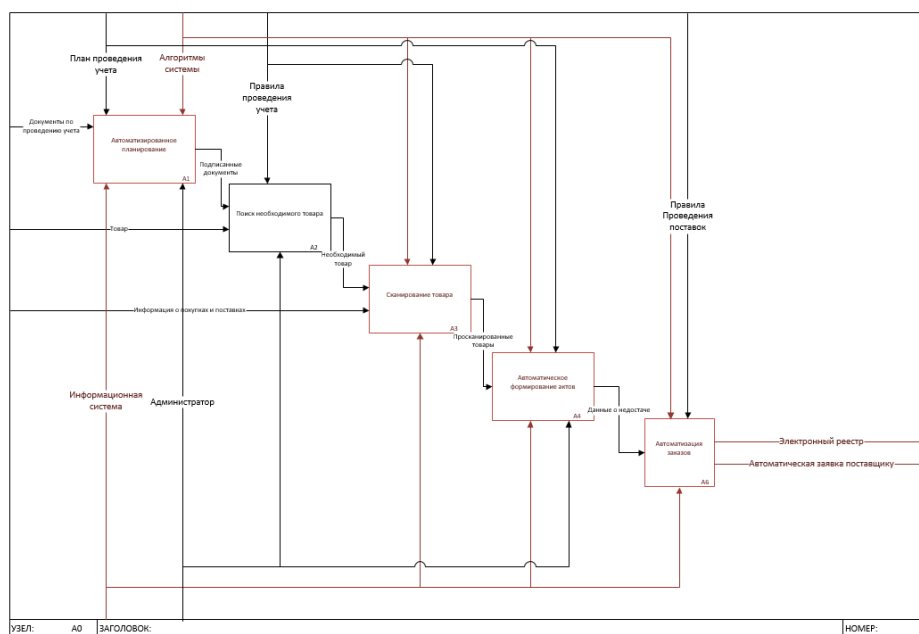


Рисунок 4 – Диаграмма декомпозиции «КАК БУДЕТ»

Пользовательский интерфейс разработан с использованием WPF, что позволило реализовать современный и интуитивно понятный интерфейс с разделением на вкладки в зависимости от роли пользователя. Все SQL-запросы являются параметризованными, что

обеспечивает защиту от инъекций. Хранение данных текущей сессии реализовано в статическом классе CurrentUser.

Разработанная информационная система прошла функциональное тестирование. Проверена корректность авторизации для пользователей с различными ролями, выполнения операций создания и редактирования информации. Система показала стабильную работу при одновременном подключении нескольких пользователей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агальцов, В. П. Базы данных : учебник : в 2 т. / В. П. Агальцов. – Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2020. – 416 с. – Текст : непосредственный.

2. Гагарина, Л. Г. Разработка и эксплуатация автоматизированных информационных систем : учебное пособие / Л. Г. Гагарина. – Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2019. – 384 с. – Текст : непосредственный.

3. Гамма, Э. Приёмы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования / Э. Гамма, Р. Хелм, Р. Джонсон, Дж. Влиссидес. – Санкт-Петербург : Питер, 2020. – 544 с. – Текст : непосредственный.

Ахметжанов Максим Маратович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры информационных системы и программирование

E-mail: 1655797@bsuedu.ru

Подпругин Александр Ильич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Ассистент кафедры прикладной информатики и информационных технологий

E-mail: podprugin@bsuedu.ru

УДК 004.912

*Научный руководитель:
Ильинская Елена Владимировна,
доцент кафедры прикладной информатики
и информационных технологий,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

Д.А. АХУНДОВ, О.С. ФЕФЕЛОВ
D.A. AKHUNDOV, O.S. FEFELOV

ИНСТРУМЕНТЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СФЕРЕ РОЗНИЧНОЙ ТОРГОВЛИ ARTIFICIAL INTELLIGENCE TOOLS IN RETAIL

В статье рассматривается роль инструментов искусственного интеллекта в цифровой трансформации розничной торговли. Анализируются основные направления применения ИИ, включая рекомендательные системы, прогнозирование спроса, интеллектуальные чат-боты и динамическое ценообразование, а также их влияние на повышение конкурентоспособности и персонализацию обслуживания. На примере современных сервисов (Яндекс Маркет) показаны практические аспекты внедрения ИИ и определены перспективы дальнейшего развития технологий в условиях омниканального взаимодействия.

Ключевые слова: искусственный интеллект, розничная торговля, ритейл, персонализация, рекомендательные системы, чат-боты, прогнозирование спроса, динамическое ценообразование, цифровая трансформация, электронная коммерция, омниканальность, компьютерное зрение.

The article examines the role of artificial intelligence tools in the digital transformation of retail. It analyzes the main areas of AI application, including recommendation systems, demand forecasting, intelligent chatbots, and dynamic pricing, as well as their impact on improving competitiveness and personalizing service. Using modern services (Yandex Market) as an example, the practical aspects of AI implementation are demonstrated, and the prospects for further technology development in the context of omnichannel interaction are identified.

Keywords: artificial intelligence, retail, retail trade, personalization, recommendation systems, chatbots, demand forecasting, dynamic pricing, digital transformation, e-commerce, omnichannel, computer vision.

В условиях активной цифровизации экономики розничная торговля претерпевает существенные изменения, связанные с внедрением современных информационных технологий и интеллектуальных инструментов обработки данных. Одним из наиболее значимых направлений развития данной сферы является использование технологий искусственного интеллекта, обеспечивающих автоматизацию анализа больших массивов информации, повышение точности прогнозирования спроса, персонализацию взаимодействия с покупателями и оптимизацию внутренних бизнес-процессов [1]. Применение ИИ в розничной торговле становится важным фактором повышения конкурентоспособности компаний, поскольку позволяет быстрее адаптироваться к изменениям рыночной среды и эффективнее реагировать на запросы потребителей [3].

Актуальность темы обусловлена тем, что современный рынок розничной торговли характеризуется высокой конкуренцией, быстрым изменением потребительских предпочтений и ростом значимости цифровых каналов продаж [5]. В таких условиях традиционные методы управления ассортиментом, маркетингом и обслуживанием покупателей уже не всегда обеспечивают необходимый уровень эффективности. Использование инструментов искусственного интеллекта открывает новые возможности для совершенствования торговой деятельности, включая интеллектуальный анализ поведения клиентов, формирование персонализированных рекомендаций, автоматизацию клиентской поддержки и более точное планирование коммерческих решений [2].

Особую роль ИИ играет в условиях развития электронной коммерции и омниканального взаимодействия с потребителем, когда покупатель ожидает быстрого поиска нужного товара, удобной навигации по ассортименту и индивидуального подхода на всех

этапах покупки. Современные компании розничной торговли все чаще внедряют рекомендательные системы, чат-боты, алгоритмы прогнозной аналитики и инструменты динамического ценообразования, что свидетельствует о переходе к более интеллектуальной модели организации торговых процессов [6].

Следует отметить, что инструменты искусственного интеллекта в розничной торговле используются не только для повышения качества обслуживания, но и для решения стратегических задач, связанных с увеличением продаж, снижением операционных издержек и повышением лояльности покупателей. При этом внедрение ИИ сопровождается рядом ограничений, среди которых можно выделить зависимость от качества исходных данных, сложность интеграции новых решений в существующую ИТ-инфраструктуру и необходимость обеспечения безопасности пользовательской информации [4].

Целью данной статьи является обзор основных инструментов искусственного интеллекта, применяемых в сфере розничной торговли, а также анализ направлений их использования, преимуществ и существующих ограничений. Для достижения поставленной цели необходимо рассмотреть ключевые области применения ИИ в ритейле, выявить особенности наиболее распространенных интеллектуальных решений и определить перспективы их дальнейшего развития.

Таким образом, исследование инструментов искусственного интеллекта в сфере розничной торговли представляет научный интерес как с точки зрения изучения современных тенденций цифровой трансформации, так и с позиции практического применения интеллектуальных технологий в деятельности торговых организаций [1]. В условиях дальнейшего развития цифровой экономики значение ИИ в розничной торговле будет возрастать, что делает данную тему актуальной и востребованной для современного научного анализа [5].

Современная розничная торговля активно использует инструменты искусственного интеллекта для решения широкого круга задач, связанных с продажами, маркетингом, логистикой и обслуживанием клиентов [3]. Это обусловлено тем, что ИИ позволяет обрабатывать большие объемы данных, выявлять скрытые закономерности в поведении покупателей и на основе полученных результатов формировать более эффективные управленческие решения [1]. В условиях высокой конкуренции и быстрого изменения рыночной среды подобные технологии становятся важным элементом цифровой трансформации торговых компаний.

Одним из наиболее распространенных направлений применения ИИ в розничной торговле являются рекомендательные системы. Их основная задача заключается в анализе интересов, предпочтений и истории покупок пользователей с целью формирования персонализированных предложений. Подобные системы позволяют повысить вероятность совершения покупки, увеличить средний чек и улучшить пользовательский опыт за счет более точного подбора товаров. Особенно актуально это для интернет-магазинов и маркетплейсов, где покупателю необходимо быстро ориентироваться в большом ассортименте продукции.

Важное место среди инструментов ИИ занимают интеллектуальные чат-боты и виртуальные ассистенты [6]. Они используются для автоматизации взаимодействия с клиентами, консультирования по ассортименту, помощи в выборе товаров, обработки типовых обращений и сопровождения заказов. Применение таких решений позволяет снизить нагрузку на персонал, ускорить обработку запросов и обеспечить круглосуточную поддержку покупателей [3]. В последние годы особое развитие получили системы, основанные на генеративных моделях, способные вести более естественный диалог и учитывать контекст запросов пользователя [6].

Еще одним значимым направлением является прогнозирование спроса и анализ потребительского поведения [5]. На основе исторических данных о продажах, сезонности, маркетинговых акциях и внешних факторах интеллектуальные алгоритмы помогают прогнозировать изменение спроса на отдельные категории товаров. Это позволяет более эффективно управлять запасами, снижать вероятность дефицита или переизбытка товаров, а также повышать точность планирования закупок [5]. Для предприятий розничной торговли

подобные инструменты имеют особую ценность, поскольку напрямую влияют на устойчивость поставок и финансовые результаты деятельности [1].

Широкое распространение получают и инструменты ИИ, применяемые в маркетинге и персонализации коммуникации с клиентами [5]. С помощью анализа данных о поведении пользователей компании могут сегментировать аудиторию, определять наиболее перспективные группы покупателей и формировать адресные рекламные предложения [2]. Персонализированный подход способствует повышению конверсии, росту лояльности клиентов и более рациональному использованию маркетингового бюджета [2].

Отдельным направлением является динамическое ценообразование, при котором алгоритмы ИИ анализируют спрос, активность покупателей, конкурентную среду и иные факторы для оперативного изменения цен на товары [6]. Такой подход позволяет торговым компаниям гибко реагировать на изменения рыночной ситуации и повышать экономическую эффективность продаж. Наиболее активно данные механизмы применяются в электронной коммерции и в крупных торговых сетях, где требуется постоянная корректировка ценовой политики [3].

Кроме того, в розничной торговле развиваются инструменты компьютерного зрения и видеоаналитики [4]. Они используются для контроля товарных остатков на полках, анализа потока покупателей, выявления особенностей поведения клиентов в торговом зале и повышения уровня безопасности. Такие технологии позволяют получать дополнительную информацию о функционировании торговой точки и принимать решения на основе объективных данных, а не только на основе экспертных оценок [5].

Таким образом, основные направления применения инструментов искусственного интеллекта в розничной торговле охватывают персонализацию продаж, автоматизацию клиентского сервиса, прогнозирование спроса, интеллектуальный маркетинг, динамическое ценообразование и видеоаналитику [1]. Все перечисленные направления показывают, что ИИ становится не отдельным вспомогательным инструментом, а важной частью современной торговой инфраструктуры [5].

Практическое применение инструментов искусственного интеллекта в современной розничной торговле можно наблюдать как в крупных маркетплейсах, так и в интернет-магазинах, использующих цифровые механизмы персонализации, интеллектуального поиска и автоматизированного взаимодействия с покупателями [1]. Внедрение ИИ-решений в реальные торговые сервисы показывает, что данные технологии применяются не только для повышения удобства использования платформ, но и для роста продаж, улучшения качества рекомендаций и повышения эффективности клиентского сервиса [3].

Одним из наиболее показательных примеров является использование интеллектуальных алгоритмов на платформе Яндекс Маркет [6]. В рамках работы сервиса ИИ-инструменты помогают обрабатывать поисковые запросы пользователей, подбирать релевантные товары и формировать персонализированную выдачу с учетом интересов покупателя. Это особенно важно в условиях широкого ассортимента, когда пользователю необходимо быстро найти подходящий товар среди большого количества предложений. Подобные механизмы позволяют сделать процесс выбора более удобным, сократить время поиска и повысить вероятность совершения покупки [5].

Кроме того, в современных розничных сервисах активно используются рекомендательные системы [1]. Их задача заключается в том, чтобы на основе истории просмотров, прошлых покупок, интересов пользователя и схожих поведенческих моделей предлагать наиболее подходящие товары. Такой подход широко применяется в онлайн-ритейле, поскольку способствует увеличению среднего чека и улучшению пользовательского опыта [6]. Персонализация становится важным элементом конкурентной стратегии, так как позволяет компании выстраивать более точное и адресное взаимодействие с клиентом [5].

Заметную роль играют и интеллектуальные чат-боты, которые применяются в клиентском сервисе для консультации покупателей, сопровождения заказа и ответов на типовые вопросы [4]. Использование таких решений позволяет обеспечить более быстрое взаимодействие с пользователями и снизить нагрузку на сотрудников службы поддержки.

Особенно актуальны подобные инструменты для крупных цифровых площадок, работающих с большим количеством обращений в круглосуточном режиме [4].

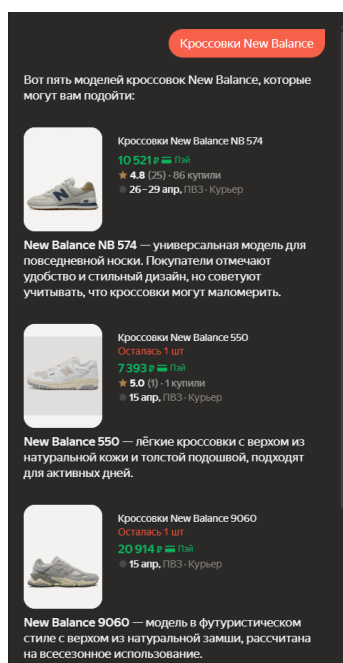


Рисунок 1 – Пример применения ИИ-инструментов на платформе Яндекс Маркет

Еще одним примером использования ИИ в розничных сервисах является анализ покупательского поведения и прогнозирование спроса [3]. На основе накопленных данных компании могут определять наиболее востребованные категории товаров, выявлять изменения в интересах аудитории и адаптировать ассортимент под реальные потребности потребителей. Это позволяет более эффективно выстраивать маркетинговые кампании, планировать поставки и улучшать качество коммерческих решений [2].

Таким образом, примеры современных розничных сервисов показывают, что инструменты искусственного интеллекта уже стали важной частью цифровой торговой инфраструктуры [1]. Они применяются в персонализированных рекомендациях, интеллектуальном поиске, автоматизации консультационной поддержки и аналитике потребительского поведения. Использование данных решений позволяет торговым платформам не только повышать удобство для покупателей, но и укреплять собственные позиции в условиях высокой конкуренции [6].

Перспективы развития искусственного интеллекта в сфере розничной торговли связаны с дальнейшим расширением интеллектуальных технологий в продажах, маркетинге и взаимодействии с покупателями [3]. По мере развития цифровой среды ИИ все чаще рассматривается не как вспомогательный инструмент, а как важный элемент современной торговой инфраструктуры [2].

Одним из ключевых направлений остается углубление персонализации [5]. В дальнейшем розничные сервисы смогут еще точнее учитывать интересы, поведение и предпочтения покупателей, формируя более релевантные предложения и рекомендации [7]. Значимую роль также будет играть развитие генеративного искусственного интеллекта, который может использоваться для автоматизации клиентского сервиса, создания интеллектуальных ассистентов и подготовки контента [9].

Кроме того, перспективы ИИ связаны с развитием омниканального взаимодействия и прогнозной аналитики [5]. Интеллектуальные системы будут объединять данные из разных каналов продаж и помогать компаниям точнее прогнозировать спрос, оптимизировать ассортимент и быстрее адаптироваться к изменениям рынка [4].

Таким образом, дальнейшее развитие ИИ в розничной торговле будет связано с ростом персонализации, расширением автоматизации и повышением точности аналитических решений [6].

Рассмотренные примеры современных розничных сервисов подтверждают, что искусственный интеллект уже стал важным практическим инструментом в деятельности торговых платформ [5]. Его использование позволяет не только повышать качество пользовательского опыта, но и формировать новые подходы к организации клиентского сервиса, продвижению товаров и принятию управленческих решений [6].

Перспективы дальнейшего развития ИИ в розничной торговле связаны с усилением персонализации, распространением генеративных технологий, развитием омниканального взаимодействия и повышением точности аналитических моделей [9]. Это позволяет сделать вывод о том, что в ближайшие годы значение искусственного интеллекта в сфере розничной торговли будет возрастать, а сами интеллектуальные инструменты станут неотъемлемой частью современной торговой инфраструктуры [6].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Искусственный интеллект в ритейле [Электронный ресурс]. – URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Искусственный_интеллект_в_ритейле (дата обращения: 01.04.2026).
2. Искусственный интеллект (рынок России) [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Искусственный_интеллект_\(рынок_России\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Искусственный_интеллект_(рынок_России)) (дата обращения: 02.04.2026).
3. Российский рынок цифровизации ритейла. Обзор TAdviser 2025 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Российский_рынок_цифровизации_ритейла._Обзор_TAdviser_2025 (дата обращения: 02.04.2026).
4. Технологические тренды и инновации в ритейле [Электронный ресурс]. – URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Технологические_тренды_и_инновации_в_ритейле (дата обращения: 10.04.2026).
5. Доля крупных российских компаний, использующих генеративный ИИ, превысила 70% [Электронный ресурс]. – URL: <https://yandex.ru/company/news/08-12-2025-01> (дата обращения: 12.04.2026).
6. Эксперты определили уровень внедрения AI в клиентском сервисе, продажах и маркетинге [Электронный ресурс]. – URL: <https://sber.pro/publication/eksperti-opredelili-uroven-vnedreniya-ai-v-klientskom-servise-prodazhah-i-marketinge/> (дата обращения: 13.04.2026).

Ахундов Даниил Октаевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)
Студент кафедры прикладной информатики и информационных технологий
E-mail: 1645958@bsuedu.ru

Фефелов Олег Сергеевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)
Аспирант кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий
E-mail: fefelov@bsuedu.ru

УДК 004.45:656.073

*Научный руководитель:
Подпругина Ирина Вячеславовна,
старший преподаватель кафедры
прикладной информатики
и информационных технологий,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

А.А. АЧКАСОВА, А.И. ПОДПРУГИН
А.А. ACHKASOVA, A.I. PODPRUGIN

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ УЧЁТА КЛИЕНТОВ АУТСОРСИНГОВОЙ КОМПАНИИ DEVELOPMENT OF AN INFORMATION SYSTEM FOR ACCOUNTING CUSTOMERS OF AN OUTSOURCING COMPANY

В статье рассматривается проблема автоматизации процессов учёта клиентов и управления договорными отношениями в аутсорсинговой компании. Проведён анализ существующих CRM-систем и решений для учёта клиентов, выявлены их недостатки. Разработана многопользовательская информационная система, поддерживающая несколько ролей пользователей. Система реализована с помощью 1С: Предприятия, на платформе БИТРИКС24. Разработка базы данных произведена на платформе MS SQL Server. Выполнена оценка эффективности внедрения разработанной системы.

Ключевые слова: информационная система; аутсорсинг; учёт клиентов; автоматизация; БИТРИКС24; 1С: Предприятие; SQL Server.

The article discusses the problem of automating customer accounting processes and managing contractual relations in an outsourcing company. It analyses existing CRM systems and customer accounting solutions and identifies their shortcomings. A multi-user information system that supports multiple user roles has been developed. The system is implemented using 1C:Enterprise on the BITRIX24 platform. The database was developed using the MS SQL Server platform. The effectiveness of the developed system has been evaluated.

Keywords: information system; outsourcing; customer accounting; automation; BITRIX24; 1C: Enterprise; SQL Server.

В условиях высокой конкуренции на рынке аутсорсинговых услуг эффективное управление клиентскими отношениями становится ключевым фактором успеха компании. Современные бизнес-процессы требуют оперативного доступа к достоверной информации о клиентах, истории взаимодействия, заключённых договорах и оказываемых услугах.

Традиционные методы учёта – ведение записей в бумажных журналах или электронных таблицах – обладают существенными недостатками:

- высокая вероятность ошибок при вводе и обработке данных;
- сложность поиска и анализа информации;
- дублирование данных и их несогласованность;
- отсутствие централизованного хранилища информации;
- низкая скорость обработки клиентских запросов.

Разработка специализированной информационной системы для учёта клиентов позволяет решить эти проблемы, обеспечив:

- централизованное хранение данных;
- автоматизацию рутинных операций;
- быстрый поиск и фильтрацию информации;
- формирование отчётности в реальном времени;
- повышение качества обслуживания клиентов.

Целью работы является разработка информационной системы для учёта клиентов аутсорсинговой компании, обеспечивающей эффективное управление клиентской базой и оптимизацию бизнес-процессов взаимодействия с заказчиками.

При проектировании информационной системы для учёта клиентов аутсорсинговой компании критически важен обоснованный выбор технологических решений, обеспечивающий баланс между функциональностью, надёжностью, стоимостью и перспективами развития системы. Для разработки были выбраны следующие средства:

- Microsoft Visio выбран в качестве основного графического редактора
- Основная СУБД – MS SQL Server
- «1С: Предприятие» – прикладное решение
- БИТРИКС24 – основа для разработанной CRM системы

Разработанная информационная система имеет клиент-серверную архитектуру. В рамках предметной области выделяются следующие ключевые сущности.

Клиент – юридическое или физическое лицо, заключившее договор на оказание аутсорсинговых услуг. Характеристики: наименование, ИНН/ОГРН, реквизиты, контактная информация, отрасль деятельности, дата подключения.

Договор – документ, фиксирующий условия оказания услуг. Характеристики: номер, дата заключения, срок действия, перечень услуг, стоимость, условия оплаты, статус (действует/приостановлен/расторгнут).

Услуга – тип работ, предоставляемых по договору. Характеристики: наименование, единица измерения, базовая стоимость, нормативы времени выполнения.

Контактное лицо – представитель клиента, ответственный за взаимодействие. Характеристики: ФИО, должность, телефоны, e-mail, роль в процессе (лицо, принимающее решения / исполнитель).

История взаимодействий – записи о контактах с клиентом (звонки, письма, встречи, претензии). Характеристики: дата, тип контакта, тема, результат, ответственный сотрудник.

Менеджер по работе с клиентами – сотрудник компании, курирующий клиента. Характеристики: Ф.И.О., отдел, зона ответственности, KPI по клиентам.

В ходе работы спроектирована логическая и физическая базы данных. В первую очередь спроектирована логическая база данных – это концептуальный уровень организации данных, который определяет, как информация представлена, связана и обрабатывается в системе управления базами данных. Логическая база данных разработана в среде MS Visio. Основные сущности, используемые в разработанной базе данных:

- должность клиента: хранит информацию о должностях клиентов;
- клиент: содержит персональные данные клиентов;
- компания клиента: хранит данные о компаниях, с которыми работают клиенты;
- заявка: отражает заявки, поданные клиентами;
- договор: содержит информацию о договорах с клиентами;
- платёж: учёт платежей по договорам;
- ТЗ: хранит данные о технических заданиях;
- запись: отражает записи о выполнении работ по заявкам;
- услуга: каталог услуг, предоставляемых компанией;
- сотрудник: содержит данные о сотрудниках компании;
- роль сотрудника: определяет роли и права доступа сотрудников;

Схема базы данных приведена на рисунке 1.

Дальнейшим этапом стала разработка физической модели данных. Физическая модель данных разработана в среде MS SQL Server. Физическая модель базы данных – это конкретная реализация базы данных, которая описывает, как данные будут физически храниться и осуществляться к ним доступ. Все сущности связаны между собой через внешние ключи, что обеспечивает целостность и взаимосвязь данных. В диаграмме созданы следующие сущности:

- сущность «Dolzhnost_klienta»;
- сущность «Kompaniya_klienta»;
- сущность «Client»;

- сущность «Zayavka»;
- сущность «Dogovor»;
- сущность «Platezh»;
- сущность «TZ»;
- сущность «Zapis»;
- сущность «Usluga»;
- сущность «Sotrudnik»;
- сущность «Rol_sotrudnika».

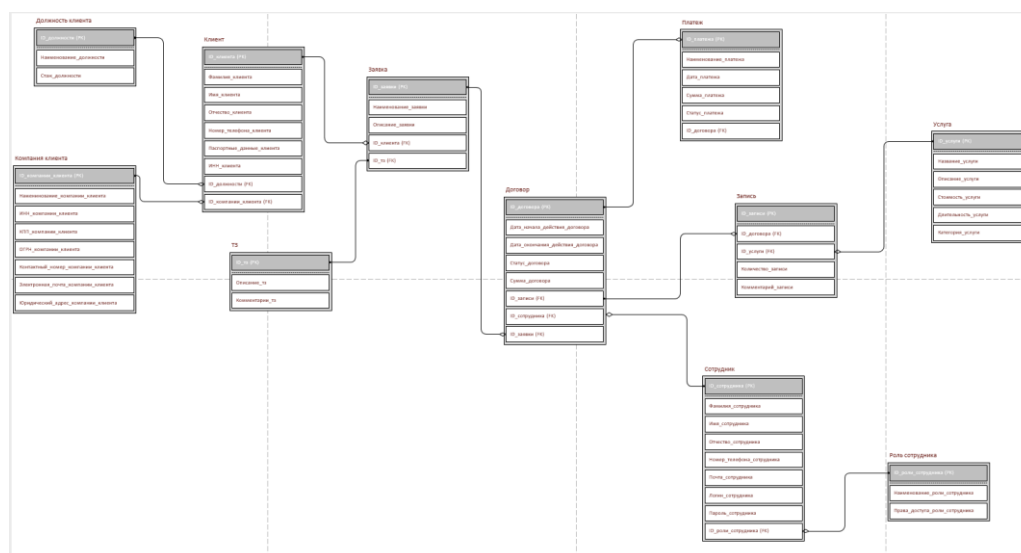


Рисунок 1 – Схема базы данных

Физическая база данных представлена на рисунке 2.

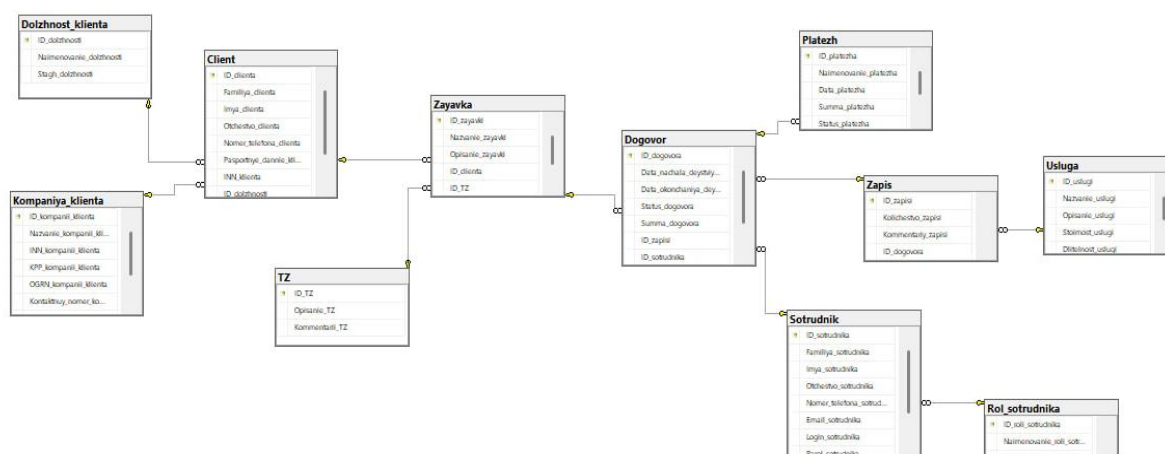


Рисунок 2 – Физическая модель базы данных

Для эффективного функционирования аутсорсинговой компании, предоставляющей услуги по подбору персонала важным аспектом является наличие структурированной системы управления взаимоотношениями с клиентами. В ходе анализа предметной деятельности было установлено, что существующий процесс учёта клиентов в рассматриваемой организации базируется на использовании разрозненных электронных таблиц и файлового документооборота, что приводит к ряду системных проблем. К ним относятся дублирование данных при внесении информации разными менеджерами, отсутствие единой истории взаимодействия с заказчиком, сложность контроля за статусом договоров и сроками их пролонгации, а также низкая скорость формирования аналитической отчётности по ключевым

показателям, таким как количество активных клиентов, объём оказанных услуг и дебиторская задолженность. Выявленные недостатки обуславливают необходимость разработки специализированной информационной системы, призванной централизовать хранение данных, автоматизировать бизнес-процессы сопровождения клиентов и обеспечить оперативный доступ к актуальной информации для всех категорий сотрудников, включая менеджеров по работе с клиентами, руководителей отделов и бухгалтерию.

При проектировании пользовательского интерфейса использование унифицированных форм ввода, развёрнутых фильтров в таблицах и интуитивно понятной навигации позволяет снизить вероятность ошибок, связанных с человеческим фактором. Интерфейс разрабатывается с использованием современных веб-технологий, что обеспечивает кроссплатформенность и не требует установки дополнительного программного обеспечения на рабочие станции сотрудников, достаточно наличия современного веб-браузера.

CRM система – это система управления взаимоотношениями с клиентами. Данное программное обеспечение, которое помогает компании хранить и обновлять данные о клиентах, фиксировать историю общения и управлять продажами в едином информационном пространстве. CRM поможет отслеживать не только клиентов, а также сотрудников, которые обращаются в компанию для поиска работы.

Разработанная информационная система прошла функциональное тестирование. Проверена корректность при создании карточки клиента, проѐден тест на отображение корректной информации профиля, также тест на отображение новостей в ленте системы. Время отклика основных операций не превышает 1-3 секунд при объёме базы до 100 000 записей. В таблице 1 представлен сравнительный анализ с другими CRM-системами.

Таблица 1 – Сравнительный анализ конкурентных CRM систем

Критерий	Разработанная система на основе «БИТРИКС24»	«AmoCRM»	«Skillaz»	«HelloClient»
Поддержка малого аутсорсинга	+++	++	+++	++
Разграничение ролей	+++	++	+++	+++
Учёт договоров и актов	+++	+	++	++
Финансовые отчёты	+++	+	++	+++
Личный кабинет клиента	+++	–	++	++
Интеграции	+++	+++	++	++

Расшифровка обозначений: «+++» – реализовано отлично / полностью соответствует требованию, «++» – реализовано частично / требует доработки, «+» – минимально реализовано / есть базовые функции, «–» – отсутствует / не поддерживается.

В результате выполнения работы была достигнута поставленная цель – разработана информационная система, обеспечивающая эффективное управление клиентской базой и оптимизацию бизнес-процессов взаимодействия с заказчиками. Актуальность темы обусловлена высокой конкуренцией на рынке аутсорсинговых услуг, где эффективное управление клиентскими отношениями становится ключевым фактором успеха компании. Результаты работы имеют практическую значимость и могут быть рекомендованы к внедрению в деятельность аутсорсинговых компаний, стремящихся к оптимизации бизнес-процессов взаимодействия с заказчиками и повышению эффективности управления клиентской базой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грекул, В. И. Проектирование информационных систем: учебник и практикум для среднего профессионального образования. Москва : Издательство Юрайт, 2025. – 404 с. – Текст: электронный

2. Григорьев, М. В. Проектирование информационных систем: учебное пособие для среднего профессионального образования. Москва: Издательство Юрайт, 2022. – 318 с. – Текст: электронный

3. Илюшечкин, В. М. Основы использования и проектирования баз данных: учебник для среднего профессионального образования. Москва: Издательство Юрайт, 2022. – 213 с. – Текст: электронный

4. Казанский, А. А. Программирование на C#: учебное пособие для среднего профессионального образования. Москва : Издательство Юрайт, 2025. – 181 с. – Текст: электронный

5. Казанский, А. А. Объектно-ориентированное программирование. Visual Basic: учебник для среднего профессионального образования Москва: Издательство Юрайт, 2025. – 295 с. – Текст: электронный.

6. Кудрина, Е. В. Основы алгоритмизации и программирования на языке C#: учебное пособие для среднего профессионального образования Москва: Издательство Юрайт, 2022. – 322 с. Текст: электронный

Ачкасова Алина Андреевна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент инжинирингово колледжа

E-mail: 1655254@bsuedu.ru

Подпругин Александр Ильич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Ассистент кафедры прикладной информатики и информационных технологий

E-mail: podprugin@bsuedu.ru

УДК 004.92:514.18

Научный руководитель:
Голдобина Дарья Михайловна,
ассистент кафедры информационно-
телекоммуникационных систем и технологий,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)

А.В. БАГРОВА
A.V. BAGROVA

АКСОНОМЕТРИЧЕСКАЯ ПРОЕКЦИЯ В ИНЖЕНЕРНОЙ И КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКЕ

AXONOMETRIC PROJECTION IN ENGINEERING AND COMPUTER GRAPHICS

В данной статье автор освещают проблему о современных условиях развития инженерного проектирования и компьютерного моделирования как особую актуальность, которую приобретают методы наглядного изображения пространственных объектов на плоскости. Аксонометрическая проекция выступает как универсальный инструмент визуализации трёхмерных форм, обеспечивающий одновременное восприятие геометрических характеристик предмета по трём взаимно перпендикулярным направлениям. Её применение позволяет повысить эффективность проектно-конструкторской деятельности, оптимизировать процессы технического документирования и обеспечить точность восприятия пространственных соотношений. Данный подход является фундаментальным элементом инженерной графики, обеспечивающим связь между пространственным воображением и плоскостным представлением. Современная методология основывается на принципах, как классического геометрического моделирования, так и компьютерных технологий визуализации, что позволяет автоматизировать построения и повысить точность графических представлений.

Ключевые слова: инженерная графика, компьютерная графика, аксонометрическая проекция, трехмерное моделирование, визуализация, техническое проектирование, изометрия, изобара, параллельные проекции, графические средства, моделирование объектов, CAD-системы, компьютерное моделирование, точность, наглядность.

In this article, the author address the issue of the importance of visual representation of spatial objects on a plane in the context of modern engineering design and computer modeling. Axonometric projection serves as a versatile tool for visualizing three-dimensional shapes, allowing for simultaneous perception of the geometric characteristics of an object in three mutually perpendicular directions. Its application enhances the efficiency of design activities, streamlines technical documentation processes, and ensures accurate perception of spatial relationships. This approach is a fundamental element of engineering graphics, bridging the gap between spatial imagination and planar representation. Modern methodology is based on the principles of both classical geometric modeling and computer visualization technologies, which allows for the automation of constructions and processing.

Keywords: engineering graphics, computer graphics, axonometric projection, three-dimensional modeling, visualization, technical design, isometry, isobar, parallel projections, graphic tools, object modeling, CAD systems, computer modeling, accuracy, and clarity.

В современном инженерном проектировании графическое моделирование выступает неотъемлемым компонентом на всех этапах жизненного цикла технических изделий – от концептуальной проработки до серийного производства и эксплуатации.

Фундаментальная задача создания точных и информативных изображений объектов, адекватно отражающих их пространственную структуру, геометрические параметры и размерные характеристики, решается через применение специализированных методов графического представления. Среди разнообразных способов отображения трёхмерных объектов на двумерной плоскости аксонометрическая проекция занимает особое положение благодаря сочетанию наглядности, технической точности и универсальности применения.

Историческая эволюция метода аксонометрии восходит к истокам начертательной геометрии и систематизированным исследованиям в области проекционного черчения.

Первоначальные представления о параллельных проекциях и механизмах отображения пространственных объектов на плоскости сформировались в XVIII–XIX веках в трудах немецких и французских геометров.

В 1859 году немецкий учёный Карл Мюллер осуществил систематизацию методов изображения пространственных форм, что стало катализатором развития теории аксонометрии как самостоятельной научной дисциплины. Ключевой теоретический вклад внесли работы Уильяма Фэриша (1822), сформулировавшего детальные правила изометрического черчения, а также исследования Полька и Хуа Вальца, заложившие основы фундаментальной теоремы аксонометрического проецирования.

В XIX–XX веках этот метод широко использовался при создании технических чертежей, моделировании механизмов и архитектурных решений. В тот период сформировались основные виды аксонометрии – изометрия, диметрия и триметрия, которые отличаются способами наклона осей и коэффициентами масштабирования.

В начале XXI века развитие компьютерных технологий и CAD-систем привело к автоматизации построений, что значительно ускорило процесс создания чертежей и повысило их точность и стандартизацию.

Геометрические основы аксонометрического проецирования базируются на принципах параллельного отображения точек трёхмерного объекта на двумерную плоскость изображения. В отличие от центральных перспективных проекций, где проецирующие линии сходятся в точках схода, аксонометрия сохраняет параллельность прямых линий и их проекций, что обеспечивает пропорциональность отображения и возможность прямого измерения размеров по осям координат. Центральным элементом является наклон трёх взаимно перпендикулярных осей координат (Ox , Oy , Oz) относительно плоскости проекций, в результате чего формируется образ объекта через параллельное проецирование его характерных точек.

Аксонометрическая проекция – это параллельная проекция трехмерных объектов на двумерную плоскость, при которой все параллельные линии остаются параллельными своим изображениям. В отличие от перспективных проекций, где линии сходятся к точкам схода, аксонометрия сохраняет истинные размеры по осям, что особенно важно в инженерной графике. Основным элементом является наклон трех взаимно перпендикулярных осей (Ox , Oy , Oz) к плоскости изображения. В результате построения изображение объекта получается за счет проекции его точек на плоскость при помощи параллельных линий, параллельных выбранным осям.

Виды аксонометрии включают в себя: изометрию, диметрию, триметрию. Изометрия предполагает наклон всех трех осей под равными углами (обычно 120° между осями), с одинаковым масштабом по осям, что обеспечивает симметричное и равномерное изображение, широко используемое для отображения деталей и сборочных единиц. Диметрия характеризуется наклоном двух осей под одинаковыми углами и масштабом по третьей, что позволяет подчеркнуть горизонтальные и вертикальные размеры, делая изображение более информативным. Триметрия включает наклон всех трех осей под разными углами и с разными масштабами, что дает возможность выделить определенные стороны объекта или придать изображению особую выразительность.

Рассмотрим следующие виды аксонометрии.

Изометрия – все три оси наклонены под равными углами (обычно 120° между осями), масштаб по осям одинаковый. Обеспечивает симметричное и равномерное изображение, широко используемое для отображения деталей и сборочных единиц.

Диметрия – две оси наклонены под одинаковыми углами, а масштаб по третьей отличается, что позволяет подчеркнуть горизонтальные и вертикальные размеры, делая изображение более информативным.

Триметрия – все три оси наклонены под разными углами и с разными масштабами, что дает возможность выделить определенные стороны объекта или придать изображению особую выразительность.

Для каждого вида аксонометрии задаются параметры: углы наклона осей к плоскости и масштабы по осям. Эти параметры определяют искажения, которые возникают при отображении в проекции, и позволяют регулировать степень искажения для достижения необходимого визуального эффекта.

Методы построения аксонометрических изображений делятся: на классические и автоматизированные. Классические методы включают координатный расчет – основанный на вычислении координат точек объекта и их последующем проецировании на плоскость при помощи формул, что удобно в автоматизированных системах. Также применяются геометрические построения, основанные на правилах и стандартных конструкциях, включающие построение осей, определение точек пересечения и использование шаблонных элементов.

Координатный метод – основан на вычислении координат точек объекта в трехмерном пространстве и их последующем проецировании на плоскость при помощи формул. Требует знания точечных координат и точных расчетов, что удобно в автоматизированных системах.

Геометрические построения – используются для ручных чертежей, основанных на правилах и стандартных конструкциях. Включают построение осей, определение точек пересечения, использование шаблонов и шаблонных элементов.

С развитием CAD-систем построения аксонометрических изображений стали полностью автоматическими. В них задаются параметры наклона и масштабирования, после чего программа сама строит изображение, используя встроенные алгоритмы. Это значительно повышает точность и скорость выполнения чертежей.

Использование «умных» систем моделирования, где параметры можно менять в реальном времени, а изображение обновляется автоматически.

Преимущества и ограничения аксонометрической проекции:

- точность размеров и пропорций – сохраняет истинные размеры по осям, облегчая измерения и контроль;
- упрощение чертежных и расчетных работ – автоматизация построений и измерений;
- понятность и наглядность – позволяет легко воспринимать сложные формы;
- поддержка автоматизации – интеграция с CAD системами, позволяющая быстро получать точные изображения;
- облегчение анализа и проектирования – возможность быстрого внесения изменений, проверки структуры;
- отсутствие перспективы – изображение выглядит «плоским», что иногда мешает восприятию глубины;
- искажения при неправильных параметрах – требует точной настройки углов и масштабов;
- ограниченность в сценах с множеством объектов – сложные сцены трудно представить в аксонометрии без потери информативности;
- меньшая выразительность по сравнению с перспективой – не подходит для визуализации сцен и сценических эффектов;
- интеграция с системами виртуальной и дополненной реальности, что позволяет наглядно показывать объекты в трехмерном пространстве с возможностью вращения, масштабирования и анализа.

С развитием информационных технологий построение аксонометрических проекций трансформировалось в автоматизированный процесс. Современные CAD-системы (AutoCAD, SolidWorks, Inventor, Компас-3D, T-FLEX CAD) интегрируют встроенные алгоритмы генерации аксонометрических видов по заданным параметрам наклона и масштабирования, обеспечивая получение готовых чертежей в считанные минуты. Функционал включает автоматическое построение осей, точек, линий, а также параметрическое обновление изображений при изменении исходных данных.

Интеграция аксонометрии с VR/AR технологиями открывает новые возможности для обучения, проектирования и презентации. Виртуальные модели позволяют рассматривать

объекты в трехмерном пространстве, вращать их, изменять параметры, делая процесс более интерактивным и наглядным.

Современные системы также позволяют создавать параметрические модели, где изменение исходных данных автоматически вызывает обновление изображения, что существенно ускоряет работу и повышает точность. Интеграция с системами искусственного интеллекта позволяет автоматически выбирать оптимальные параметры проекции под конкретные задачи визуализации, автоматизировать создание сложных сцен и сценических композиций, расширяя применение аксонометрии за пределы традиционных технических чертежей в области мультимедийных презентаций, виртуальных моделей и образовательных платформ.

Современные технологические тренды определяют новые векторы развития аксонометрического проецирования. Интеграция с системами виртуальной и дополненной реальности открывает возможности интерактивного трёхмерного просмотра с функциями вращения, масштабирования и детального анализа. Параметрическое моделирование обеспечивает автоматическое обновление аксонометрических видов при изменении базовых параметров объекта. Перспективным направлением становится применение искусственного интеллекта для автоматического выбора оптимальных параметров проекции под конкретные задачи визуализации.

В контексте цифровой трансформации инженерной графики особое значение приобретает применение аксонометрии в новых медиа и визуализации данных. Аксонометрические иллюстрации интегрируются в системы интерактивной многомерной визуализации, становясь эффективным инструментом представления сложных массивов данных. Динамическая обработка аксонометрических изображений с использованием мультимедийных технологий позволяет преодолеть ограничения статичности, придавая проекциям динамику и интерактивность.

Перспективы развития методологии аксонометрического проецирования связаны с дальнейшей автоматизацией, внедрением интеллектуальных алгоритмов, унификацией стандартов и нормативной базы. Актуальным направлением является разработка систем автоматической генерации сложных сцен и сценических композиций, расширяющих применение аксонометрии за пределы традиционного технического черчения в область мультимедийных презентаций, виртуальных моделей и образовательных платформ.

Другой важный аспект – создание систем для автоматической генерации сложных сцен и сценических композиций, что позволит использовать аксонометрию не только для технических чертежей, но и в мультимедийных презентациях, виртуальных моделях и CAD-кистях.

Аксонометрическая проекция занимает важнейшее место в современном инженерном деле и графическом моделировании. Ее основные преимущества – точность, универсальность, автоматизация – делают ее незаменимым инструментом для проектирования, моделирования и обучения.

В условиях цифровизации и развития технологий, таких как виртуальная реальность, искусственный интеллект и автоматизированное проектирование, методы аксонометрии продолжают совершенствоваться, позволяя создавать более точные, эффективные и наглядные графические модели. В будущем ожидается расширение спектра применения и повышение уровня автоматизации, что сделает аксонометрию еще более доступной и мощной технологией для инженеров, дизайнеров и ученых.

В целом, развитие методов аксонометрического проецирования в условиях цифровых технологий открывает широкие возможности для повышения производительности, качества и интерактивности инженерных решений. Интеграция новых технологий, автоматизация и стандартизация делают аксонометрию незаменимым инструментом для проектирования, моделирования, обучения и визуализации, способным удовлетворить растущие требования современной индустрии и науки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ботвинников А.Д., Виноградов В.Н., Иванов Г.С. Начертательная геометрия: учебник. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021. – 421 с.
2. Воронцов В.А., Иванов Г.С., Лачугин В.Н. Инженерная графика: учебник. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020. – 512 с.
3. ГОСТ 2.317-2011. Единая система конструкторской документации. Аксонометрические проекции. – М.: Стандартинформ, 2012. – 18 с.
4. Григорьев М.В., Гучек П.И. Справочное руководство по начертательной геометрии. – М.: Лань, 2019. – 384 с.
5. Жекин В.В. Компьютерная геометрия и графика: учебное пособие. – СПб.: Питер, 2022. – 368 с.
6. Иванов Г.С. Теоретические основы начертательной геометрии: учебник. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. – 278 с.
7. Компас-3D: Практическое руководство по трёхмерному проектированию / Под ред. А.В. Прокопьева. – М.: ДМК Пресс, 2023. – 456 с.
8. Матвейкин В.Г., Борисов В.М., Володин В.М. и др. Инженерная и компьютерная графика: учебник. – М.: Академия, 2021. – 352 с.
9. Саломатов В.В. Проекционное черчение: учебное пособие. – Красноярск: СибГУ, 2020. – 156 с.
10. Фролов В.А. Методы проецирования в начертательной геометрии и инженерной графике // Геометрия и графика. – 2022. – Т. 10, № 2. – С. 3-15.
11. Чекмарёв Н.В. Инженерная графика: учебник. – М.: КУДИЦ-ОБРАЗ, 2020. – 256 с.

Багрова Анна Владимировна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент института фармации, химии и биологии

E-mail: 1832518@bsuedu.ru

УДК 681.586.5:504.064.36

Научный руководитель:
Гончаров Дмитрий Викторович,
доцент кафедры информационных
и робототехнических систем,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)

Д.С. БАТАЕВ, И.И. ГОНЧАРОВА, Н.С. МАСЛЕННИКОВА
D.S. BATAEV, I.I. GONCHAROVA, N.S. MASLENNIKOVA

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФИНАНСОВЫХ ПРИВЫЧЕК:
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ
ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННЫХ РЕКОМЕНДАЦИЙ**
**INTELLIGENT ANALYSIS OF FINANCIAL HABITS: DEVELOPMENT
OF A PERSONALIZED RECOMMENDATION SYSTEM**

В статье рассматривается вопрос автоматизации персонального финансового учёта и выработки индивидуальных советов для конечного пользователя. Выполнено сравнение существующих продуктов («Дзен-мани», «ПланФакт», YNAB), которое показало, что в них отсутствует интеллектуальная поддержка при принятии решений. Предложена архитектура десктоп-приложения, построенная на платформе .NET Framework с задействованием C#, WPF и СУБД Microsoft SQL Server. Разработана реляционная модель данных, куда вошли сущности «Анализ», «Пользователь», «Продукт», а также дополнительные факторы (семейное положение, инвестиции, личный автомобиль). Реализован алгоритм расчёта финансовых метрик, базирующийся на правиле 50/30/20, с автоматическим формированием текстового заключения. Проведённое тестирование подтвердило корректную работу всех модулей и устойчивость программы к некорректному вводу. Систему предлагается использовать для повышения финансовой грамотности среди разных слоёв населения.

Ключевые слова: автоматизация, финансовое консультирование, информационная система, WPF, C#, SQL Server, правило 50/30/20, принятие решений.

The paper addresses the problem of automating personal finance tracking and generating individualized advice for the end user. A comparative analysis of existing solutions (Zen-Money, PlanFact, YNAB) is performed, revealing their lack of intelligent decision support. An architecture of a desktop application based on the .NET Framework using C#, WPF and Microsoft SQL Server is proposed. A relational data model is developed, including the entities "Analysis", "User", "Product" and taking into account additional factors (family status, investments, car ownership). An algorithm for calculating financial indicators based on the 50/30/20 rule with automatic generation of textual conclusions is implemented. Testing has confirmed the correct operation of all modules and the program's resilience to invalid input. The system is recommended for improving financial literacy among various population groups.

Keywords: automation, financial consulting, information system, WPF; C#, SQL Server, 50/30/20 rule, decision making.

В современных экономических условиях, характеризующихся устойчивым ростом инфляции и усложнением финансовых инструментов, индивидуальная оценка реального финансового положения затруднена. Традиционные подходы к ведению учёта, такие как использование табличных процессоров (Excel) или ручная фиксация операций, характеризуются высокой трудоёмкостью, повышенным риском ошибок и отсутствием оперативной аналитической поддержки. Те программы, что уже есть на рынке, либо перегружены корпоративными возможностями (пример – «ПланФакт»), либо лишь фиксируют движения средств, не предлагая их содержательной трактовки (как «Дзен-мани») [4, 9]. Задача данной работы – спроектировать и создать информационную систему, которая бы не просто собирала и упорядочивала финансовые данные, но и на основе встроенных алгоритмов формировала бы персональные подсказки для пользователя.

В основе исследования лежит системный анализ выбранной предметной области, сопоставление аналогов по таким критериям, как целевая аудитория, модель распространения, наличие аналитики и рекомендательных функций, функциональное моделирование средствами IDEF0, а также объектно-ориентированная разработка через UML. Для воплощения системы выбрана платформа .NET Framework 4.8 с языком C# и технологией WPF (XAML) – это позволяет разделить зоны ответственности благодаря паттерну MVVM. В роли СУБД взят Microsoft SQL Server из-за его высокой надёжности и удобной совместимости со средой Visual Studio [4, 6].

На сегодняшний день рынок приложений для личного финансового учёта можно разделить на три основных типа. «Дзен-мани» делает ставку на простую фиксацию операций с элементами геймификации, однако его аналитика ограничивается обычными графиками, и никаких рекомендаций там нет. «ПланФакт» изначально создавался для бизнеса, поэтому он очень мощный в планировании, но сложный для обычного человека и стоит дорого. Зарубежный YNAB (You Need A Budget) продвигает жёсткую концепцию «бюджетирования от остатка», что требует от пользователя постоянных ручных усилий. Общий минус всех этих аналогов – отсутствие механизма, который бы генерировал конкретные, подстраивающиеся под ситуацию советы на основе непрерывного наблюдения за финансовой картиной конкретного человека [5].

Чтобы формализовать требования, были построены диаграммы IDEF0 «AS-IS» (то, как процесс идёт сейчас) и «TO-BE» (как должно стать). Анализ текущего состояния показал «узкие места»: много ручного труда при вводе, разрозненное хранение данных, сильная зависимость выводов от субъективного мнения. В целевой модели эти проблемы решаются за счёт единой базы данных, автоматической обработки и специального модуля, который на основе обнаруженных слабых сторон и динамики за прошлые периоды формирует итоговый отчёт. Результат представлен на рисунке 1.

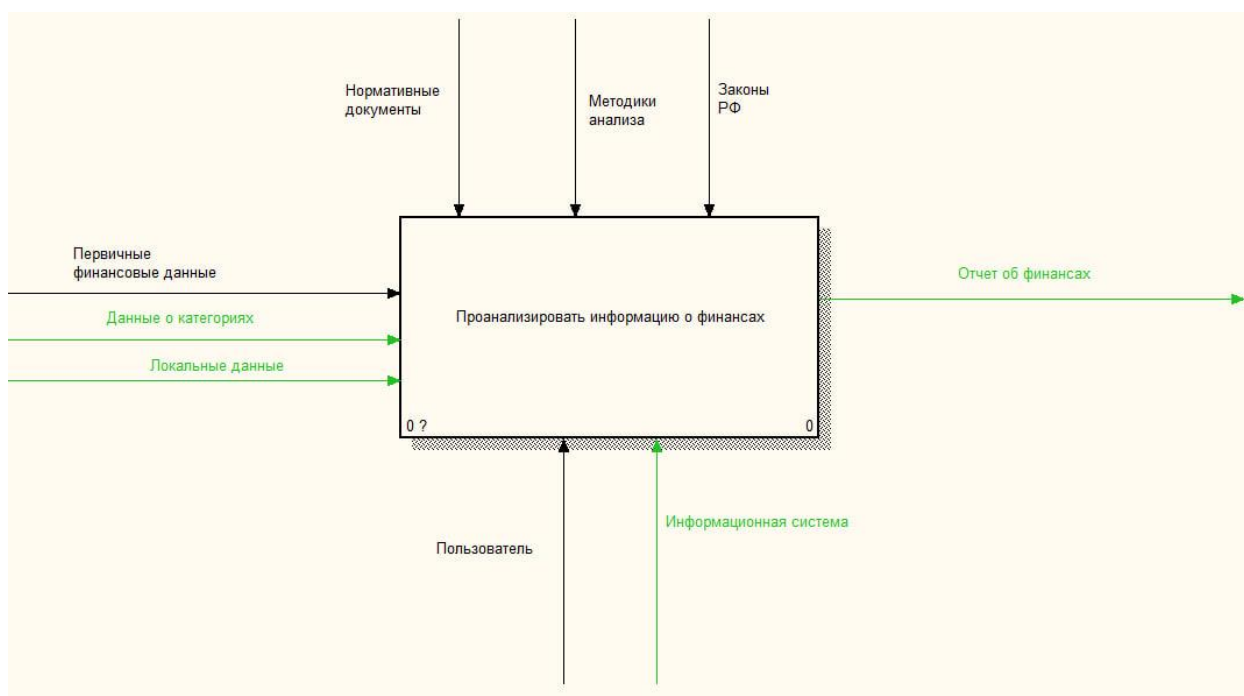


Рисунок 1 – Контекстная диаграмма IDEF0 «КАК БУДЕТ»

Логическая и физическая модели данных были спроектированы в SQL Server Management Studio. Ключевая сущность «Анализ» включает следующие атрибуты: основной и дополнительный доходы, траты по категориям (жильё, питание, одежда, подарки, досуг), а также вычисляемые поля (общая сумма доходов, общая сумма расходов, остаток, доля расходов, проценты по правилу 50/30/20). Дополнительные таблицы – «Семья»,

«Инвестиции», «Домашние питомцы» и «Транспорт» – учитывают особые обстоятельства пользователя. Через сущность «Рекомендации» осуществляется связь между анализом и товарами из таблицы «Продукт», где фиксируются обоснование и степень релевантности предложения.

Разработка выполнялась в среде Visual Studio 2022. Проект разбит на папки Models, Views, ViewModels в соответствии с паттерном MVVM. На рисунке 2 показано главное окно приложения – оно содержит меню для перехода к анализу, калькулятору целей, истории сеансов работы и «Магазину финансовых помощников».



Рисунок 2 – Главное окно информационной системы

Алгоритм анализа сначала вычисляет суммарный доход, общий расход и остаток, затем определяет, какой процент уходит на каждую категорию, и сравнивает полученные доли с эталонными 50/30/20. По итогам сравнения автоматически генерируется текстовое заключение. Калькулятор финансовых целей позволяет смоделировать вклад, кредит или рассрочку, а также учитывает необходимость формирования резервного фонда (в размере трёх ежемесячных расходов).

Тестирование включало в себя как модульные, так и интеграционные проверки. Были составлены сценарии: TC_ANALYSIS_001 (правильность расчёта остатка), TC_UI_NAV_002 (корректное появление дополнительных полей при установке флажков), TC_DB_INT_003 (сохранение информации в БД). Система показала устойчивость к ошибочному вводу: при попытке ввести буквы в числовое поле появляется сообщение об ошибке, а при нулевом доходе – предупреждение без аварийного завершения работы. Все исключения отлавливаются конструкциями try-catch.

Проведённый сравнительный анализ технологий и архитектурных подходов позволяет дать практические рекомендации. Для частного пользователя наиболее оптимальной будет конфигурация на основе WPF и локальной СУБД SQL Server – она даёт полный контроль над данными и позволяет работать без постоянного выхода в интернет. Паттерн MVVM показал себя как эффективный способ отделить интерфейс от бизнес-логики. А правило 50/30/20 вполне подходит в качестве первичной эвристики для оценки финансового здоровья.

В ходе работы создана информационная система для автоматизации финансового консультирования. Выяснено, что предложенная архитектура на базе .NET Framework, WPF и

SQL Server позволяет снизить трудоёмкость анализа, избавиться от субъективности при выводах и предоставить пользователю конкретные, персонализированные подсказки. Время одного цикла «ввод данных – получение отчёта» составляет не более трёх минут, что значительно быстрее ручного способа. В дальнейшем планируется интеграция с банковскими API для автоматической загрузки транзакций и внедрение методов машинного обучения для более точного прогнозирования расходов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волкова, В. Н. Информационные системы в экономике : учебник для вузов / В. Н. Волкова, В. Н. Юрьев, С. В. Широкова, А. В. Логинова ; под редакцией В. Н. Волковой, В. Н. Юрьева. – Москва : Издательство Юрайт, 2025. – 402 с.
2. Гниденко, И. Г. Технология разработки программного обеспечения : учебник для СПО / И. Г. Гниденко, Ф. Ф. Павлов, Д. Ю. Федоров. – 2-е изд. – Москва : Юрайт, 2025. – 248 с.
3. Заграновская, А. В. Теория систем и системный анализ в экономике : учебник для вузов / А. В. Заграновская, Ю. Н. Эйссер. – Москва : Юрайт, 2025. – 266 с.
4. Лукасевич, И. Я. Финансовый менеджмент : учебник и практикум для вузов / И. Я. Лукасевич. – 4-е изд. – Москва : Юрайт, 2025. – 680 с.
5. Нестеров, С. А. Базы данных : учебник и практикум для вузов / С. А. Нестеров. – 2-е изд. – Москва : Юрайт, 2025. – 258 с.
6. Нетесова, О. Ю. Информационные системы в экономике : учебник для СПО / О. Ю. Нетесова. – 5-е изд. – Москва : Юрайт, 2025. – 152 с.
7. Подбельский, В. В. Программирование. Базовый курс C# : учебник для вузов / В. В. Подбельский. – Москва : Юрайт, 2025. – 369 с.
8. Советов, Б. Я. Моделирование систем : учебник для вузов / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. – 7-е изд. – Москва : Юрайт, 2025. – 343 с.
9. Фрицлер, А. В. Основы финансовой грамотности : учебник для СПО / А. В. Фрицлер, Е. А. Тарханова. – 2-е изд. – Москва : Юрайт, 2025. – 148 с.
10. Халин, В. Г. Системы поддержки принятия решений : учебник и практикум для вузов / В. Г. Халин [и др.] ; под редакцией В. Г. Халина, Г. В. Черновой. – Москва : Юрайт, 2025. – 501 с.

Батаев Даниил Сергеевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)
Студент инжинирингового колледжа
E-mail: 1655742@bsu.edu.ru

Гончарова Ирина Ивановна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)
Аспирант кафедры информационных и робототехнических систем
E-mail: goncharova_i@bsuedu.ru

Масленникова Наталья Сергеевна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)
Студент кафедры информационных и робототехнических систем
E-mail: 1952667@bsuedu.ru

УДК 004.8

*Научный руководитель:
Пусная Ольга Петровна,
старший преподаватель кафедры
прикладной информатики и
информационных технологий,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

А.А. БАЦМАН
A.A. BATSMAN

КОНТЕКСТНО-ОРИЕНТИРОВАННАЯ ГЕНЕРАЦИЯ КОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ

CONTEXT-AWARE CODE GENERATION USING LARGE LANGUAGE MODELS

В данной статье авторы освещают проблему повышения эффективности разработки программного обеспечения за счёт использования больших языковых моделей. Рассматривается подход к контекстно-ориентированной генерации программного кода, основанный на передаче структурированного контекста, включающего метаданные конфигурации, структуру проекта и пользовательский запрос. Предложена модель взаимодействия разработчика, инструментальной среды и языковой модели, реализуемая с использованием протокола MCP.

Ключевые слова: генерация кода, языковые модели, LLM, контекст, автоматизация разработки, 1C, MCP, интеллектуальные системы.

In given article authors shine a problem of improving software development efficiency using large language models. A context-aware approach to code generation based on structured context transfer, including configuration metadata, project structure and user request, is considered. A model of interaction between developer, software environment and language model implemented via MCP protocol is proposed.

Keywords: code generation, large language models, LLM; context, software development automation, 1C, MCP, intelligent systems.

В условиях активного развития информационных технологий и роста сложности программных систем особую актуальность приобретает задача повышения эффективности разработки программного обеспечения. Современные корпоративные решения требуют значительных временных затрат, высокой квалификации разработчиков и постоянного контроля качества. В этой связи особый интерес представляет использование больших языковых моделей, способных генерировать программный код на основе текстового описания задачи [3].

Несмотря на значительный потенциал языковых моделей, их применение в задачах разработки программного обеспечения сопровождается рядом ограничений. Основной проблемой является недостаточная точность генерируемого кода при отсутствии контекстной информации. В традиционном подходе модель получает только текстовый запрос, что не позволяет учитывать особенности проекта, структуру программного решения и ограничения конкретной платформы. Это приводит к увеличению числа итераций доработки и снижению эффективности разработки [4].

Особенно актуальна данная проблема для платформы 1C, где программный код тесно связан с метаданными конфигурации и архитектурой прикладного решения. Генерация кода без учета этих особенностей часто приводит к несоответствию результата требованиям системы. В связи с этим возникает необходимость применения контекстно-ориентированного подхода, при котором генерация программного кода осуществляется с учетом дополнительной информации о проекте [1], [6].

Под контекстом в рамках рассматриваемого подхода понимается совокупность данных, включающая метаданные конфигурации, структуру программных модулей, историю изменений и пользовательский запрос. Использование контекста позволяет повысить точность

генерации и адаптировать результат к требованиям конкретного проекта. Контекст формируется автоматически на основе анализа конфигурации и передается в языковую модель вместе с запросом пользователя.

Процесс генерации кода включает несколько последовательных этапов. На первом этапе разработчик формирует запрос, описывающий требуемую функциональность. Далее инструментальная среда извлекает необходимый контекст и формирует структурированный запрос. Затем данный запрос передается в языковую модель, которая генерирует программный код или рекомендации. Полученный результат анализируется на корректность и соответствие требованиям, после чего выполняется его интеграция в систему либо уточнение запроса и повторная генерация [2].

Архитектура системы контекстно-ориентированной генерации кода представлена на рисунке 1.

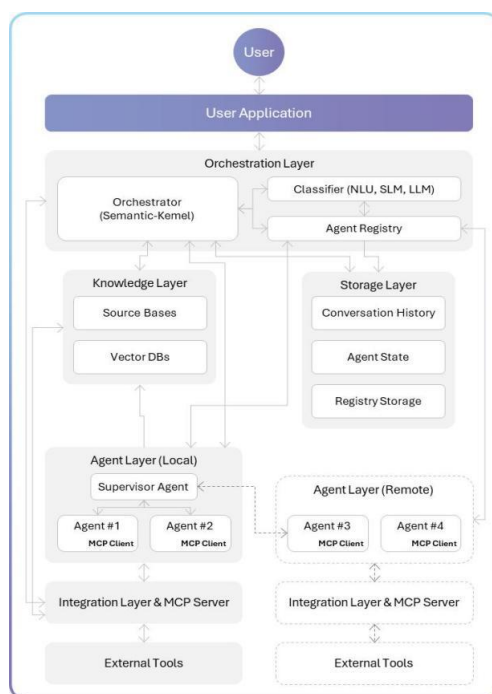


Рисунок 1 – Архитектура системы контекстно-ориентированной генерации кода

Особое значение в рамках предлагаемого подхода приобретает механизм обработки исключительных ситуаций, возникающих в процессе генерации программного кода. К таким ситуациям относятся ошибки генерации, несоответствие результата требованиям системы, недоступность внешних сервисов, а также недостаточность контекстной информации. Для обеспечения устойчивости функционирования системы реализуется механизм возврата на предыдущие этапы с целью уточнения запроса или дополнения контекста. Это позволяет организовать замкнутый итерационный цикл генерации, в котором результат последовательно уточняется до достижения требуемого качества. Наличие данного механизма повышает надежность системы и обеспечивает адаптацию процесса генерации к изменяющимся условиям и требованиям разработки.

В представленной архитектуре выделяются основные компоненты системы: разработчик, инструментальная среда на платформе 1С, промежуточный слой взаимодействия и языковая модель. Разработчик формирует запрос, который обрабатывается инструментальной средой. Среда извлекает контекст и формирует структурированный запрос, передаваемый через промежуточный слой взаимодействия в языковую модель. Полученный результат возвращается обратно в систему, где проходит проверку и интеграцию.

Использование промежуточного слоя взаимодействия позволяет обеспечить стандартизированную передачу данных между системой разработки и языковой моделью, а также учитывать ограничения, связанные с безопасностью и контролем передаваемой

информации [2]. Это особенно важно при работе с корпоративными системами, где необходимо исключить утечку конфиденциальных данных.

Применение контекстно-ориентированного подхода позволяет существенно повысить качество генерируемого программного кода. За счет учета структуры проекта и метаданных снижается вероятность синтаксических и логических ошибок, а также повышается соответствие кода требованиям платформы [5].

Методологической основой описания процесса разработки и его формализации являются нотации функционального моделирования, в частности IDEF0, позволяющие представить структуру процесса, его входы, выходы и управляющие воздействия [7, 8].

Несмотря на преимущества, предложенный подход имеет ряд ограничений. К ним относятся зависимость качества результата от полноты контекста, необходимость контроля корректности генерируемого кода и ограничения, связанные с производительностью и доступностью внешних сервисов.

Таким образом, контекстно-ориентированная генерация кода с использованием языковых моделей представляет собой перспективное направление развития инструментальных средств разработки программного обеспечения. Предложенный подход позволяет учитывать особенности предметной области, повысить качество генерируемого кода и сократить временные затраты на разработку.

Полученные результаты могут быть использованы при создании интеллектуальных систем поддержки разработчиков и дальнейшей интеграции технологий искусственного интеллекта в процессы разработки программного обеспечения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 1С для разработчиков [Электронный ресурс]: – URL: <https://developer.1c.ru/> (дата обращения: 11.04.2026).
2. 1С и AI: от хайпа к практике [Электронный ресурс]: – URL: <https://infostart.ru/1c/articles/2514331/> (дата обращения: 11.04.2026).
3. Вендров, А.М. Проектирование программного обеспечения экономических информационных систем. – М.: Финансы и статистика, 2012. – 544 с.
4. Майерс, Г. Надежность программного обеспечения. – М.: Мир, 2017. – 360 с.
5. Макаров В.А., Василенко Н.В. Оценка надежности программного обеспечения // Вестник НовГУ. – 2005. – №30.
6. Методическая поддержка для разработчиков 1С:ИТС [Электронный ресурс]: – URL: <https://its.1c.ru/db/metod8dev> (дата обращения: 11.04.2026).
7. Методология IDEF0 [Электронный ресурс]: – URL: https://sites.google.com/site/anisimovkhv/learning/pris/lecture/tema6/tema6_2 (дата обращения: 11.04.2026).
8. Нотация IDEF0 [Электронный ресурс]: – URL: <https://www.businessstudio.ru/wiki/docs/current/doku.php/ru/csdesign/bpmodelin> (дата обращения: 11.04.2026).

Бацман Алика Александровна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: belstroi2005@gmail.com

УДК 004.45:656.073

Научный руководитель:
Подпругина Ирина Вячеславовна,
старший преподаватель кафедры
прикладной информатики
и информационных технологий,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)

А.А. БЕЛОЗЕРОВА, А.И. ПОДПРУГИН
A.A. BELOZEROVA, I.V. PODPRUGINA

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ВЕДЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МАЛОГО БИЗНЕСА

DEVELOPMENT OF AN INFORMATION SYSTEM FOR CONDUCTING SMALL BUSINESS ACTIVITIES

В статье рассматривается вопрос автоматизации процессов ведения деятельности малого бизнеса на основе информационной системы с централизованным управлением данными. Проведён анализ существующих подходов к учёту продаж, товарных запасов и взаимодействию с клиентами, выявлены недостатки разрозненного хранения информации (электронные таблицы, бумажные носители, заметки). Разработана информационная система «СмартБизнес31», обеспечивающая целостность, доступность и оперативность учётных данных. Система реализована на платформе .NET с использованием технологий Windows Presentation Foundation для построения пользовательского интерфейса и ADO.NET для взаимодействия с базой данных Microsoft SQL Server. Приведены структурная схема системы, описание архитектуры, основные алгоритмы работы, включая процессы учёта продаж, управления складскими остатками и формирования отчётности. Выполнена оценка эффективности внедрения разработанной системы, подтверждающая сокращение временных затрат на рутинные операции и снижение количества ошибок учёта.

Ключевые слова: информационная система, малый бизнес, автоматизация, учёт продаж, управление товарными запасами, Windows Presentation Foundation, .NET, ADO.NET, SQL Server, «СмартБизнес31».

The article discusses the issue of automating the business activities of a small enterprise based on an information system with centralized data management. An analysis of existing approaches to sales accounting, inventory management, and customer interaction has been conducted, and the shortcomings of fragmented data storage (spreadsheets, paper media, notes) have been identified. An information system called "SmartBusiness31" has been developed, ensuring the integrity, accessibility, and efficiency of accounting data. The system is implemented on the .NET platform using Windows Presentation Foundation technologies for building the user interface and ADO.NET for interacting with the Microsoft SQL Server database. A structural diagram of the system, an architecture description, and the main algorithms of operation, including sales accounting processes, warehouse stock management, and reporting generation, are provided. The effectiveness of the developed system has been evaluated, confirming a reduction in time spent on routine operations and a decrease in the number of accounting errors.

Keywords: information system, small business, automation, sales accounting, inventory management, Windows Presentation Foundation, .NET, ADO.NET, SQL Server, SmartBusiness31.

В современных экономических условиях рынок малого бизнеса характеризуется высокой конкуренцией и необходимостью оперативной обработки большого объёма информации, связанной с оформлением продаж, отслеживанием товарных запасов, ведением отчётности и расчётов с контрагентами. Традиционные методы управления с использованием бумажного документооборота и разрозненных электронных таблиц не позволяют эффективно решать задачи координации между управляющим, поставщиками и бухгалтерией [1]. Существующие на рынке программные продукты либо ориентированы на крупные предприятия с высокой стоимостью внедрения, либо предоставляют ограниченный набор функций, не учитывающих специфику малого бизнеса [2]. В связи с этим актуальной является задача разработки доступной информационной системы для ведения деятельности малого бизнеса, адаптированной под потребности малых и средних предприятий.

Целью работы является разработка информационной системы «СмартБизнес31» для ведения деятельности малого бизнеса, обеспечивающей автоматизацию основных бизнес-

процессов (учёт продаж, управление товарными запасами, взаимодействие с клиентами и формирование отчётности) и централизацию хранения данных. При выполнении работы использованы методы системного анализа, объектно-ориентированного проектирования, теории баз данных. В качестве среды разработки выбрана Microsoft Visual Studio 2022. Пользовательский интерфейс реализован на платформе WPF с использованием языка разметки XAML. Для взаимодействия с базой данных использована технология ADO.NET. В качестве системы управления базами данных выбран Microsoft SQL Server [3, 4]. Разработанная информационная система имеет клиент-серверную архитектуру и включает следующие компоненты: клиентское приложение (WPF-приложение), сервер базы данных и шлюз для передачи данных [5, 6].

Система поддерживает три роли пользователей, каждой из которых соответствует определённый набор функций:

- управляющий – обработка заказов клиентов, управление товарными запасами и поставками, формирование отчётов по продажам и остаткам, ведение базы контрагентов;
- бухгалтер – формирование финансовых отчётов, контроль дебиторской задолженности, учёт движения денежных средств;
- поставщик – просмотр заявок на поставку, подтверждение наличия товара, предоставление информации об аналогах.

Диаграмма последовательности для процесса взаимодействия участников при формировании заказа на поставку товара представлена на рисунке 1.

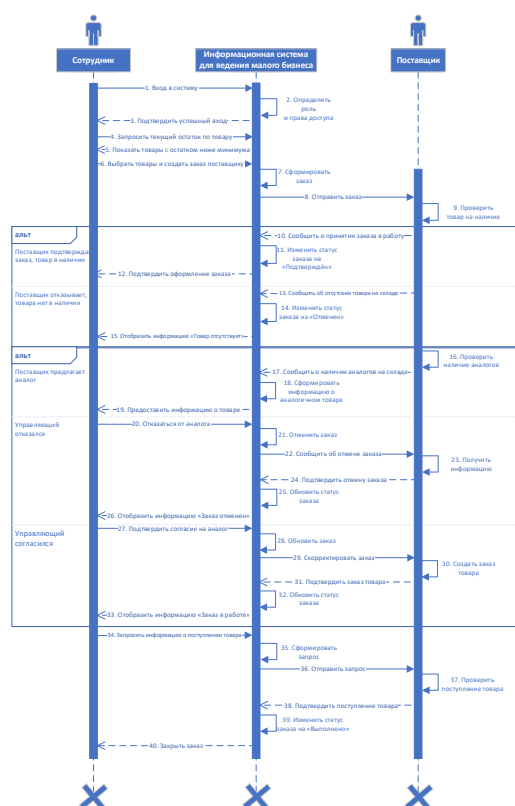


Рисунок 1 – Диаграмма последовательности

В ходе работы спроектирована реляционная база данных, содержащая следующие основные таблицы: Контрагент (хранит информацию о поставщиках и клиентах), Товары (номенклатура и цены), Товары_остатки (актуальные складские остатки), Заказ (заказы клиентам и поставщикам), Состав_заказа (детализация позиций заказа), Поставка (фактическое поступление товара), Финансовые_операции (движение денежных средств), Пользователь (учётные данные сотрудников), Роль (наборы прав доступа), Первичные_документы (загруженные документы), История_изменений (аудит действий), а

также справочные таблицы: Статус_заказа, Тип_заказа, Тип_документа, Тип_изменений, Способ_оплаты, Единица_измерения, Статус_приемки, Позиция_товара_в_заказе. Связи между таблицами организованы с использованием внешних ключей, обеспечена целостность данных на уровне базы данных [7, 8]. Схема базы данных приведена на рисунке 2.

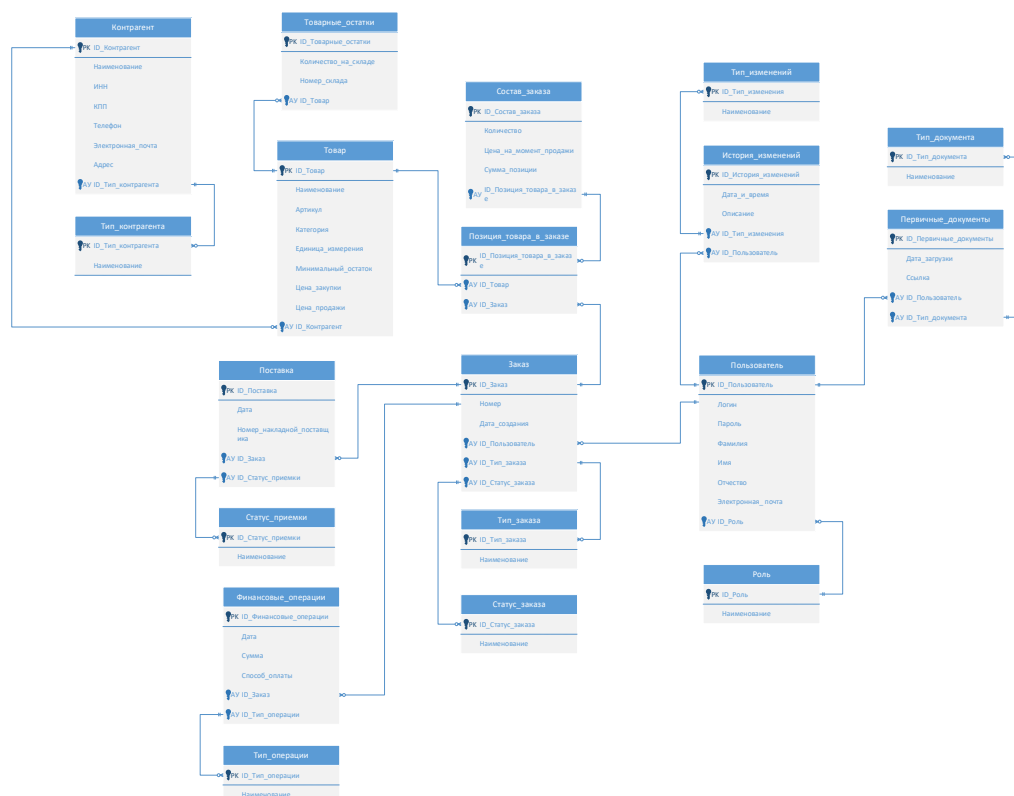


Рисунок 2 – Схема базы данных

Пользовательский интерфейс разработан с использованием WPF с разделением на вкладки в зависимости от роли пользователя (управляющий, бухгалтер, поставщик). Для работы с БД разработан статический класс DatabaseHelper с методами для авторизации, работы с заказами, управления остатками, получения справочников и формирования отчётов [9, 10]. Все SQL-запросы параметризованы. Данные сессии хранятся в объекте CurrentUser.

Алгоритм авторизации работает следующим образом: после ввода логина и пароля выполняется параметризованный запрос к таблице пользователей. Если аутентификация прошла успешно, заполняются данные текущего пользователя (ID, ФИО, роль) и открывается главное окно программы.

Диаграмма деятельности наглядно демонстрирует последовательность операций при выполнении заказа (рисунок 3):

- авторизация, определение роли и прав;
- запрос остатков – отображение товаров ниже минимума;
- создание и отправка заказа поставщику;
- при наличии товара – подтверждение заказа; при отсутствии – отмена;
- отслеживание исполнения – запрос информации о поступлении;
- завершение – изменение статуса на «Выполнено», закрытие заказа.

Функции системы: авторизация с разграничением прав; создание и отслеживание заказов; управление запасами (учёт поставок, контроль остатков); ведение справочников; формирование отчётов (продажи, остатки, движение средств); аудит действий; хранение первичных документов.

Меры защиты: параметризированные запросы; маскирование пароля; разграничение прав на уровне интерфейса; хеширование паролей; блоки using; журналирование действий.

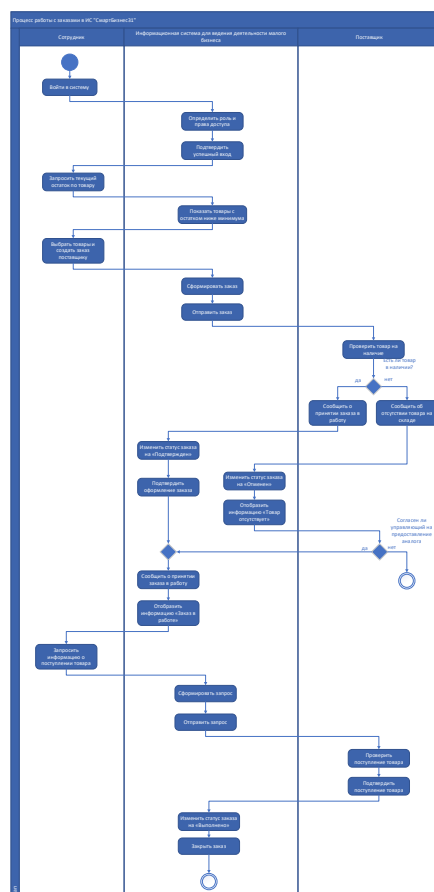


Рисунок 3 – Диаграмма деятельности

Разработанная информационная система «СмартБизнес31» прошла функциональное тестирование. Проверена корректность авторизации для пользователей с различными ролями (управляющий, бухгалтер, поставщик), выполнения операций создания и редактирования заказов (клиентских и поставщикам), формирования отчётов (продажи, остатки, движение средств). Система показала стабильную работу при одновременном подключении нескольких пользователей. В таблице 1 приведено сравнение разработанной системы с существующими аналогами.

Таблица 1 – Сравнительный анализ информационных систем для ведения деятельности малого бизнеса

Критерий	Разработанная система	Microsoft Excel / Google Таблицы	«МойСклад»	«ЕКАМ»
Стоимость внедрения	Низкая	Низкая	Средняя	Средняя
Поддержка малого бизнеса	+++	++	++	++
Разграничение ролей	+++	—	++	+
Автоматическое обновление остатков	+++	—	++	++
Встроенные финансовые отчёты	+++	+	++	—

В результате выполнения работы разработана информационная система «СмартБизнес31» для ведения деятельности малого бизнеса, включающая клиентское приложение (WPF) и базу данных (Microsoft SQL Server). Система поддерживает три роли пользователей (управляющий, бухгалтер, поставщик), обеспечивает полный цикл управления

заказами, учёта товарных остатков, формирования отчётности и ведения справочной информации. Применение параметризованных запросов, хеширования паролей и разграничения прав доступа гарантирует безопасность данных. Система готова к внедрению в деятельность малых предприятий. Дальнейшие исследования будут направлены на разработку веб-версии системы и мобильного приложения для управляющего.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Илюшечкин, В.М. Основы использования и проектирования баз данных: учебник для среднего профессионального Москва: Издательство Юрайт, 2022. – 213 с. – Текст: электронный
2. Казанский, А.А. Программирование на С#: учебное пособие для среднего профессионального образования. Москва : Издательство Юрайт, 2025. – 181 с. – Текст: электронный
3. Кудрина, Е.В. Основы алгоритмизации и программирования на языке С#: учебное пособие для среднего профессионального образования Москва: Издательство Юрайт, 2022. – 322 с. Текст: электронный

Белозерова Анастасия Андреевна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент инженерного колледжа

E-mail: 1655254@bsuedu.ru

Подпругин Александр Ильич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Ассистент кафедры прикладной информатики и информационных технологий

E-mail: podprugin@bsuedu.ru

УДК 004.414.2

*Научный руководитель:
Пусная Ольга Петровна,
старший преподаватель кафедры
прикладной информатики и
информационных технологий,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

К.В. БУЧНЕВ, Ю.А. СЕМЕНДЯЕВ
K.V. BUCHNEV, Y.A. SEMENDYAEV

МЕТОДЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ И СТРУКТУРИРОВАНИЯ ЗНАНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

METHODS FOR EXTRACTING AND STRUCTURING KNOWLEDGE IN THE DESIGN OF AN INTELLIGENT SYSTEM

В данной статье авторы освещают проблем к созданию интеллектуальной системы поддержки принятия решений для интернет-магазина цветов. Описан процесс извлечения знаний из предметной области, построение словаря терминов, выявление связей между понятиями и разработка концептуальной и функциональной моделей. Предложенная методика может быть реализована с использованием фреймворка Symfony и позволяет автоматизировать подбор букетов, расчет стоимости, управление остатками и логистику.

Ключевые слова: извлечение знаний, структурирование знаний, интеллектуальная информационная система, интернет-магазин цветов, онтология, пирамида знаний, Symfony.

In this article, the authors cover the challenges of creating an intelligent decision support system for an online flower store. They describe the process of extracting knowledge from the domain, building a dictionary of terms, identifying relationships between concepts, and developing a conceptual and functional model. The proposed methodology can be implemented using the Symfony framework and allows for the automation of bouquet selection, cost calculation, inventory management, and logistics.

Keywords: knowledge extraction, knowledge structuring, intelligent information system, online flower store, ontology, knowledge pyramid, Symfony.

Современные интеллектуальные информационные системы (ИИС) все активнее внедряются в сферу электронной коммерции, особенно в сегменте товаров с выраженной экспертной составляющей. Продажа цветов и составление букетов требует учета множества факторов: повода, сезонности, сочетаемости растений, бюджета клиента, свежести товара и логистических ограничений. Ключевой задачей на этапе проектирования такой ИИС становится корректное извлечение и структурирование знаний предметной области. В данной работе описан этот процесс применительно к разработке интернет-магазина цветов с потенциальной реализацией на PHP-фреймворке Symfony.

Первый этап извлечения знаний заключался в формализации потоков информации. Входные данные были разделены на пять логических групп:

- запрос клиента (повод, тип букета, предпочтения по цветам, бюджет, дата доставки);
- каталог цветов (наименования, сорта, цвета, страна происхождения, сезонность);
- параметры подбора (вид цветка, высота стебля, свежесть, цена, наличие);
- данные о клиенте (контакты, адрес, история заказов, памятные даты);
- информация о поставщиках и расходных материалах (цены, минимальный заказ, упаковка, флористическая губка).

Выходные данные включают как материальные артефакты (сформированный букет, фотография, карточка заказа), так и информационные (коммерческое предложение, отчет об остатках, маршрутный лист курьера, напоминание клиенту). Такой подход позволяет четко определить границы системы и требования к ее функциональности.

Для однозначной интерпретации знаний был разработан терминологический словарь, насчитывающий 66 понятий. Он охватывает:

- товарную номенклатуру (характеристики цветов, упаковка, дополнительные товары);
- бизнес-процессы (подбор, резервирование, доставка, расчет стоимости);
- роли пользователей (клиент, флорист, курьер, администратор);
- документооборот (накладная, счет-фактура, спецификация, акт приемки);
- типовые проблемы (ошибка в подборе, недостаток на складе, устаревшие данные).

Важно, что термины определены не изолированно, а с учетом их семантической нагрузки в системе. Например, «упаковка товара» трактуется одновременно как декоративный элемент и как транспортная тара, что влияет на алгоритмы подбора и расчета.

На основе словаря была построена семантическая сеть, представленная на рисунке 1. Анализ позволил выделить метапонятия – наиболее общие категории, связывающие остальные сущности:

- товар (объединяет цветы, упаковку, дополнительные товары);
- заказ (связывает клиента, состав корзины, сроки, стоимость);
- пользователь (включает роли и их права);
- документ (покрывает все формы выходных отчетов и коммерческих предложений);
- склад (интегрирует остатки, поставки, списание).

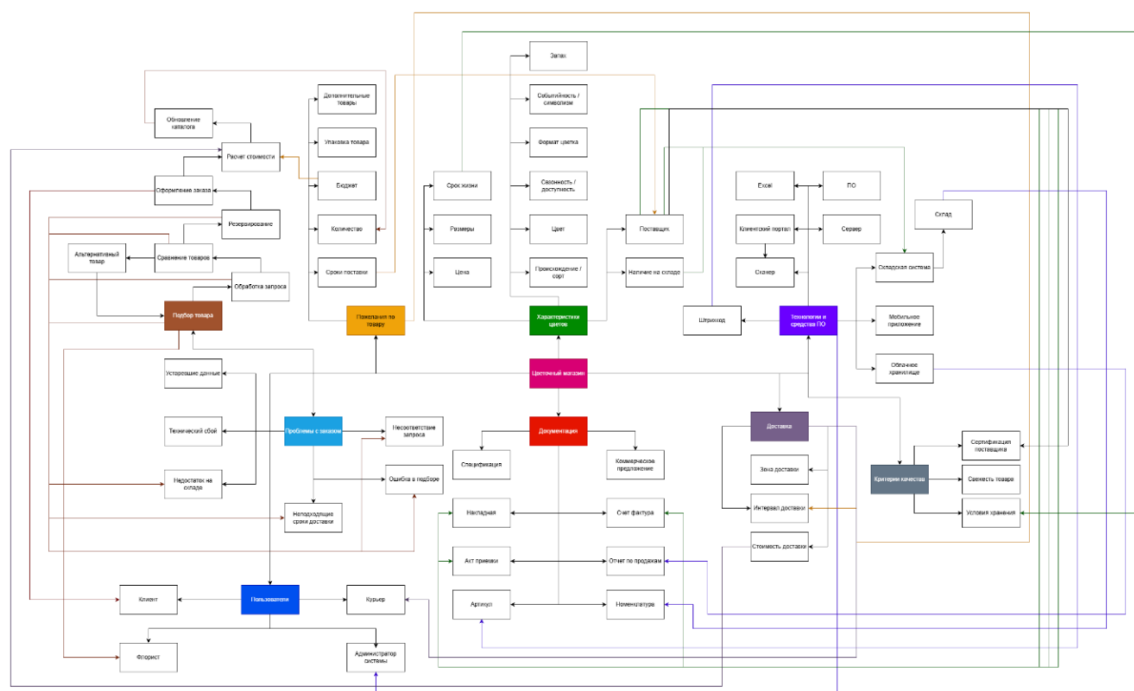


Рисунок 1 – Семантическая сеть

Выявление метапонятий позволило перейти от плоского списка сущностей к иерархической модели, что критически важно для проектирования базы данных в реляционной СУБД (например, PostgreSQL или MySQL), с которой работает Symfony через Doctrine ORM.

Концептуальная модель, показанная на рисунке 2, представлена в виде диаграммы сущность-связь, где основные классы сущностей: «Клиент», «Заказ», «Букет», «Цветок», «Упаковка», «Поставщик», «Курьер». Важной особенностью является наличие ассоциативных сущностей («Состав букета», «Остатки на складе»), что позволяет корректно отразить связь многие-ко-многим. Также в модель включены атрибуты для поддержки интеллектуальных функций: поле «приоритет альтернативы» для цветов-заменителей и «коэффициент свежести» для динамического ценообразования.

Такая модель напрямую транслируется в сущности Doctrine, что ускоряет разработку на Symfony.

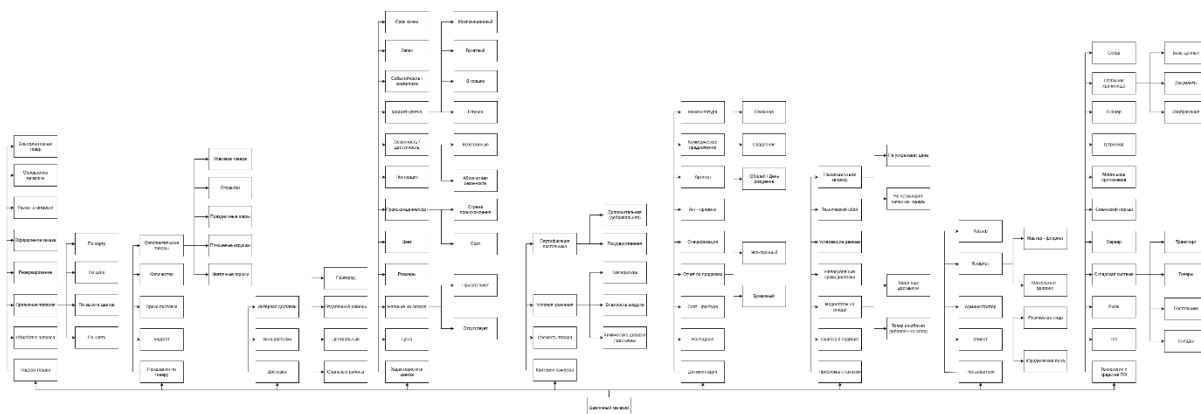


Рисунок 2 – Концептуальная модель

Описанный процесс извлечения и структурирования знаний является достаточным для этапа проектирования ИИС в сфере электронной коммерции. Полученная модель готова к реализации на Symfony и поддерживает интеллектуальные функции подбора, замены и динамического ценообразования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. – СПб.: Питер, 2019.
2. Symfony Documentation. – URL: <https://symfony.com/doc> (дата обращения: 07.04.2026).
3. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход. – М.: Вильямс, 2021.

Бучнев Кирилл Владимирович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры прикладной информатики и информационных технологий

E-mail: buchnev.kir@mail.ru

Семендяев Юрий Александрович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры прикладной информатики и информационных технологий

E-mail: varmoger2002@gmail.com

УДК 681.586.5:504.064.36

*Научный руководитель:
Гончаров Дмитрий Викторович,
доцент кафедры информационных
и робототехнических систем,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

Е.В. ВИТОХИНА, И.И. ГОНЧАРОВА
E.V. VITOKHINA, I.I. GONCHAROVA

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПОИСКА НОВЫХ ЗНАКОМСТВ DEVELOPMENT OF AN INFORMATION SYSTEM FOR FINDING NEW ACQUAINTANCES

Рассмотрены вопросы проектирования и реализации информационной системы, направленной на автоматизацию процессов установления межличностных связей и поиска партнеров по интересам. Проведён анализ предметной области и существующих мобильных и веб-решений для знакомств. Описан процесс моделирования бизнес-процессов системы с использованием методологии IDEF0: разработаны модели «AS-IS» и «TO-BE», а также выполнено объектно-ориентированное проектирование на языке UML. Представлены результаты разработки архитектуры базы данных в СУБД MS SQL Server и графического интерфейса в среде Visual Studio с использованием технологии WPF.

Ключевые слова: информационная система; знакомства; диаграмма IDEF0; диаграмма UML; проектирование интерфейса; социальное взаимодействие; база данных; технология WPF.

The issues of designing and implementing an information system aimed at automating the processes of establishing interpersonal connections and searching for partners based on interests are considered. An analysis of the subject area and existing mobile and web solutions for dating was conducted. The process of modeling the system's business processes using the IDEF0 methodology (AS-IS and TO-BE models) is described, and object-oriented design using the UML language is performed. The results of the database architecture development in MS SQL Server and the graphical interface development in the Visual Studio environment using WPF technology are presented.

Keywords: information system; dating; IDEF0 diagram; UML diagram; interface design; social interaction; database; WPF technology.

В современном мире информационные технологии стали неотъемлемой частью социальной сферы, существенно трансформируя способы общения и знакомства людей. Традиционные методы поиска партнеров и друзей вытесняются цифровыми платформами, которые позволяют обрабатывать значительные объемы данных о пользователях для подбора наиболее подходящих кандидатов. Однако существующие решения часто перенасыщены рекламой или ориентированы исключительно на визуальный контент, что снижает качество социального взаимодействия [3]. Использование специализированных информационных систем с алгоритмами автоматизированного подбора может значительно оптимизировать процесс установления новых связей, сокращая время от создания профиля до реального общения [2]. Целью работы является разработка и обоснование выбора информационной системы, предназначенной для модернизации и повышения эффективности процесса поиска новых знакомств.

Методологическую базу исследования составил системный подход к проектированию программного обеспечения [1]. На этапе предпроектного анализа был выполнен обзор существующих решений (Tinder, Badoo, Pure), выявивший потребность в более глубокой фильтрации по интересам и психологической совместимости. В качестве инструментов моделирования бизнес-процессов использованы методология IDEF0 и язык UML, позволяющий визуализировать сценарии использования и динамику взаимодействия объектов. Программная реализация выполнена на языке C# с применением платформы .NET и технологии Windows Presentation Foundation (WPF), обеспечивающей создание адаптивного и интуитивно понятного интерфейса. Для хранения данных выбрана реляционная СУБД Microsoft SQL Server.

На начальном этапе проектирования была разработана функциональная модель «AS-IS» («КАК ЕСТЬ»), которая позволила формализовать существующий хаотичный процесс поиска знакомств. Контекстная диаграмма этой модели, представленная на рисунке 1 определяет границы исследуемой области. В качестве основного входного потока выступают персональные данные пользователя и его личные предпочтения, которые зачастую не структурированы [4]. Управление процессом осуществляется на основе настроек конфиденциальности и общепринятых правил сетевого этикета. Механизмами реализации являются сам пользователь, администратор площадки и сторонние мессенджеры, используемые для связи. Основным выходом считается результат поиска партнера, который в данной модели имеет низкую степень предсказуемости.



Рисунок 1 – Контекстная диаграмма модели «AS-IS»

Для более глубокого понимания проблем была проведена декомпозиция модели «AS-IS», показанная на рисунке 2. Процесс разделен на шесть функциональных блоков:

1. Аутентификация (A1): начальный этап входа в систему.
2. Самостоятельный подбор профилей (A2): трудозатратный процесс ручного просмотра анкет.
3. Анализ информации (A3): субъективная оценка личностных качеств других людей на основе разрозненных данных.
4. Формирование списка подходящих профилей (A4): создание списка потенциальных кандидатов.
5. Выбор кандидата (A5): принятие решения о начале диалога.
6. Процесс виртуального общения (A6): непосредственное взаимодействие.

Анализ данной иерархии выявил неудобство в блоках A2 и A3: пользователь вынужден тратить значительное время на фильтрацию нерелевантных анкет, что часто приводит к коммуникативному выгоранию.

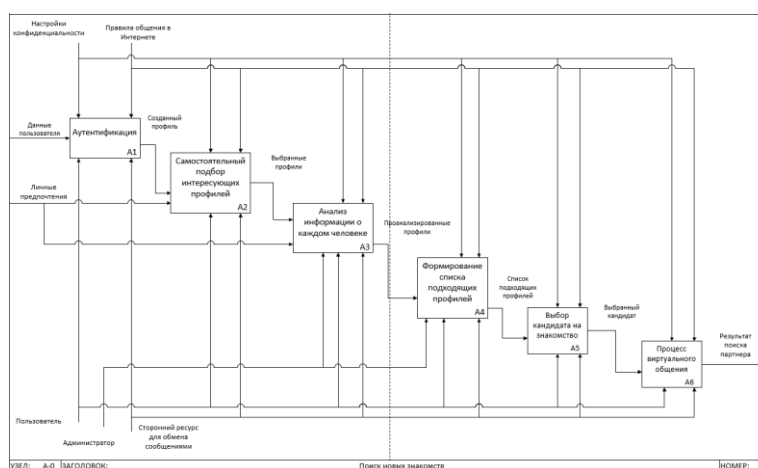


Рисунок 2 – Диаграмма декомпозиции модели «AS-IS»

На основе контекстной диаграммы построена диаграмма декомпозиции, детально описывающая этапы регистрации, ручного поиска и ожидания ответа. Анализ модели выявил значительные временные затраты пользователей на самостоятельный отбор профилей и высокий риск несоответствия кандидатов ожиданиям. Для устранения этих недостатков была построена модель «КАК БУДЕТ» («ТО-ВЕ»), в которой ключевым элементом выступает информационная система с автоматизированным подбором. Контекстная диаграмма модели «ТО-ВЕ» показана на рисунке 3.

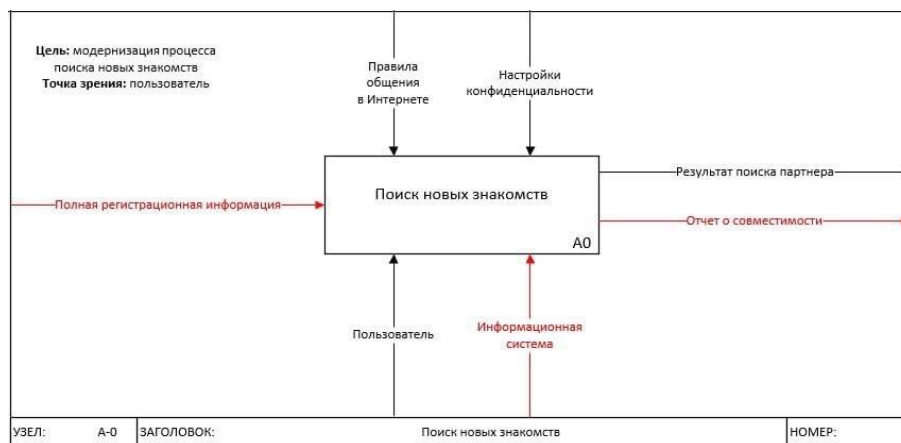


Рисунок 3 – Контекстная диаграмма «ТО-ВЕ» поиска новых знакомств

Диаграмма декомпозиции модели «ТО-ВЕ» отражает внутреннюю логику функционирования усовершенствованной системы и показывает, каким образом автоматизация распределяет задачи между пользователем и программной средой. После регистрации и заполнения анкеты пользователь указывает предпочтения, необходимые для поиска совместимых профилей. Далее система выполняет обработку введенных данных, соотносит их с уже имеющейся информацией в базе и запускает механизм подбора. На основе многофакторного анализа формируется список рекомендуемых пользователей, после чего инициируется этап выбора кандидата и запрос на встречу. В отличие от исходной модели, здесь система берет на себя функции предварительной фильтрации, структурирования и аналитической обработки данных. Это снижает когнитивную нагрузку на пользователя и позволяет сосредоточиться не на механическом просмотре анкет, а на осмысленном выборе из ограниченного числа релевантных вариантов [5]. Диаграмма декомпозиции «ТО-ВЕ», представленная на рисунке 4, демонстрирует, что внедрение информационной системы приводит к оптимизации бизнес-процесса, сокращению числа промежуточных действий и повышению эффективности всей процедуры поиска знакомств.

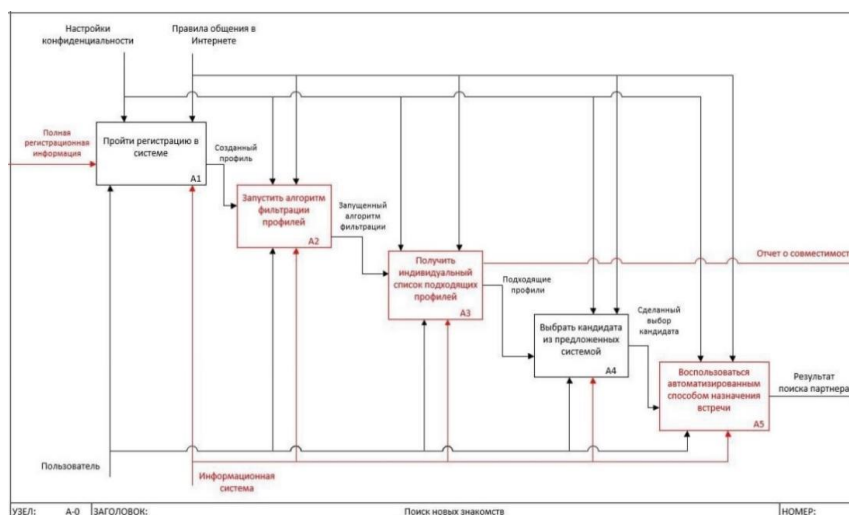


Рисунок 4 – Диаграмма декомпозиции «ТО-ВЕ» поиска новых знакомств

В модели «ТО-ВЕ» автоматизированы процессы расчета совместимости на основе многофакторного анализа (хобби, цели общения, хролотипы). Это позволяет исключить период неопределенности и перейти к организации встреч на основе обоснованного выбора. После проектирования функциональных моделей подтвердилось, что внедрение системы минимизирует рутинные операции по фильтрации данных.

Объектно-ориентированный анализ системы реализован с помощью UML-диаграмм. Диаграмма вариантов использования (Use Case) выделяет отношения ключевых акторов: пользователя и администратора. Пользователь осуществляет регистрацию, настройку фильтров и поиск, а администратор управляет обработкой жалоб. Спроектированная диаграмма вариантов использования показана на рисунке 5.

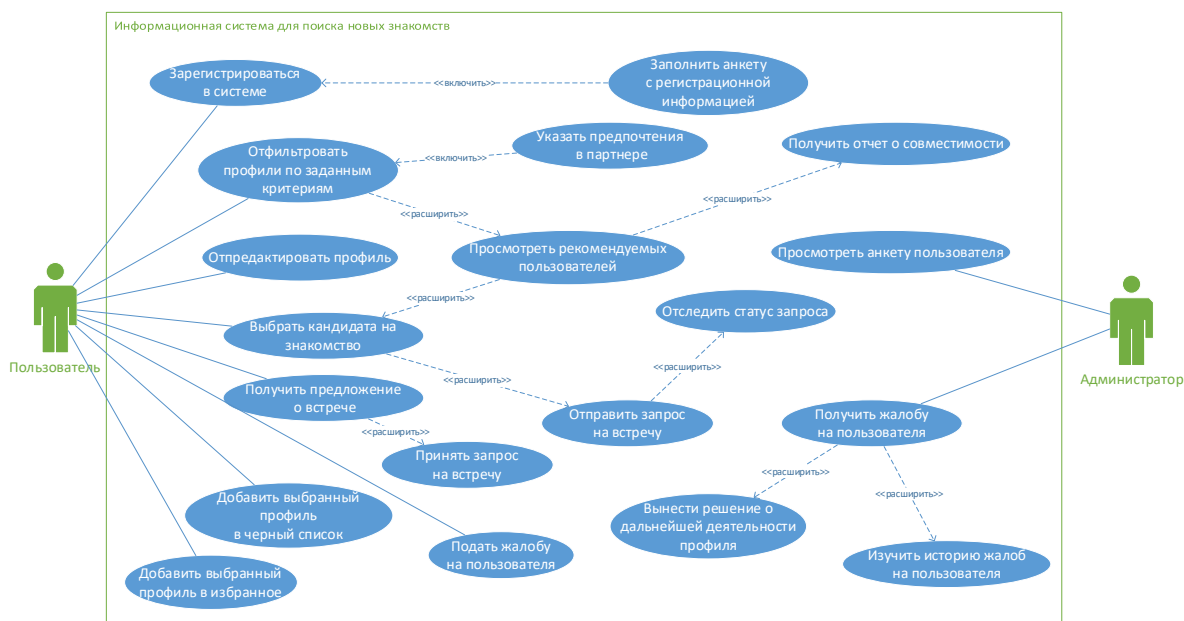


Рисунок 5 – Диаграмма вариантов использования

Значимым этапом UML-моделирования стала диаграмма последовательности, описывающая процесс рассмотрения жалобы на пользователя. В данной диаграмме, представленной на рисунке 6, последовательно показано взаимодействие трех основных участников процесса: пользователя, администратора и информационной системы. Сначала пользователь выбирает профиль, на который хочет пожаловаться, активирует соответствующую функцию и получает форму для заполнения жалобы. После указания причины обращения данные передаются в систему, где осуществляется проверка корректности заполнения и регистрация обращения. Далее запрос поступает администратору, который принимает его в обработку, открывает профиль рассматриваемого пользователя, получает сведения из системы и анализирует как сам профиль, так и историю предыдущих жалоб. На основе этого анализа принимается решение: если профиль признается подозрительным, система ограничивает доступ пользователя и фиксирует блокировку аккаунта; если основания недостаточны, жалоба отклоняется, а в системе сохраняется информация о результатах проверки. Завершающим этапом становится уведомление пользователя, инициировавшего жалобу, о результатах её рассмотрения.

Диаграмма последовательности визуализирует процесс обработки жалобы на пользователя, демонстрируя взаимодействие между интерфейсом, программной логикой и базой данных. Она наглядно подтверждает корректность алгоритмов проверки и блокировки нарушителей. Моделирование в UML позволило четко разграничить права доступа и логику работы системы [6].

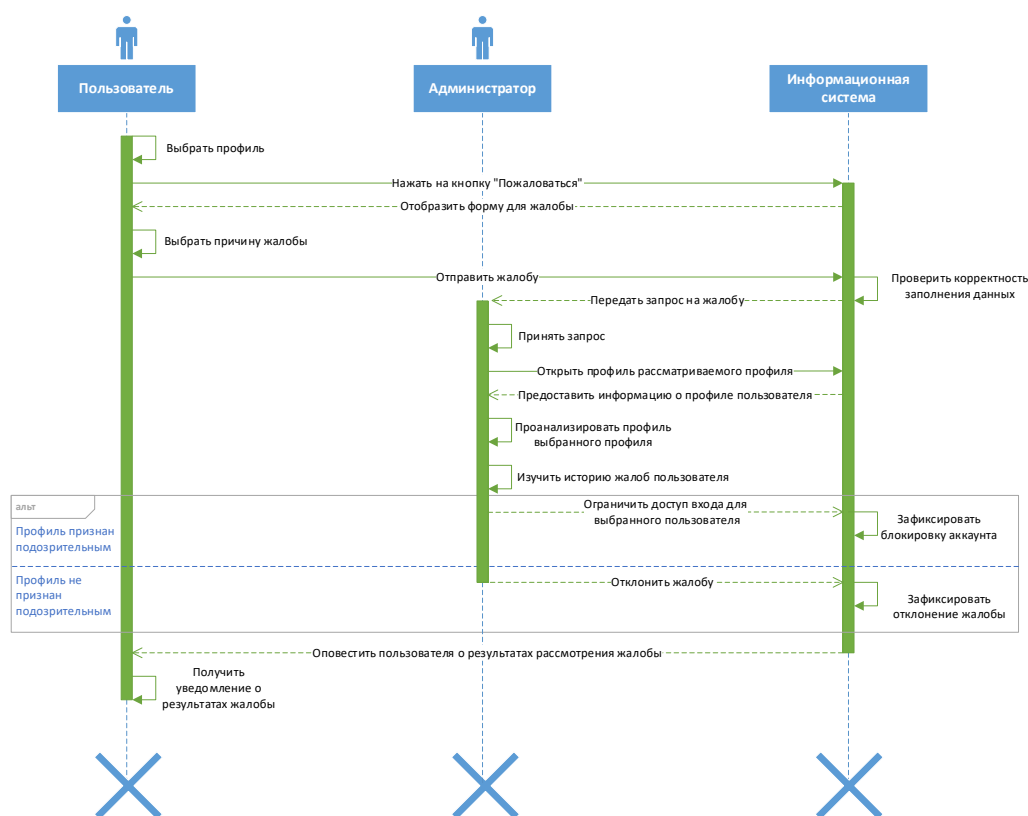


Рисунок 6 – Диаграмма последовательности

Хранение данных организовано в реляционной БД, включающей 19 нормализованных таблиц, таких как «Профиль», «Цель_общения», «Хобби», «Тип_личности» и другие. Связи «один-ко-многим» обеспечивают целостность информации и исключают дублирование персональных характеристик. Реализация интерфейса в среде Microsoft Visual Studio с использованием WPF позволила разделить логику приложения и визуальное представление [8]. Окно авторизации обеспечивает безопасность доступа, проверяя учетные данные в базе SQL Server. Окно авторизации показано на рисунке 7.

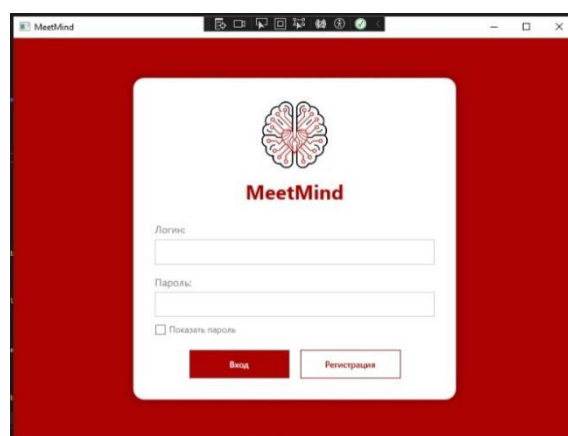


Рисунок 7 – Окно авторизации

Окно регистрации в системе MeetMind представляет собой анкету нового пользователя, оформленную в едином стиле с основным интерфейсом приложения. В верхней части размещены логотип системы и заголовок, ниже – поясняющая надпись, обозначающая назначение формы.

Основная область окна содержит блок «Личная информация», в котором поля ввода организованы в две колонки для удобства заполнения. Пользователь последовательно

указывает имя, фамилию, отчество, логин, пароль, номер телефона, адрес электронной почты, дату рождения, город проживания, образование, профессию, знак зодиака, наличие животных, зарплату, имущественное положение и др., что показано на рисунке 8. Для некоторых параметров используются выпадающие списки и поле выбора даты, что упрощает ввод и снижает вероятность ошибок. Наличие вертикальной полосы прокрутки позволяет разместить большое количество анкетных данных в компактном окне без перегрузки интерфейса.

Рисунок 8 – Окно регистрации

Таблица DataGrid с привязкой Binding к коллекциям объектов через Entity Framework обеспечивает динамическое обновление данных при добавлении нового пользователя в таблицу.

Окно профиля пользователя предназначено для просмотра уже заполненной анкеты и отображает основные сведения в наглядном виде, как показано на рисунке 9. В левой части расположена область фотографии, ниже – имя пользователя и краткое описание системы, а также кнопки перехода к поиску пары и возврата назад. Центральная часть окна содержит раздел «Мой профиль», где данные сгруппированы по смысловым блокам: личные данные, предпочтения и визуальные характеристики. Здесь отображаются пол, дата рождения, город, хронотип, тип личности, цель общения, знак зодиака, профессия, интересы и хобби, рост, цвет глаз и телосложение. Такой формат представления делает профиль удобным для быстрого ознакомления и оценки совместимости между пользователями. Отдельная кнопка «Просмотр всех профилей» обеспечивает переход к общей базе анкет, что расширяет функциональные возможности системы.

Рисунок 9 – Интерфейс профиля пользователя

Таким образом, расширенное описание диаграмм и интерфейсных решений показывает, что разработка информационной системы для поиска новых знакомств носит комплексный характер и охватывает все ключевые этапы жизненного цикла программного продукта: от анализа предметной области и моделирования бизнес-процессов до проектирования базы данных и реализации пользовательского интерфейса [7].

Построенные IDEF0- и UML-диаграммы не только формализуют логику работы системы, но и обосновывают необходимость перехода от существующего ручного подхода к автоматизированной модели подбора. Реализованные интерфейсные решения, в свою очередь, подтверждают практическую применимость разработанного проекта и его ориентацию на повышение качества и эффективности социального взаимодействия в цифровой среде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Астапчук, В. А. Корпоративные информационные системы: требования при проектировании : учебное пособие для вузов / В. А. Астапчук, П. В. Терещенко. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2023. – 113 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-08546-4. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/514213>.
2. Богатырев, В. А. Информационные системы и технологии. Теория надежности : учебное пособие для вузов / В. А. Богатырев. – 2-е изд. – Москва : Издательство Юрайт, 2024. – 366 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-15951-6. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/510320>.
3. Болотова, А. К. Социальные коммуникации. Психология общения : учебник и практикум для среднего профессионального образования / А. К. Болотова, Ю. М. Жуков, Л. А. Петровская. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2025. – 272 с. – (Профессиональное образование). – ISBN 978-5-534-09111-3. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/561955>.
4. Волкова, В. Н. Моделирование систем и процессов. Практический курс : учебное пособие для среднего профессионального образования / В. Н. Волкова [и др.] ; ответственный редактор В. Н. Волкова. – Москва : Издательство Юрайт, 2024. – 295 с. – (Профессиональное образование). – ISBN 978-5-534-18762-5. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/545509>.
5. Гавра, Д. П. Основы теории коммуникации : учебник для вузов / Д. П. Гавра. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2025. – 231 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-06317-2. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/560775>.
6. Гаврилов, М. В. Информатика и информационные технологии : учебник для среднего профессионального образования / М. В. Гаврилов, В. А. Климов. – 6-е изд., перераб. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2025. – 319 с. – (Профессиональное образование). – ISBN 978-5-534-20333-2. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/560669>.
7. Гниденко, И. Г. Технология разработки программного обеспечения : учебник для среднего профессионального образования / И. Г. Гниденко, Ф. Ф. Павлов, Д. Ю. Федоров. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2025. – 248 с. – (Профессиональное образование). – ISBN 978-5-534-18131-9. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/563151>.
8. Грекул, В. И. Проектирование информационных систем : учебник и практикум для вызов / В. И. Грекул, Н. Л. Коровкина, Г. А. Левочкина. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2024. – 423 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-17841-8. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <http://urait.ru/bcode/536901>.

Витохина Екатерина Владиславовна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент инжинирингово колледжа

E-mail: 1655438@bsuedu.ru

Гончарова Ирина Ивановна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Аспирант кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: goncharova_i@bsuedu.ru

УДК 681.586.5:504.064.36

*Научный руководитель:
Гончаров Дмитрий Викторович,
доцент кафедры информационных
и робототехнических систем,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

П.О. ГАЛЧЕНКО, И.И. ГОНЧАРОВА
P.O. GALCHENKO, I.I. GONCHAROVA

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ТАКСОПАРКА

DEVELOPMENT OF AN INFORMATION SYSTEM FOR A TAXI PARK

Рассмотрены вопросы проектирования и реализации информационной системы, направленной на автоматизацию процессов технической эксплуатации автомобилей в таксопарке. Проведён анализ выбранной предметной области и других существующих информационных решений. Описан процесс моделирования бизнес-процессов таксопарка с использованием методологии IDEF0: модели «AS-IS» и «TO-BE», и объектно-ориентированного проектирования на языке UML. Представлены результаты разработки графического интерфейса в среде Visual Studio с использованием технологии WPF.

Ключевые слова: информационная система, диаграмма IDEF0, диаграмма UML, проектирование интерфейса, бизнес-процесс, таксопарк, техническое обслуживание автомобилей, автоматизация, технология WPF.

The issues of designing and implementing an information system aimed at automating the processes of technical operation of vehicles in a taxi fleet are considered. An analysis of the selected subject area and other existing information solutions was conducted. The process of modeling the business processes of a taxi fleet using the IDEF0 methodology (AS-IS and TO-BE models) and object-oriented design using the UML language is described. The results of the graphical interface development in the Visual Studio environment using WPF technology are presented.

Keywords: information system, IDEF0 diagram, UML diagram, interface design, business process, taxi fleet, vehicle maintenance, automation, WPF technology.

В современном мире рынок пассажирских перевозок характеризуется высокой конкуренцией и повышенными требованиями к безопасности клиентов транспортных услуг [3]. Эффективное управление таксопарком нельзя представить без постоянного контроля технического состояния транспортных средств, учета запчастей и координации работы персонала предприятия. Использование устаревших программных средств или бумажная бухгалтерия приводят к различным ошибкам и снижению качества уровня обслуживания. Поэтому современные информационные решения могут позволить правильно и эффективно распределить ресурсы и улучшить качество обслуживания клиентов, которые решили воспользоваться услугами такси. Целью работы является разработка и обоснование выбора специализированной информационной системы, которая оптимизирует процессы технической эксплуатации автомобилей таксопарка.

Методологическую базу исследования составил системный подход к проектированию программного обеспечения. Выбор средств и технологий для реализации информационной системы представляет собой очень важный этап в процессе разработки, так как от этого решения будет зависеть дальнейший успех и качество создаваемого продукта [2]. В качестве инструментов проектирования бизнес-процессов были выбраны методологии функционального моделирования семейства IDEF и язык моделирования UML, предназначенный для демонстрации структуры системы на различных уровнях. Программа реализована на языке C# с использованием платформы .NET и технологии Windows Presentation Foundation (WPF), которая обеспечивает разделение логики и интерфейса.

На начальном этапе была спроектирована модель «КАК ЕСТЬ» («AS-IS»), которая отображает текущее состояние процесса технической эксплуатации автомобиля. На рисунке 1 показана контекстная диаграмма модели «AS-IS» оптимизации технической эксплуатации автомобилей.

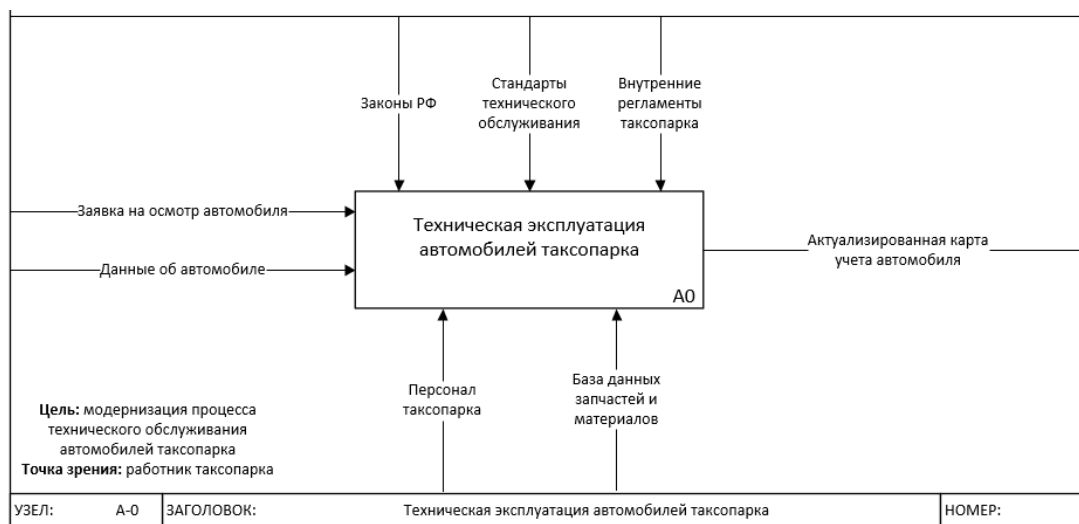


Рисунок 1 – Контекстная диаграмма модели «AS-IS»

Эта диаграмма отражает описание процессов технической эксплуатации на начальном этапе, до внедрения специализированной информационной системы. На основе контекстной диаграммы строится диаграмма декомпозиции, которая намного детальнее отображает этапы оптимизации технической эксплуатации автомобиля [6]. На рисунке 2 ниже показана диаграмма декомпозиции модели «AS-IS» оптимизации технической эксплуатации автомобилей.

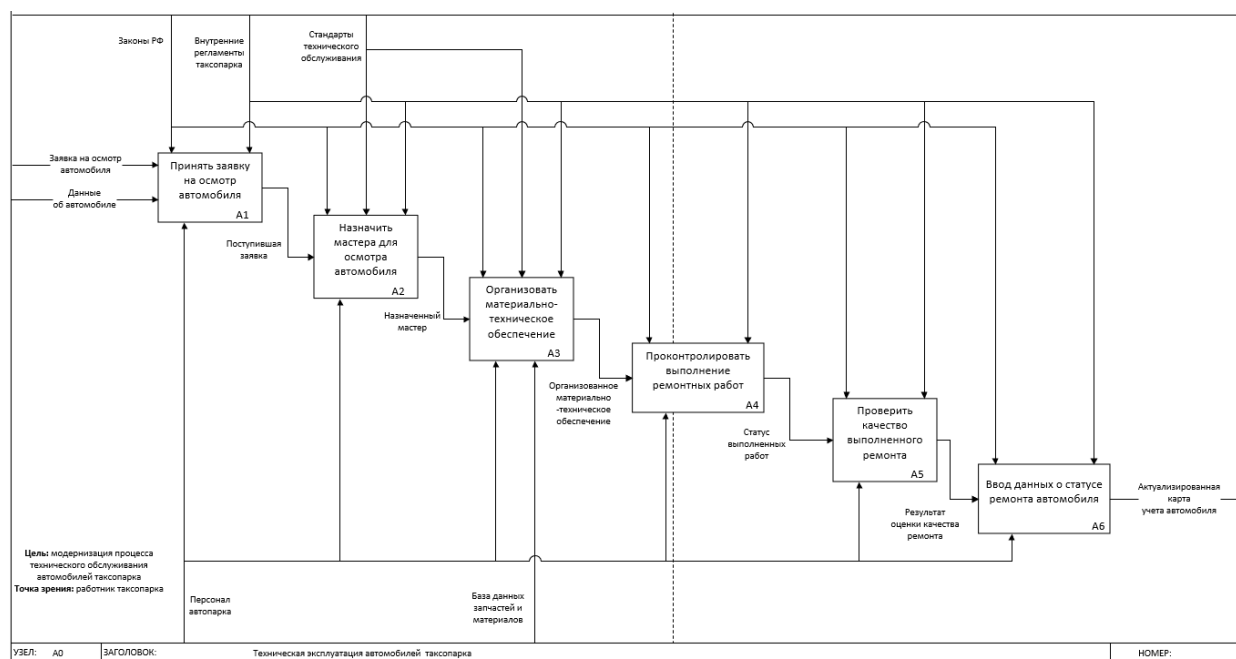


Рисунок 2 – Диаграмма декомпозиции модели «AS-IS»

В ходе анализа контекстной диаграммы и диаграммы декомпозиции «AS-IS» было выявлено отсутствие автоматизированного учета запчастей и проведенных ремонтов.

Для устранения выявленных недочетов и недостатков была построена модель «КАК БУДЕТ» («TO-BE»). На рисунке 3 показана контекстная диаграмма модели «TO-BE» оптимизации технической эксплуатации автомобилей.



Рисунок 3 – Контекстная диаграмма «КАК БУДЕТ» технической эксплуатации автомобилей таксопарка

Далее была спроектирована диаграмма декомпозиции, которая отображает усовершенствование бизнес-процессов. На рисунке 4 показана диаграмма декомпозиции «КАК БУДЕТ».

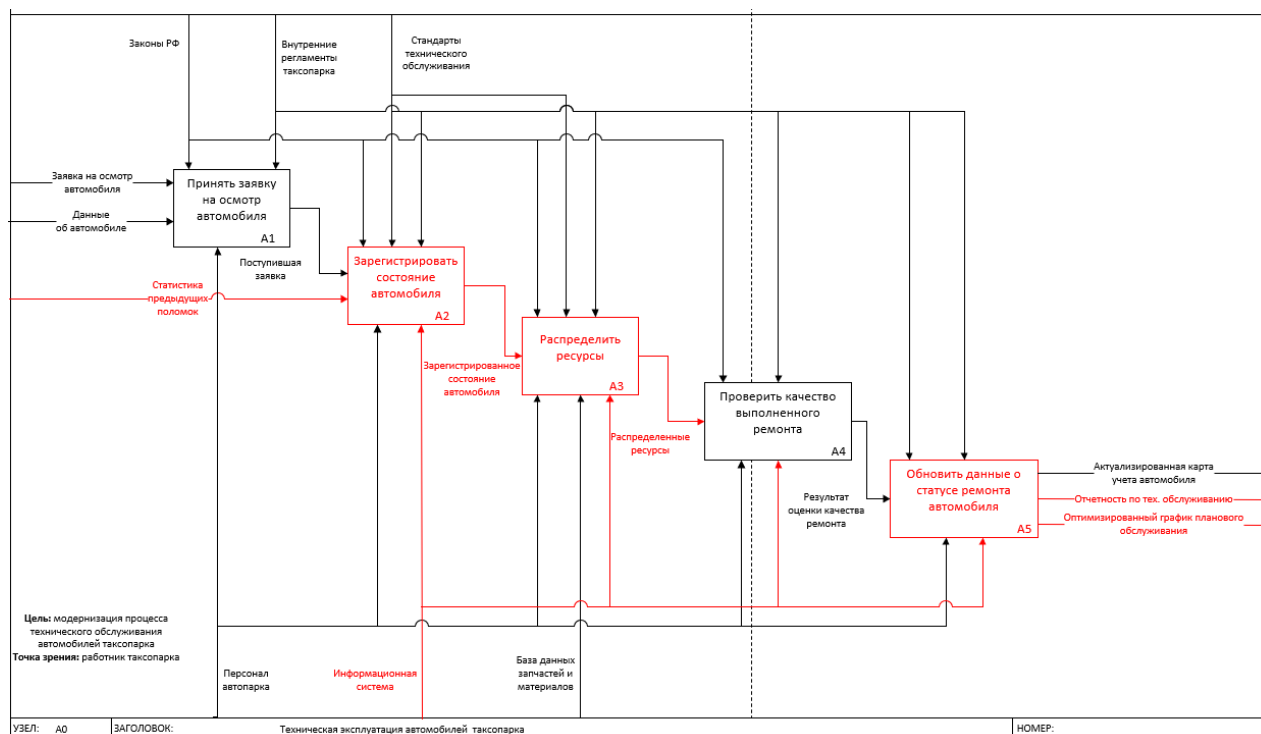


Рисунок 4 – Диаграмма декомпозиции «КАК БУДЕТ» технической эксплуатации автомобилей таксопарка

В данных диаграммах ключевым элементом стала информационная система. Основное отличие – это автоматизация учета наличия деталей на складе и ведение электронного журнала заявок на техническое обслуживание, что позволяет устранить ошибки в отчетности. После проектирования диаграмм «КАК БУДЕТ» выяснилось, что предыдущие недостатки системы были выявлены и исправлены с помощью внедрения специализированной информационной системы.

Объектно-ориентированный анализ информационной системы был реализован с помощью построения UML-диаграмм.

Диаграмма вариантов использования – это диаграмма, позволяющая выделить отношения ключевых акторов: пользователя, технического специалиста и администратора [4, 5]. Пользователь отправляет заявку на техническое обслуживание, в то время как технический специалист отслеживает данные о запчастях, поставщиках и просматривает заявки. Администратор в этом случае отвечает за управление данными о сотрудниках. На рисунке 5 показана спроектированная диаграмма вариантов использования.

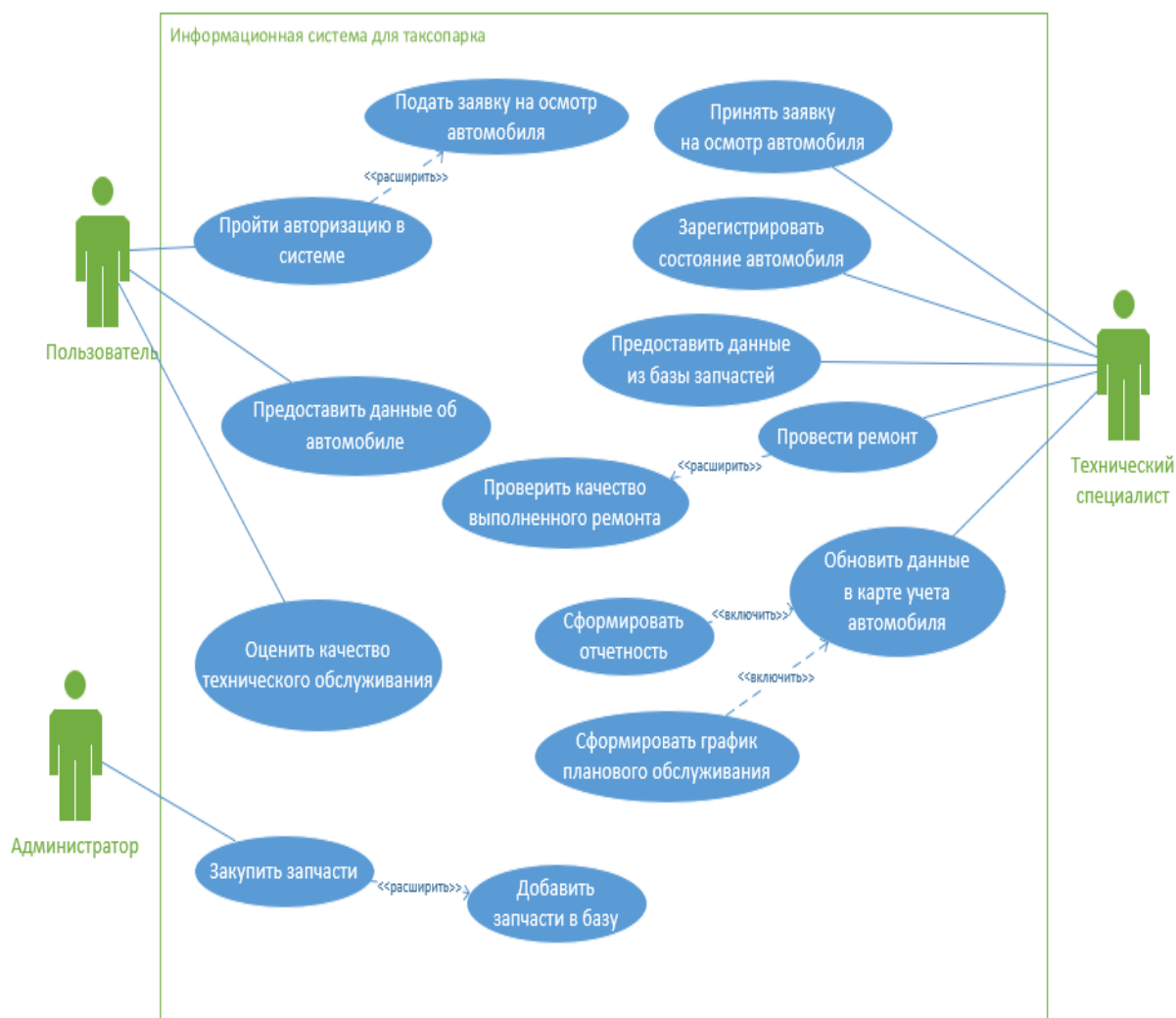


Рисунок 6 – Диаграмма вариантов использования

Диаграмма последовательности визуализирует процесс взаимодействия и обмена сообщениями между объектами в определенный момент времени [1]. Она наглядно демонстрирует путь заявки от интерфейса пользователя к информационной системе, обеспечивая наглядность алгоритма авторизации и обработки данных о ремонте автомобиля. На рисунке 7 показана диаграмма последовательности.

В ходе проектирования UML-диаграмм были выявлены основные участники в процессе технической эксплуатации машин таксопарка, их действия в рамках данного сценария.

Хранение данных организовано в реляционной СУБД Microsoft SQL Server. Спроектированная модель включает 14 связанных таблиц, таких как «Автомобиль», «Техническое_обслуживание», «Запчасть», «Сотрудник» и др. Использование связи «один-многим» поспособствовало нормализации данных и исключению избыточности.

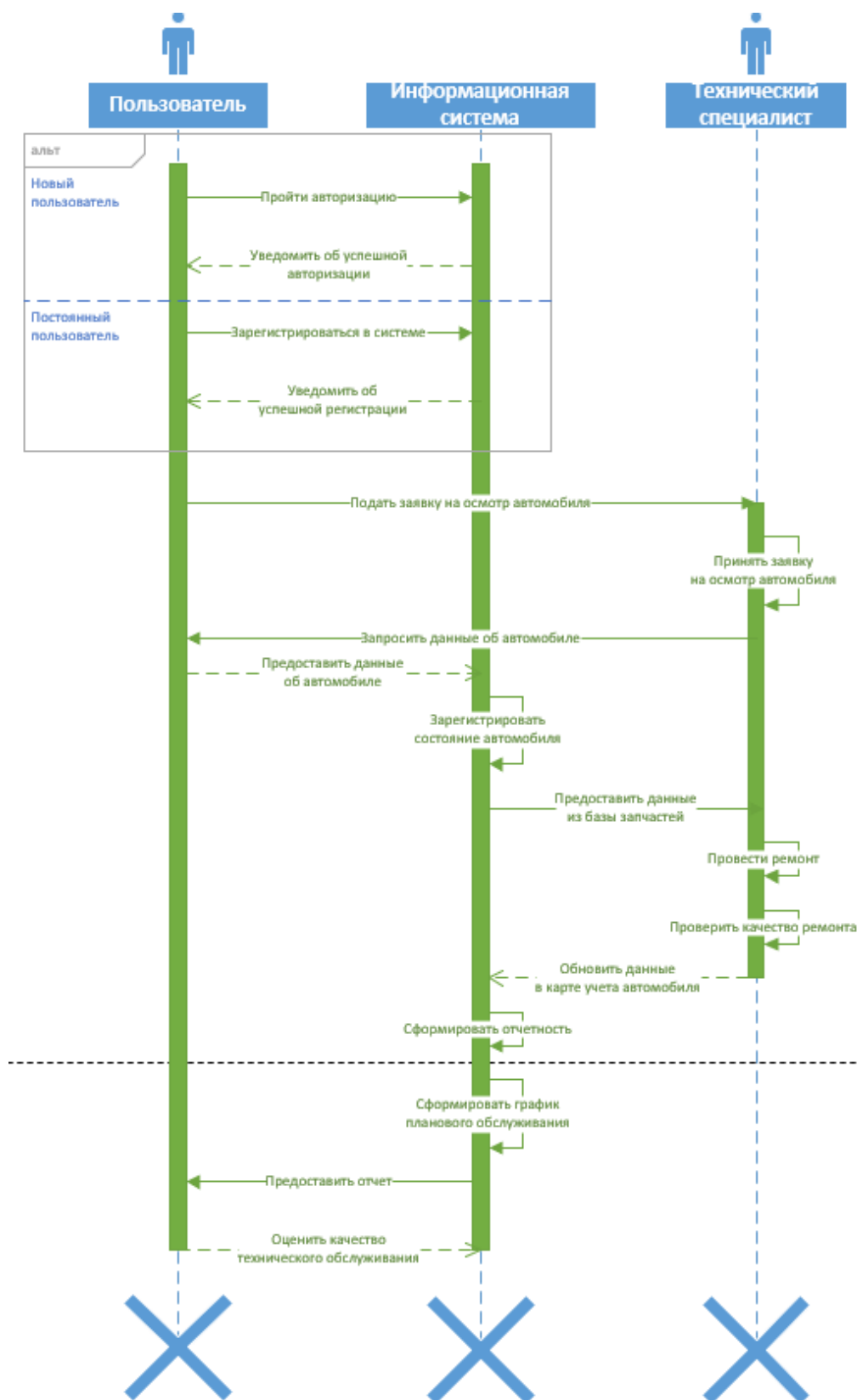


Рисунок 7 – Диаграмма последовательности

Сама программа реализована в среде Microsoft Visual Studio. Особенностью интерфейса является разделение по ролям. В окне авторизации обеспечивается безопасность системы, введенные данные сопоставляются с имеющимися паролями в подключенной базе данных. Окно авторизации показано на рисунке 8.

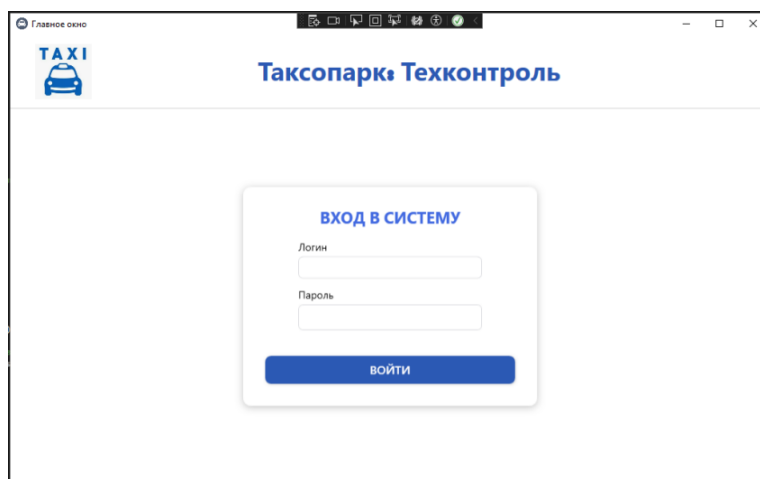


Рисунок 8 – Окно авторизации

Панель администратора содержит вкладки «Сотрудники» и «Склад запчастей». Интерфейс позволяет не только просматривать эти списки, но и осуществлять операции создания, чтения, обновления и удаления. Панель администратора показана на рисунке 9.

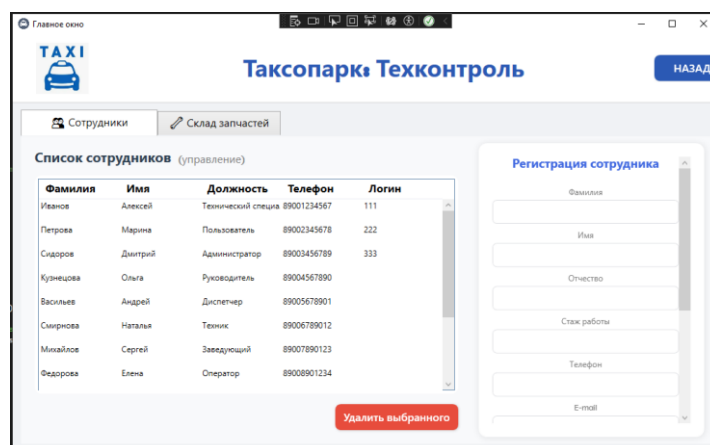


Рисунок 9 – Панель администратора

Таблица DataGrid с привязкой Binding к коллекциям объектов через Entity Framework обеспечивает динамическое обновление данных при добавлении нового сотрудника или запчасти в таблицу.

Таким образом, можно сделать вывод, что разработанная информационная система для таксопарка решает актуальные задачи автоматизации учета и контроля технического состояния автотранспорта. В ходе работы были проанализирована модель «КАК ЕСТЬ» и реализована модель «КАК БУДЕТ», исключая ручной ввод и дублирование информации. Использование UML-диаграмм позволило создать гибкую архитектуру, а применение WPF обеспечило современный и интуитивно понятный графический интерфейс. Тестирование системы подтвердило корректность работы всех функциональных модулей системы. Внедрение данной специализированной системы в деятельность таксопарка позволит повысить надежность эксплуатации автомобиля и снизить операционные издержки предприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волкова, В. Н. Моделирование систем и процессов : учебник для вузов / В. Н. Волкова [и др.] ; под редакцией В. Н. Волковой, В. Н. Козлова. – Москва : Издательство Юрайт, 2023. – 450 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-9916-7322-8. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/511077>.

2. Воронцова М.В. Управление персоналом в социальной работе : учебник для вузов / под редакцией М. В. Воронцовой. – Москва : Издательство Юрайт, 2025. – 378 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-13772-9. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/567657>.

3. Галкин, А. Н. Организация и безопасность дорожного движения : учебник для вузов / А. Н. Галкин [и др.] ; под редакцией К. В. Костина. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2025. – 229 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-11811-7. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/566358>.

4. Гниденко, И. Г. Технология разработки программного обеспечения : учебник для среднего профессионального образования / И. Г. Гниденко, Ф. Ф. Павлов, Д. Ю. Федоров. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2025. – 248 с. – (Профессиональное образование). – ISBN 978-5-534-18131-9. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/563151>.

5. Грекул, В. И. Проектирование информационных систем : учебник и практикум для вузов / В. И. Грекул, Н. Л. Коровкина, Г. А. Левочкина. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2023. – 423 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-17841-8. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/533823>.

6. Долганова, О. И. Моделирование бизнес-процессов : учебник и практикум для вузов / О. И. Долганова, Е. В. Виноградова, А. М. Лобанова ; под редакцией О. И. Долгановой. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2024. – 322 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-17914-9. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/536465>.

Галченко Полина Олеговна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент инжинирингово колледжа

E-mail: 1655278@bsuedu.ru

Гончарова Ирина Ивановна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Аспирант кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: goncharova_i@bsuedu.ru

УДК 004.8

Научный руководитель:
Польщиков Константин Александрович,
профессор кафедры информационных
и робототехнических систем,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)

Д.М. ГОЛДОБИНА
D.M. GOLDOBINA

РОЛЬ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ОПТИМИЗАЦИИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ

THE ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN OPTIMIZING HEALTHCARE EFFICIENCY

В современном мире цифровая трансформация охватывает различные сферы жизни и деятельности человека: образование, управление, экономика, предпринимательство, медицина и другое. Внедрение искусственного интеллекта в повседневную деятельность специалистов разного уровня позволяет избавиться от рутинных задач и обработать большое количество данных в короткие сроки. Повышение качества жизни является одной из приоритетных задач реализуемых проектов. Использование умных технологий в медицине создаёт возможности для повышения качества предоставляемых услуг, ранней диагностики, проведения регулярных профилактических мероприятий и их учёта, соблюдение требований мер безопасности, учёта нормативно-правовых актов, дистанционном консультировании работе и многое другое. В работе рассмотрено внедрение медицинских информационных систем в субъектах Российской Федерации, их преимущества.

Ключевые слова: телемедицина, искусственный интеллект (ИИ), цифровая трансформация, искусственный интеллект, медицинская информационная система, информационные технологии, умные технологии.

In the modern world, digital transformation covers various spheres of human life and activity: education, management, economics, entrepreneurship, medicine and others. The introduction of artificial intelligence into the daily activities of specialists of different levels allows to get rid of routine tasks and process a large amount of data in a short time. Improving the quality of life is one of the priority tasks of the projects being implemented. The use of smart technologies in medicine creates opportunities for improving the quality of services provided, early diagnosis, regular preventive measures and their accounting, compliance with safety requirements, accounting for regulatory legal acts, remote consulting at work and much more. The paper discusses the implementation of medical information systems in the constituent entities of the Russian Federation, their advantages.

Key words: digital transformation, artificial intelligence, medical information system, information technology, smart technologies.

Актуальность применения информационных технологий и тех возможностей, которые они открывают в профессиональной деятельности человека, сегодня не вызывает сомнений. Их внедрение позволяет решать прикладные задачи в том числе и с экономической выгодой.

Рассмотрим применение искусственного интеллекта в медицине на примере внедрения медицинских информационных систем. Искусственный интеллект представляет собой набор технологических инноваций, предназначенных для моделирования человеческих познавательных процессов и достижения результатов в рамках определенных задач, аналогичных тем, что достигаются человеческим интеллектом [6-7].

В конце 2021 года Правительство Российской Федерации определило стратегию развития системы цифровизации в медицине и здравоохранении на ближайшие несколько лет. Основными направлениями такой трансформации являются создание единого цифрового контура, а также разработка, внедрение и эксплуатация медицинских платформенных решений на федеральном уровне [1].

Медицинские информационные системы в первую очередь призваны обеспечить бесперебойную работу медицинских организаций и предоставить специалистам доступ к данным электронной медицинской карты пациента в любое время. Электронные документы хранят данные об обращениях пациента в различные медицинские организации и позволяют отслеживать динамику заболевания, этапы диагностики и исследований, результаты лечения на протяжении всего периода хранения информации.

Таким образом, медицинские информационные системы обеспечивают доступ к медицинской информации в базах данных, автоматизируют диагностические и лечебные процессы, автоматизируют работу врача как при постановке диагноза и принятии медицинских решений, так и при формировании учётных и отчётных документов. Разнообразие методов искусственного интеллекта позволяет пользователю использовать их для решения фундаментальных и прикладных задач [2].

Кроме того, медицинские информационные системы объединяют всех участников: пациентов, обращающихся за помощью, врачей, оказывающих помощь, саму медицинскую организацию и органы самоуправления субъектов Российской Федерации. В 2023 году Министерством здравоохранения России было поручено регионам разработать план перехода на единую медицинскую информационную систему, используемую во всех медицинских организациях государственной и муниципальной систем здравоохранения. Это указано в протоколе совещания по вопросам реализации мероприятий федерального проекта «Создание единого цифрового контура в здравоохранении на основе единой государственной информационной системы в сфере здравоохранения (ЕГИСЗ)» от 25 мая 2023 года. В документе также перечислены регионы, которые осуществили переход на единую медицинскую информационную систему к 1 декабря 2024 года: Алтайский край, Астраханская область, Владимирская область и другие [1].

С 2024 года, согласно данным Федерального проекта, по всей России начала функционировать система электронных рецептов, которая предоставляет гражданам возможность дистанционно заказывать льготные лекарства [3].

К 2025 году в личном кабинете пациента «Мое здоровье» на портале Госуслуг станут доступны такие функции, как запись на приём к врачу, прохождение диспансеризации, профилактического медицинского осмотра, вакцинации и плановой госпитализации. Граждане смогут получать доступ к своим медицинским документам независимо от места проживания [3]. В Белгородской области электронная регистратура была внедрена ещё в 2022 году. Жители региона могут проверять наличие льготных препаратов в аптеках, заказывать и продлевать рецепты, а также оформлять доставку лекарств на дом [4]. Также пациенты, кроме дистанционной записи на приём и вызова врача на дом, могут отслеживать свой календарь прививок, диспансеризацию и профилактические осмотры, результаты исследований, заказать дистанционно справки и многое другое [5]. Для удобства пациентов разработано и активно используется мобильное приложение электронной регистратуры.

Таким образом, в работе отражена только малая часть использования искусственного интеллекта в медицине. Наглядно можно увидеть преимущества и возможности, которые даёт использование информационных технологий. Конечно, наряду с преимуществами возникают и риски, которые необходимо учитывать при внедрении и использовании искусственного интеллекта в такой жизненно важной сфере как медицина. Ведь жизнь и здоровье человека были и остаются высшими ценностями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Информационные технологии в медицине [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://n3health.ru/informacionnye-tehnologii-v-medicine> (01.05.2025).
2. Введение в искусственный интеллект: монография / А.В. Остроух. – Красноярск: Научно-инновационный центр, 2020. – 250 с. – ISBN 978-5-907208- 26-1 DOI: 10.12731/978-5-907208-26-1. – Текст: непосредственный.

3. Федеральный проект «Создание единого цифрового контура в здравоохранении на основе единой государственной информационной системы в сфере здравоохранения (ЕГИСЗ)» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://minzdrav.gov.ru/poleznye-resursy/natsproektzdravoohranenie/tsifra> (01.05.2025).

4. На портале электронной регистратуры Белгородской области отражены все медицинские назначения и рецепты [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://belregion.ru/press/news/index.php?ID=83251&ysclid=mapseb03we695198813> (01.05.2025).

5. Электронная регистратура Белгородской области [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://er.zdrav31.ru/?ysclid=mapsngyli3859562681> (01.05.2025).

6. Остроухова, Н. Г. Искусственный интеллект в управлении здравоохранением: эффективные решения для будущего: экспертный обзор [Электронный ресурс] / Н. Г. Остроухова, А. В. Гажева, Ю. В. Бурковская. – Электрон. текстовые дан. – М.: ГБУ «НИИОЗММ ДЗМ», 2025 – URL: <https://niiioz.ru/moskovskaya-meditsina/izdaniya-nii/obzory/> – Загл. с экрана. – 27 с.

7. Куракова Н.Г., Цветкова Л.А., Черченко О.В. Технологии искусственного интеллекта в медицине и здравоохранении: позиции России на глобальном патентном и публикационном ландшафте // Менеджер здравоохранения. – 2020. – № 2. – DOI: 10.37690/1811-0193-2020-2-81-100.

Голдобина Дарья Михайловна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Ассистент кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий

E-mail: 1668261@bsuedu.ru

УДК 658.5:004.4

*Научный руководитель:
Игитян Елена Владимировна,
доцент кафедры информационных
и робототехнических систем,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

Д.Р. ГОЛОДЕНКО
D.R. GOLODENKO

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ АНИМАТОРСКОГО АГЕНТСТВА

FUNCTIONAL MODELING OF AN ANIMATION AGENCY'S ACTIVITIES

В данной статье рассматривается применение методологии функционального моделирования IDEF0 для анализа и оптимизации бизнес-процессов аниматорского агентства «Зайка моя». Актуальность исследования обусловлена высокой динамичностью и конкурентностью рынка развлекательных услуг, где эффективность внутренних процессов напрямую влияет на качество обслуживания и конкурентоспособность.

Ключевые слова: функциональное моделирование, IDEF0, аниматорское агентство, оптимизация процессов.

This article discusses the application of IDEF0 functional modeling methodology for the analysis and optimization of business processes in the animation agency "Zayka Moya". The relevance of this research is due to the high dynamism and competitiveness of the entertainment services market, where the efficiency of internal processes directly affects the quality of service and competitiveness.

Key words: functional modeling, IDEF0, animation agency, process optimization.

Современный рынок развлекательных услуг становится всё более конкурентным: клиенты ждут не просто услуги, а индивидуального подхода и безупречной организации праздника. В таких условиях аниматорским агентствам приходится постоянно пересматривать и совершенствовать свои внутренние процессы. Аниматорское агентство специализируется на организации и проведении праздников, главной целью которого является создание праздничной атмосферы и развлечение людей. Работа в event-индустрии характеризуется высокой динамичностью, сезонными пиками, постоянной зависимостью от людей и необходимостью безупречно скоординировать десятки задач [1]. Часто эти процессы существуют в виде устных договорённостей и привычных, но не всегда эффективных действий. Моделирование бизнес-процессов помогает систематизировать процессы и повысить эффективность, что позволяет сохранить контроль над операциями и укрепить позиции на рынке.

Целью данного исследования является построение функциональной модели в нотации IDEF0 бизнес-процессов аниматорского агентства «Зайка моя» для их системного анализа, визуализации и выявления направлений оптимизации.

Для построения функциональной модели работы аниматорского агентства «Зайка моя» будем использовать методологию моделирования с точки зрения функциональности системы. В рамках методологии IDEF0 (Integration Definition for Function Modeling) процесс представляется в виде набора элементов-работ, которые взаимодействуют между собой, а также показывается информационные, людские и производственные ресурсы, потребляемые каждой работой [2]. Методология IDEF0 подразумевает построение иерархической системы диаграмм – единичных описаний фрагментов системы [3]. В самом начале осуществляется описание системы в целом и ее взаимодействия с окружающим миром (контекстная диаграмма), после чего проводится функциональная декомпозиция – система разбивается на подсистемы, и каждая подсистема описывается отдельно (диаграммы декомпозиции).

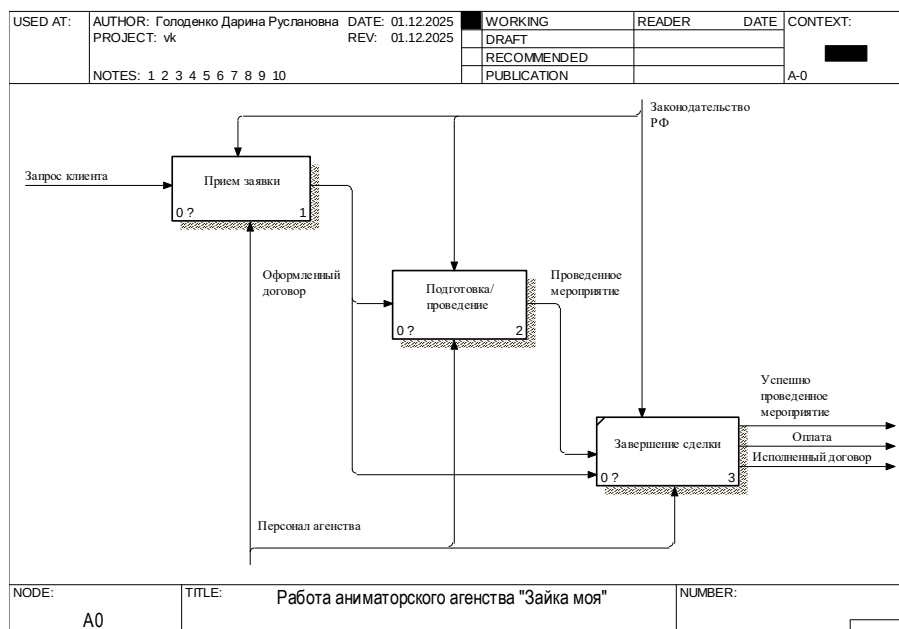


Рисунок 2 – Декомпозиция контекстной диаграммы

Для углубленного анализа были детально декомпозированы два наиболее значимых процесса. На рисунке 3 представлена декомпозиция процесса A1 «Прием заявки».

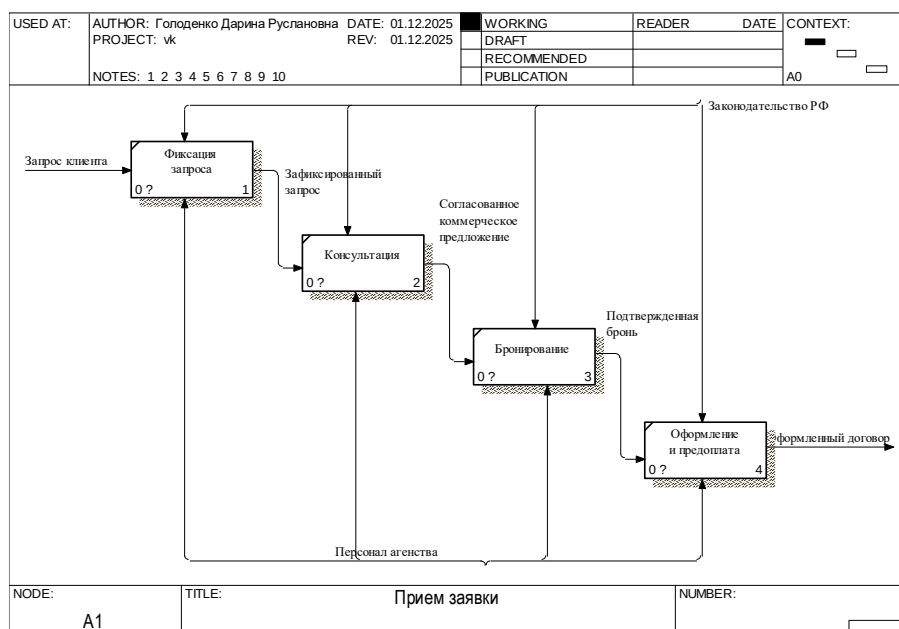


Рисунок 3 – Декомпозиция процесса A1 «Прием заявки»

Данный процесс разбит на четыре последовательных этапа:

- «Фиксация запроса» – на вход поступает запрос от клиента, на выходе формируется «зафиксированный запрос», направляемый на консультации (A11);
- «Консультация» – на основе зафиксированного запроса формируется «согласованное коммерческое предложение», которое передается на этап бронирования (A12);
- «Бронирование» – результатом этапа является «подтвержденная бронь», поступающая на окончательное оформление (A13);
- «Оформление и предоплата» – финальный этап обработки заявки, выходом которого является «оформленный договор», являющийся итогом всего процесса A1 (A14).

На рисунке 4 продемонстрирована декомпозиция процесса A2 «Подготовка/проведение».

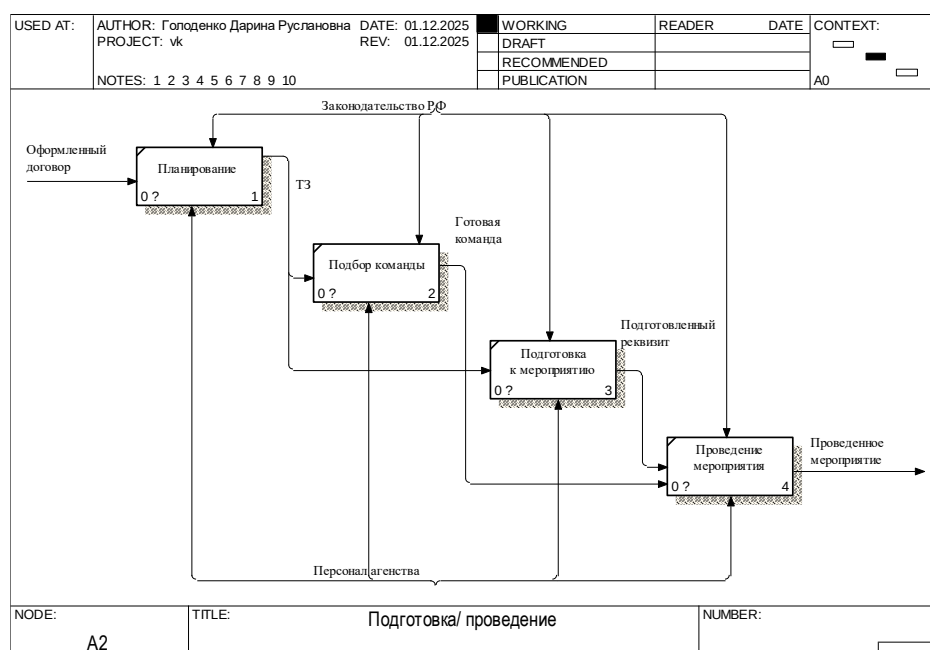


Рисунок 4 – Декомпозиция процесса A2 «Подготовка/проведение»

Декомпозиция процесса A2 «Подготовка/проведение» состоит из следующих подпроцессов:

- «Планирование». На вход поступает оформленный договор. Результатом этапа является «техническое задание (ТЗ)», которое используется для координации дальнейших действий (A21);
- «Подбор команды». На основе ТЗ формируется «готовая команда» аниматоров для проведения мероприятия (A22);
- «Подготовка к мероприятию». Параллельно осуществляется подготовка, итогом которой является «подготовленный реквизит» (A23);
- «Проведение мероприятия». Основной этап, на который поступают готовая команда и реквизит. Выходом является «проведенное мероприятие», завершающее данный процесс (A24).

Важно отметить, что управляющее воздействие в виде законодательства РФ и механизм в виде персонала агентства распространяются на каждый подпроцесс, что делает модель работоспособной и логически завершённой [5].

Таким образом, построенная функциональная модель IDEF0 информационной системы аниматорского агентства «Зайка моя» позволила системно и наглядно изобразить совокупность функций, четко обозначить потоки информации и управления между ними и внешней средой, а также структурированно выявить существенные технологические и административные этапы процесса. Полученная модель AS-IS служит документацией текущего состояния, а также становится основой для последующего анализа, разработки предложений по оптимизации и создания целевой модели TO-BE. Функциональная модель позволяет чётко определить задачи, подлежащие автоматизации в рамках информационной системы агентства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фролов А. А. Event-индустрия: особенности и перспективы развития. – М.: КноРус, 2014. – 224 с.
2. Алексеев И. Л. Моделирование бизнес-процессов. – М.: Альфа-Пресс, 2006. – 240 с.
3. Давыдов А. А. Бизнес-процессы: построение, анализ, оптимизация. – М.: Эксмо, 2007. – 320 с.

4. Котлер Ф., Келлер К. Л. Маркетинг менеджмент. – М.: Питер, 2019. – 816 с.
5. Петров П. П. Управление проектами. – М.: Юрайт, 2021. – 352 с.

Голоденко Дарина Руслановна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: 1645750@bsuedu.ru

УДК 004.891

*Научный руководитель:
Пусная Ольга Петровна,
старший преподаватель кафедры
прикладной информатики и
информационных технологий,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

Е.Н. ГОЛЫШЕВА
E.N. GOLYSHEVA

РАЗРАБОТКА МЕТОДА АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ЗАПРОСОВ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ DEVELOPMENT OF A METHOD FOR AUTOMATIC QUERY PREPARATION FOR IMAGE GENERATION

В данной статье авторы освещают проблему создания интеллектуальной системы автоматической подготовки промптов для генерации изображений на основе данных из внешних источников. Описан процесс извлечения знаний из текстовых публикаций, построение словаря терминов, выявление связей между понятиями и разработка моделей обработки данных. Предложенная методика включает парсинг, классификацию постов, извлечение и нормализацию промптов, дедупликацию с использованием семантического сравнения, шаблонизацию и автоматическую генерацию превью-изображений. Разработанная архитектура обеспечивает формирование структурированной базы промптов, каталога стилей и веб-интерфейса с категоризацией, поиском по параметрам и фильтрацией по совместимости моделей. Система может быть реализована с использованием современных API и фреймворков.

Ключевые слова: генерация изображений, промптов, автоматическая шаблонизация, дедупликация, структурирование знаний, автоматическая подготовка промптов, парсинг данных, нормализация промптов.

In this article, the authors highlight the problem of creating an intelligent system for automatic preparation of prompts for image generation based on data from external sources. The process of extracting knowledge from text publications, building a dictionary of terms, identifying links between concepts, and developing data processing models is described. The proposed methodology includes parsing, classifying posts, extracting and normalizing prompts, deduplication using semantic comparison, templating, and automatic generation of preview images. The developed architecture provides the formation of a structured database of products, a catalog of styles, and a web interface with categorization, parameter search, and filtering by model compatibility. The system can be implemented using modern APIs and frameworks.

Keywords: image generation, promptings, automatic templating, deduplication, knowledge structuring, automatic preparation of promptings, data parsing, normalization of promptings.

Разработка современной интеллектуальной системы автоматической подготовки промптов для генерации изображений требует не только проработанных алгоритмов обработки текстовых данных, но и чёткой архитектуры, обеспечивающей масштабируемость и надежное хранение разнovidных сущностей. В рамках предлагаемого решения исходный код системы размещается в репозитории GitHub, что позволяет организовать непрерывную интеграцию и контролируемое развёртывание на VPS-сервере. На сервере функционирует реляционная база данных Postgres, отвечающая за хранение структурированной информации: промптов, шаблонов, метаданных публикаций, классификационных признаков и пользовательские предпочтения. Файловые артефакты – сгенерированные превью-изображения, карточки стилей, медиавложения из исходных постов, размещаются в отдельных S3-совместимых объектных хранилищах, что обеспечивает низкую связанность компонентов и эффективное управление неструктурированными данными.

На начальном этапе извлечения знаний выполнено структурирование входных данных. Выделено пять категорий источников:

- источник контента (аккаунты и каналы социальных сетей);

- текстовые публикации (посты, содержащие промпты или описания изображений);
- параметры генерации (модель, соотношение сторон (aspect ratio), количество шагов (steps), алгоритм выборки (sampler), негативный промпт);
- метаданные публикаций (автор, дата, количество просмотров, репостов, реакций);
- пользовательские предпочтения (история выбранных промптов, избранные стили, настройки генерации).

Выходной поток формируется из двух результатов:

- материальные артефакты (сгенерированные превью-изображения, карточки стилей);
- информационные продукты (нормализованная база промптов, шаблоны с переменными, каталоги совместимости, рейтинг популярности).

Такое разделение задает границы проектируемой системы и формирует перечень функциональных требований.

Для устранения неоднозначности разработан словарь, включающий 56 терминов. Структура словаря охватывает пять тематических блоков:

- сущности данных (промпт, негативный промпт, шаблон, переменная, карточка стиля);
- операционные системы (парсинг, нормализация, дедупликация, семантическое сравнение, токенизация, шаблонизация);
- генерационные параметры (модель, aspect ratio, steps, sampler, CFG scale, seed);
- аналитические методы (классификация, текст-анализ, контент-анализ, NLP-обработка);
- инфраструктурные узлы (API, хранилище промптов, веб-интерфейс, планировщик обновлений, облачные вычисления).

Ключевая особенность – термины определены в контексте их функциональной роли. Например, понятие «промпт» выступает одновременно как исходная текстовая строка, как объект нормализации и как параметрический шаблон, что непосредственно влияет на логику извлечения.

Построенная семантическая сеть, представленная на рисунке 1, позволила выявить пять метапонятий, образующих ядро предметной области:

- промпт (текстовое описание, используемое системой генерации изображений для создания визуального результата);
- источник данных (платформа или ресурс, из которого система получает публикации);
- параметры генерации (интегрирует модель, aspect ratio, steps, sampler, CFG scale, seed);
- пользовательский интерфейс (включает категории (новые, популярное, совместимые, готовые стили), поиск, фильтрацию, генерацию в один клик);
- результат обработки (покрывает структурированные данные, уникальные записи, шаблоны, превью-изображения, карточки стилей).

Обобщение выделенных метапонятий позволило отказаться от линейного перечисления сущностей в пользу построения иерархической структуры данных. Такой переход имеет определяющее значение для корректного проектирования реляционной базы данных – в данном случае на базе Postgres, взаимодействие с которой на уровне прикладной осуществляется

Для формализации знаний о предметной области и обеспечения однозначной интерпретации сущностей разработана концептуальная модель, представленная на рисунке 2 в виде диаграммы «сущность-связь». Модель описывает следующие ключевые агрегаты: «Источник данных», «Промпт», «Пост», «Карточка стиля», «Шаблон промпта», «Параметры генерации» (например, модель генерации, aspect ratio, steps, seed) и «Пользовательские предпочтения», который используется системой рекомендаций.

Такая концептуальная схема позволяет однозначно трактовать процессы дедупликации (сравниваются не сырые строки, а нормализованные промпты с учетом параметров), реализовать каталог стилей без дублирования шаблонов, обеспечить рекомендательную систему на основе истории пользовательских предпочтений и рейтинга карточек стиля.

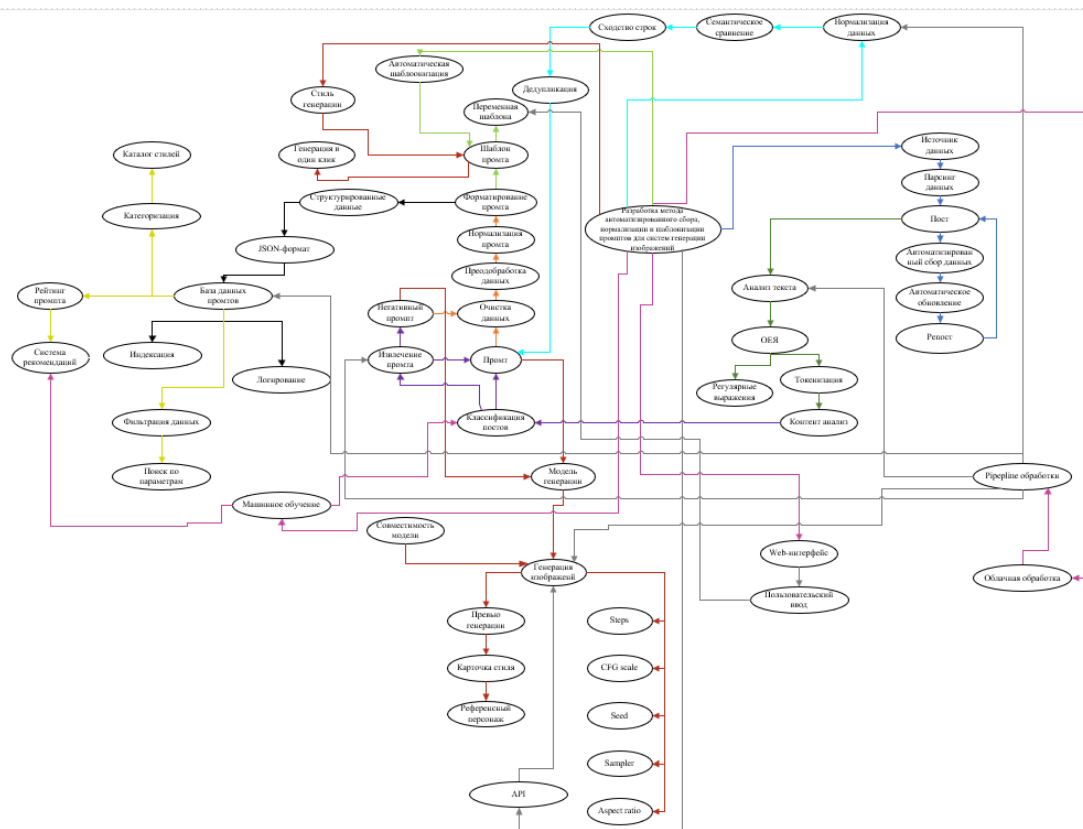


Рисунок 1 – Семантическая схема

Кроме того, в концептуальной модели явной определены типы связей, например, «Источник данных» и «Пост» (один ко многим), так как один источник данных содержит множество постов, или «Шаблон промпта» и «Карточка стиля» (один к одному), так как каждый шаблон может быть оформлен как карточка стиля.

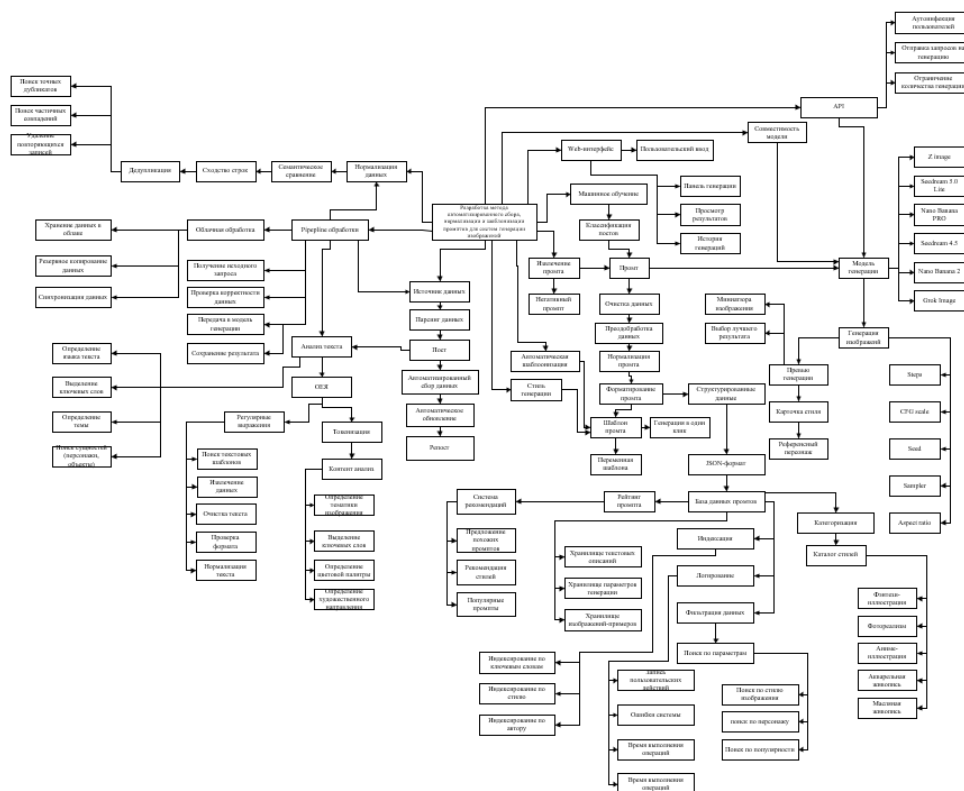


Рисунок 2 – Концептуальная схема

Разработанная архитектура интеллектуальной системы автоматической подготовки промптов для генерации изображений базируется на чётком разделении структурированных и неструктурированных данных, что обеспечивает масштабируемость и низкую связанность компонентов. Формализация входных и выходных потоков, создание терминологического словаря и построение семантической сети позволили выделить пять метапонятий – промпт, источник данных, параметры генерации, пользовательский интерфейс, результат обработки. Разработанная концептуальная модель «сущность–связь» с ключевыми агрегатами напрямую поддерживает функции дедупликации, каталогизации стилей и рекомендательной системы, а также транслируется в реляционную схему Postgres для последующей реализации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Smartluvon – URL: <https://smartluvon.ru/> (дата обращения: 14.04.2026).
2. Бермудес С.Х.Г., Керимова С.У. О методе определения текстовой близости, основанном на семантических классах // Инженерный вестник Дона. – 2016. – URL: https://ivdon.ru/back_media/uploads/article/pdf/IVD_65_Bermudez_Kerimova__2_.pdf_1a8adc1b77.pdf (дата обращения: 14.04.2026).
3. Феногенова А. Findings of the The RuATD Shared Task 2022 on Artificial Text Detection in Russian – 2022. – URL: https://www.researchgate.net/publication/361107317_Findings_of_the_The_RuATD_Shared_Task_2022_on_Artificial_Text_Detection_in_Russian (дата обращения: 13.04.2026).
4. Большакова С. А. Система автоматической адаптации русскоязычных текстов и ее практическая значимость // Проблемы искусственного интеллекта. 2024. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-avtomaticheskoy-adaptatsii-russkoyazychnyh-tekstov-i-ee-prakticheskaya-znachimost> (дата обращения: 12.04.2026).

Гольшева Елизавета Николаевна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры прикладной информатики и информационных технологий

E-mail: golysheva@bsuedu.ru

УДК 004.8

Научный руководитель:
Балабанова Татьяна Николаевна,
доцент кафедры информационно-
телекоммуникационных систем и технологий,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)

П.Е. ДОЦЕНКО
P.E. DOTSENKO

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ WAV2VEC2 И WHISPER В ЗАДАЧЕ РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ

COMPARATIVE ANALYSIS OF WAV2VEC2 AND WHISPER MODELS IN SPEECH RECOGNITION TASK

В статье представлен вычислительный эксперимент по сравнению двух современных моделей автоматического распознавания речи – Wav2Vec2 и Whisper. Оценка проводится на основе обработки аудиофрагментов различного типа. Анализируются точность распознавания и устойчивость моделей к различным языковым и фонетическим условиям.

Ключевые слова: распознавание речи, Wav2Vec2, Whisper, нейронные сети, ASR.

The article presents a computational experiment comparing two modern automatic speech recognition models – Wav2Vec2 and Whisper. The evaluation is based on processing different types of audio fragments. The accuracy of recognition and the robustness of the models under various linguistic and phonetic conditions are analyzed.

Keywords: speech recognition, Wav2Vec2, Whisper, neural networks, ASR.

Автоматическое распознавание речи (ASR, Automatic Speech Recognition) является одной из наиболее востребованных технологий в области искусственного интеллекта, обеспечивая преобразование акустического речевого сигнала в текстовую форму. Современные методы распознавания основаны на применении глубоких нейронных сетей, позволяющих анализировать как акустические характеристики сигнала, так и его языковую структуру. В рамках данного исследования рассматриваются две архитектуры – Wav2Vec2-base-960h и Whisper-small, относящиеся к различным классам нейросетевых моделей и демонстрирующие отличающиеся свойства при обработке речевых данных. Целью главы является анализ алгоритмов распознавания речи, а также проведение вычислительного эксперимента, направленного на сравнение устойчивости моделей при обработке фраз различного типа: английской, русской, смешанной речи и скороговорки.

Целью вычислительного эксперимента является сравнительная оценка качества работы моделей распознавания речи – OpenAI Whisper и Facebook Wav2Vec2 – при обработке речевых сигналов в условиях разной языковой среды и сложности артикуляции.

В ходе эксперимента анализируется способность моделей корректно распознавать: английскую фразу; русскую фразу; смешанную фразу, содержащую переходы между английским и русским языками; русскую скороговорку, включающую большое количество шипящих и труднопроизносимых фонем.

Все аудиозаписи были выполнены одним диктором в естественных условиях речи, с параметрами:

- формат – WAV;
- частота дискретизации – 16 кГц;
- разрядность – 16 бит;
- один канал (моно).

Для эксперимента использовались речевые фрагменты, представленные в таблице 1.

Последовательность проведения эксперимента:

1. Подготовка аудиофайлов и загрузка в вычислительную среду.

2. Преобразование сигналов в требуемый формат (16 кГц, моно).
3. Распознавание каждого аудиофайла моделью Wav2Vec2-base-960h.
4. Распознавание аудиофайлов моделью Whisper-small.
5. Фиксация результатов.
6. Анализ качества распознавания и устойчивости моделей к различным типам речи.

Таблица 1 – Речевые фрагменты

Фраза	Текст
Английская	As the train approached the station, he realized he had forgotten the notebook that contained all his important notes.
Русская	Когда поезд медленно подъезжал к платформе, я заметила в толпе знакомое лицо, которое не ожидала увидеть в этот вечер.
Смешанная	We were going to leave early and finish our work, но из-за неожиданных новостей пришлось задержаться, and now we have to reorganize our entire plan.
Скороговорка	В четверг четвертого числа в четыре с четвертью часа четыре чёрненьких чумазеньких чертёнка чертили чёрными чернилами чертёж.

Для выполнения вычислительного эксперимента был разработан программный алгоритм, реализованный в среде Google Colab. Алгоритм обеспечивает загрузку аудиофайлов, их предобработку и распознавание с использованием двух нейросетевых моделей: Wav2Vec2-base-960h и Whisper-small.

На первом этапе выполняется загрузка аудиозаписей и приведение их к частоте дискретизации 16 кГц:

```
audio, sr = librosa.load(path, sr=16000)
```

Для обеспечения корректной работы моделей произведена нормализация сигнала:

```
audio = audio / max(abs(audio))
```

Распознавание речи моделью Wav2Vec2 выполняется через декодирование выходных логитов методом CTC:

```
inputs = processor_w2v(audio, sampling_rate=16000, return_tensors="pt")
logits = model_w2v(inputs["input_values"]).logits
text = processor_w2v.decode(torch.argmax(logits, dim=-1)[0])
```

Распознавание модели Whisper осуществляется на основе генерации текстовой последовательности:

```
inputs = processor_whisp(audio, sampling_rate=16000, return_tensors="pt")
pred_ids = model_whisp.generate(inputs.input_features)
text = processor_whisp.batch_decode(pred_ids, skip_special_tokens=True)[0]
```

Для каждой аудиозаписи были получены два варианта расшифровки, которые использовались в последующем сравнительном анализе.

После обработки всех четырёх аудиофайлов двумя моделями были получены результаты, представленные в таблице 2.

Английская фраза была почти полностью правильно распознана моделью Whisper. Текст совпадает с исходным, за исключением отсутствия пунктуации. Модель Wav2Vec2 внесла заметные искажения: train – tran, the station – their station, notebook – note book, что нарушает лексику и структуру исходного предложения. Несмотря на сохранение общей структуры предложения, такие ошибки затрагивают лексику.

Таблица 2 – Результаты распознавания речевых фрагментов моделями Wav2Vec2 и Whisper

Тип фразы	Результат работы Wav2Vec2	Результат работы Whisper
Английская	AS THEIR TRAN APPROACHED THE THEIR STATION HE REALIZED HE HAD FORGOTTEN THEIR NOTE BOOK OF THAT CONTAINTO OLL HIS IMPORTANT NOTES	As the train approached the station he realized he had forgotten the notebook that contained all his important notes.
Русская	BUT THA BOYST MIDDLEIN APUTSHALK BLOT FORME GES A METIL OF TOPIAS NACO MA LIT SOUL BUT TORA AND ASHADALLOVIDIT WIT THAT REATURE	Когда поезд медленно проезжал к платформе, я заметила в толпе знакомое лицо, которое не ожидала увидеть в этот вечер.
Смешанная	WEARE GOING TO LEAVE EARLY AND FINISH OU BORG NO ESAN A JIDEN NOVESKAPISH VOICE AS A GARATSA AND NOW WE HAVE TO YURGONIZE OUR ENTIRE PLEN	Мы должны были пройти и закончить наш борт, но из-за неожиданных новостей пришлось задержаться. И теперь мы должны организовать наш весь план.
Скороговорка	JTETWRK TODORTA WECHES LOVE CO DAREST CHETOR TUCHUSA CE DEARLY JOININ GIFCHUMIS AND GIFCOR TONOCA CE DEARLY JOIL ME COUR NEW AMICUR TOCH CETWERKCHEDORTA WACHESLA CE DEAREST CETOR TUCHUSAR CE DRLY JOIN IN GIVCHUMIS AND GIFCHORTONOGRA COUR DEARLY JOIL ME TOR NEW A MI CHERTOSHA	Четверг четвертого числа, четыре четвертью часа, четыре черненьких чумазеньких чертенка, чертили черными чернилами чертеж.

Русская фраза корректно воспроизведена Whisper без отклонений. Wav2Vec2 не распознала ни одного русского слова. Результат состоит из англоязычных слогов, не имеющих связи с исходным текстом, что подтверждает отсутствие поддержки русского языка.

Whisper перевела смешанную фразу на русский язык, но с искажениями. Первая часть «We were going to leave early and finish our work» преобразована в «Мы должны были пройти и закончить наш борт», где слова «пройти» и «борт» не верные. Русская часть фразы передана дословно. Последний английский сегмент был переведён как «И теперь мы должны организовать наш весь план», что близко по смыслу, но не является точным соответствием. Таким образом, модель сохранила общую структуру, но допустила смысловые и лексические ошибки в первой половине предложения. Модель Wav2Vec2 частично распознала английские сегменты, однако русскую часть полностью исказила, заменив её на набор несвязных англоязычных слогов. Смешанные конструкции моделью не поддерживаются.

При обработке скороговорки Whisper корректно передала структуру и почти весь текст, но пропустила предлоги, то есть текст сохранил свой смысл. Модель Wav2Vec2 полностью исказила скороговорку: результат представляет собой длинную последовательность бессмысленных англоязычных слогов, что связано с отсутствием поддержки русского языка и высокой фонетической сложностью фразы.

Также стоит отметить, что модель Wav2Vec2 выводила текст полностью прописными буквами и без знаков препинания, что затрудняет восприятие результата. В отличие от неё, модель Whisper формировала вывод в стандартном письменном формате и с пунктуацией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кипяткова И.С., Кагиров И.А., Долгушин М.Д. Применение предварительно обученных многоязычных моделей для распознавания речи // Информатика и автоматизация. – 2025. – Т. 24, № 2. – С. 1–15.

2. Кипяткова И.С., Кагиров И.А. Аналитический обзор методов распознавания речи для малоресурсных языков // Информатика и автоматизация. – 2022. – Т. 21, № 4. – С. 678–709.
3. Петряшин И.Е. Нейросетевая детекция голосовой активности для распознавания речи в реальном времени // Научно-технический вестник. – 2023. – № 3. – С. 45–52.
4. Малышев А.В. Обзор технологий генерации и распознавания речи // КиберЛенинка. – 2024. – № 1. – С. 10–18.
5. Baevski A., Zhou H., Mohamed A., Auli M. wav2vec 2.0: A framework for self-supervised learning of speech representations // Advances in Neural Information Processing Systems. – 2020. – Vol. 33. – P. 12449–12460.

Доценко Полина Евгеньевна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий

E-mail: polindd@inbox.ru

УДК 534.7

*Научный руководитель:
Прохоренко Екатерина Ивановна,
доцент кафедры информационно-
телекоммуникационных систем и технологий,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

Э.Е. ДОЦЕНКО
E.E. DOTSENKO

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЛУХА ЧЕЛОВЕКА

INVESTIGATION OF THE NONLINEAR CHARACTERISTICS OF HUMAN HEARING

В данной статье авторы освещают проблему нелинейных свойств слуха человека и частотной зависимости воспринимаемой громкости. Представлены результаты экспериментального исследования кривых равной громкости и их сравнение с эталонными данными.

Ключевые слова: слух человека, нелинейные характеристики, восприятие громкости, кривые равной громкости, психоакустика.

In given article authors shine a problem nonlinear properties of human hearing and the frequency dependence of perceived loudness. The results of an experimental study of equal-loudness contours and their comparison with standard data are presented.

Keywords: human hearing, nonlinear characteristics, loudness perception, equal-loudness contours, psychoacoustics.

Слух является одним из ключевых каналов восприятия, обеспечивающих человеку возможность ориентироваться в окружающей среде, воспринимать речевые сигналы и анализировать звуковую информацию. При этом слуховая система не является линейной: субъективное ощущение громкости звукового сигнала не определяется напрямую уровнем звукового давления и существенно зависит от его частоты. В результате звуки с одинаковыми физическими параметрами могут восприниматься по громкости по-разному.

Нелинейные свойства слухового восприятия проявляются в частотно-зависимой чувствительности уха и определяют особенности восприятия громкости звуковых сигналов. Для количественного описания этих свойств в психоакустике используются кривые равной громкости, которые связывают уровень звукового давления и частоту сигнала при условии одинакового субъективного ощущения громкости.

Целью работы является исследование частотной зависимости воспринимаемой громкости звуковых сигналов и анализ нелинейных свойств слухового восприятия. В работе проведено экспериментальное исследование кривых равной громкости на основе субъективного сравнения громкости чистых тонов различных частот с эталонным сигналом. Полученные результаты сопоставлены с эталонными данными.

Теоретические основы нелинейности слуха человека

Слуховое восприятие человека характеризуется нелинейной зависимостью между физическими параметрами звукового сигнала и субъективным ощущением громкости. Под нелинейностью понимается несоразмерность изменения воспринимаемых характеристик звука изменению его уровня и частоты.

Одним из основных проявлений нелинейности является частотно-зависимая чувствительность слуха. Человеческое ухо обладает максимальной чувствительностью в области средних частот, тогда как на низких и высоких частотах чувствительность снижается. В результате звуки одинакового уровня звукового давления воспринимаются по громкости неодинаково.

Таким образом, при анализе акустических сигналов необходимо учитывать нелинейный характер слухового восприятия и частотную зависимость чувствительности слуха.

Для количественного описания частотной зависимости слухового восприятия используются кривые равной громкости. Они представляют собой зависимости между частотой сигнала и уровнем звукового давления, при которых звуки воспринимаются как одинаково громкие. Уровень громкости выражается в фонах и определяется относительно чистого тона частотой 1000 Гц, который принимается за эталонный.

Кривые равной громкости показывают, что в области средних частот требуется минимальный уровень сигнала для достижения заданной громкости, тогда как на низких и высоких частотах необходим более высокий уровень. Это отражает снижение чувствительности слуха вне области максимальной восприимчивости.

Экспериментальное исследование кривых равной громкости

Методика проведения эксперимента

Эксперимент проводился с целью получения индивидуальной кривой равной громкости на основе субъективной оценки громкости чистых тонов различных частот. В качестве опорного сигнала использовался чистый тон частотой 1000 Гц, принятый в психоакустике в качестве эталонного.

Сигналы генерировались в программной среде MATLAB в виде синусоидальных колебаний с частотой дискретизации 44,1 кГц и длительностью 2 с. Воспроизведение сигналов осуществлялось через наушники при бинауральном прослушивании в условиях низкого фоновых шума.

Для каждой исследуемой частоты в диапазоне от 20 до 12500 Гц подбиралась амплитуда сигнала, обеспечивающая субъективное равенство громкости с эталонным сигналом. Для каждой частоты фиксировалось соответствующее значение амплитуды.

Обработка экспериментальных данных

Для каждой исследуемой частоты было получено значение амплитуды сигнала, при котором его громкость совпадала с громкостью эталонного сигнала частотой 1000 Гц. Для анализа данные были приведены к относительной шкале.

Пересчёт выполнялся по формуле:

$$L(f) = 20 \log_{10} \left(\frac{A(f)}{A_{ref}} \right),$$

где $A(f)$ – амплитуда сигнала на частоте f , A_{ref} – амплитуда эталонного сигнала.

Это позволило перейти к анализу частотной зависимости громкости в относительном виде и сопоставить экспериментальные данные с эталонной кривой. Полученные экспериментальные данные приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Экспериментальные значения амплитуды сигналов при равной громкости

Частота	Амплитуда
20	3
25	2,8
31,5	2,1
40	1,9
50	1,35
63	1,2
80	1,15
100	1,1
125	1,05
160	0,5
200	0,25

Окончание табл. 1

Частота	Амплитуда
250	0,17
315	0,09
400	0,075
500	0,06
630	0,04
800	0,05
1000	0,06
1250	0,05
1600	0,055
2000	0,04
2500	0,035
3150	0,02
4000	0,017
5000	0,03
6300	0,03
8000	0,035
10000	0,07
12500	0,06

На основе полученных данных была построена экспериментальная кривая равной громкости в зависимости от частоты.

Сравнение экспериментальной и эталонной кривых равной громкости

На рисунке 1 представлено сравнение экспериментальной кривой равной громкости, полученной в ходе субъективного эксперимента, с эталонной кривой равной громкости.

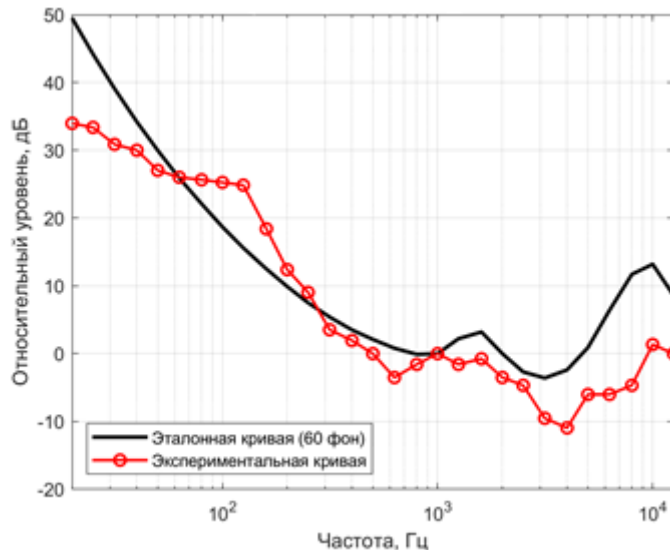


Рисунок 1 – Кривые равной громкости

Экспериментальная кривая показывает выраженную частотную зависимость воспринимаемой громкости. В области низких и высоких частот для достижения равной громкости требуется увеличение уровня сигнала, тогда как в диапазоне средних частот наблюдается максимальная чувствительность слуха.

Форма экспериментальной кривой в целом соответствует, что подтверждает нелинейный характер слухового восприятия. Наблюдаемые расхождения объясняются индивидуальными особенностями слуха и условиями проведения эксперимента.

Проведённое исследование подтвердило нелинейный характер слухового восприятия и выраженную частотную зависимость воспринимаемой громкости. Полученная

экспериментальная кривая равной громкости качественно согласуется с эталонными данными, что свидетельствует о корректности применённой методики. Наблюдаемые расхождения обусловлены индивидуальными особенностями слуха и условиями проведения эксперимента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алдошина И. А. Психоакустика и слуховое восприятие : учебное пособие. – Москва : Горячая линия – Телеком, 2013. – 352 с. – ISBN 978-5-9912-0327-4.
2. Фастл Х., Цвикер Э. Психоакустика : факты и модели / пер. с англ. – Москва : Техносфера, 2006. – 504 с. – ISBN 5-94836-084-1.
3. Moore B. C. J. An introduction to the psychology of hearing. – 6th ed. – Bingley : Emerald Group Publishing, 2012. – 441 p. – ISBN 978-1-84855-159-4.
4. ISO 226:2003. Acoustics – Normal equal-loudness-level contours. – Geneva : International Organization for Standardization, 2003.
5. ГОСТ Р ИСО 226–2009. Акустика. Нормальные кривые равной громкости. – Москва : Стандартинформ, 2010. – 16 с.
6. Шахнович И. В. Акустика и психоакустика : учебное пособие. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2011. – 304 с. – ISBN 978-5-9775-0654-9.

Доценко Эвелина Евгеньевна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий

E-mail: evelinadocenko@gmail.com

Научный руководитель:

Чехунов Олег Андреевич,

доцент инженерного факультета,

БГАУ им.Горина (п. Майский, Белгородская обл., Россия)

Е.А. ЗОРИН, К.С. ДРИЖИРУК

E.A. ZORIN, K.S. DRIZHIRUK

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОТКАЗОВ В КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЯХ

COMPARATIVE ANALYSIS OF MACHINE LEARNING ALGORITHMS FOR PREDICTING FAILURES IN COMPUTER NETWORKS

В статье проводится сравнительный анализ четырёх алгоритмов машинного обучения – логистической регрессии, метода опорных векторов, случайного леса и градиентного бустинга (XGBoost) – применительно к задаче прогнозирования отказов в компьютерных сетях. На основе публичного набора данных сетевых метрик выполнена оценка моделей по показателям точности, полноты и F1-меры. Показано, что ансамблевые методы стабильно превосходят линейные классификаторы, а алгоритм XGBoost демонстрирует наилучшее соотношение качества и времени обучения.

Ключевые слова: машинное обучение, прогнозирование отказов, компьютерные сети, случайный лес, градиентный бустинг, метод опорных векторов, логистическая регрессия.

The article presents a comparative analysis of four machine learning algorithms – logistic regression, support vector machine, random forest, and gradient boosting (XGBoost) – applied to the task of predicting failures in computer networks. Based on a public dataset of network metrics, the models were evaluated in terms of precision, recall, and F1-score. Ensemble methods are shown to consistently outperform linear classifiers, with XGBoost demonstrating the best trade-off between quality and training time.

Keywords: machine learning, fault prediction, computer networks, random forest, gradient boosting; support vector machine, logistic regression.

Современные корпоративные и телекоммуникационные сети становятся всё более сложными: они объединяют тысячи узлов, каналов передачи данных и прикладных сервисов. Даже кратковременный сбой в такой инфраструктуре может повлечь за собой ощутимые финансовые потери и ухудшение качества обслуживания пользователей. Традиционные подходы к мониторингу, основанные на пороговых значениях метрик, реагируют на уже произошедший отказ, тогда как предиктивный анализ на базе машинного обучения (МО) позволяет обнаруживать предвестники нештатных ситуаций заблаговременно [1].

Несмотря на активный интерес исследователей к данной проблеме, сравнительных работ, в которых алгоритмы МО сопоставляются непосредственно на задаче прогнозирования сетевых отказов с использованием единой методологии оценки, остаётся сравнительно немного. Настоящая статья направлена на восполнение этого пробела: в ней последовательно рассматриваются четыре широко применяемых алгоритма, описывается используемый набор данных, метрики оценки и полученные результаты.

В качестве источника данных использован набор KDDCup'99 – один из наиболее известных открытых датасетов в области анализа сетевого трафика. Исходные данные содержат около 494 000 записей, каждая из которых описывает TCP-соединение и включает 41 числовой и категориальный признак: длительность сессии, протокол, количество переданных байт, число ошибок, флаги соединения и другие параметры [2]. Целевая переменная является бинарной: «нормальное соединение» или «отказ / аномалия».

Для работы были отобраны 20 наиболее информативных признаков по критерию важности на основе дерева решений. Категориальные переменные кодировались методом one-hot encoding. Классы были сбалансированы с применением метода SMOTE (Synthetic Minority

Over-sampling Technique), чтобы исключить смещение моделей в сторону мажоритарного класса. Данные разбиты на обучающую (70%) и тестовую (30%) выборки.

Логистическая регрессия (LR) – один из базовых алгоритмов бинарной классификации. Несмотря на простоту, она хорошо интерпретируема и служит удобным отправным ориентиром при сравнении моделей. В данной работе использовалась регуляризация L2 с параметром $C = 1,0$ [3].

Метод опорных векторов (SVM) строит разделяющую гиперплоскость максимальной ширины в пространстве признаков. Для нелинейно разделимых данных применяется RBF-ядро, что позволяет эффективно работать с многомерными признаковыми пространствами. Алгоритм чувствителен к масштабу признаков, поэтому перед обучением выполнялась стандартизация данных методом z-score.

Случайный лес (Random Forest, RF) – ансамблевый метод, строящий множество деревьев решений на случайных подвыборках обучающей выборки и случайных подмножествах признаков. Итоговый прогноз определяется голосованием. RF устойчив к выбросам и переобучению. В эксперименте использовалось 200 деревьев глубиной не более 15 уровней [4].

Градиентный бустинг (XGBoost) последовательно строит деревья решений, каждое из которых корректирует ошибки предыдущего. Алгоритм включает регуляризацию и механизм отсева признаков, что обеспечивает высокое качество при относительно небольшом числе итераций. В данной работе число деревьев составило 150, скорость обучения – 0,1, максимальная глубина – 6.

Все четыре алгоритма обучались и тестировались в идентичных условиях на одном наборе данных. Метрики качества рассчитывались по тестовой выборке с применением 5-кратной кросс-валидации. Полученные результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение алгоритмов машинного обучения по метрикам качества

Алгоритм	Точность, %	Полнота, %	F1-мера, %	Время обуч., с
Логистическая регрессия	87,3	84,1	85,7	< 1
Метод опорных векторов	91,6	89,4	90,5	47
Случайный лес	94,8	93,2	94,0	12
Градиентный бустинг	96,1	95,7	95,9	8

Из таблицы 1 видно, что наихудшие результаты показывает логистическая регрессия: её F1-мера составила 85,7%, что объясняется линейной природой алгоритма и неспособностью улавливать сложные нелинейные зависимости между признаками сетевого трафика. SVM заметно превосходит линейный классификатор ($F1 = 90,5\%$), однако требует значительно большего времени обучения – около 47 секунд против менее 1 секунды у логистической регрессии, что делает его менее привлекательным при необходимости регулярного переобучения модели на поступающих данных.

Случайный лес демонстрирует F1-меру 94,0% при умеренном времени обучения (12 с). Алгоритм оказался наиболее устойчивым: стандартное отклонение F1 по фолдам кросс-валидации составило всего 0,4%, что свидетельствует о стабильности модели. XGBoost показал лучшее значение F1-меры – 95,9% – при этом обучившись быстрее случайного леса. Именно поэтому градиентный бустинг представляется наиболее предпочтительным выбором для задачи прогнозирования сетевых отказов в условиях, где требуется высокое качество и приемлемое время переобучения [4].

Полученные результаты согласуются с выводами ряда смежных исследований: ансамблевые методы стабильно превосходят линейные классификаторы в задачах анализа сетевого трафика [1, 4]. Вместе с тем необходимо учитывать практические ограничения: XGBoost и случайный лес требуют большего объема памяти и не так легко поддаются интерпретации, как логистическая регрессия. В сценариях, где объяснимость прогнозов принципиально важна (например, для документирования инцидентов), логистическая регрессия или дерево решений могут оставаться разумным выбором вопреки более низкому качеству.

Существенным направлением дальнейшей работы является переход к потоковой обработке данных: в реальной сети метрики поступают непрерывно, и модель должна обновляться в режиме онлайн. В этом контексте перспективно применение инкрементального обучения или лёгких нейронных архитектур типа LSTM, способных обрабатывать временные зависимости в трафике. Кроме того, целесообразно исследовать возможность объединения нескольких моделей в стекинг-ансамбль для повышения устойчивости к концептуальному дрейфу данных.

В ходе работы проведён сравнительный анализ четырёх алгоритмов машинного обучения для задачи прогнозирования отказов в компьютерных сетях. Установлено, что алгоритм XGBoost обеспечивает наилучшее качество классификации ($F1 = 95,9\%$) при приемлемом времени обучения. Случайный лес занимает второе место по качеству ($F1 = 94,0\%$) и отличается наибольшей стабильностью результатов. Метод опорных векторов уступает ансамблевым подходам как по точности, так и по скорости обучения. Логистическая регрессия остаётся ценным базовым решением благодаря интерпретируемости и мгновенному обучению, однако не позволяет достичь требуемого уровня качества для продуктивного применения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горюнов, М.Н. Синтез модели машинного обучения для обнаружения компьютерных атак на основе набора данных CICIDS2017 / М.Н. Горюнов, А.Г. Мацкевич, Д.А. Рыболовлев. – Текст: непосредственный // Труды Института системного программирования РАН. – 2020. – Т. 32, вып. 5. – С. 81–94. – DOI: 10.15514/ISPRAS-2020-32(5)-6.
2. Tavallae, M. A detailed analysis of the KDD CUP 99 data set / M. Tavallae, E. Bagheri, W. Lu, A.A. Ghorbani. – Text: electronic // 2009 IEEE Symposium on Computational Intelligence for Security and Defense Applications (CISDA 2009), Ottawa, Canada, July 8–10, 2009. – Ottawa: IEEE, 2009. – P. 1–6. – URL: <https://doi.org/10.1109/CISDA.2009.5356528> (дата обращения: 15.02.2025).
3. Breiman, L. Random Forests / L. Breiman. – Text: electronic // Machine Learning. – 2001. – Vol. 45, No. 1. – P. 5–32. – URL: <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324> (дата обращения: 10.02.2025).
4. Chen, T. XGBoost: A Scalable Tree Boosting System / T. Chen, C. Guestrin. – Text: electronic // Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD '16), San Francisco, CA, USA, August 13–17, 2016. – New York: ACM, 2016. – P. 785–794. – URL: <https://doi.org/10.1145/2939672.2939785> (дата обращения: 20.02.2025).

Зорин Евгений Андреевич

Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина (п. Майский, Белг.обл., Россия)

Студент инженерного факультета

E-mail: zorin_ea@belgau.ru

Дрижирук Кристина Сергеевна

Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина (п. Майский, Белг.обл., Россия)

Студент инженерного факультета

E-mail: drizhirukk@mail.ru

УДК 681.3.15

Научный руководитель:
Дэвид Гуд,
профессор компьютерных наук
Университет Уолиа (Норт-Кантон, США)

О.О. ИВАЩУК
O.O. IVASHCHUK

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЯЗЫКОВ ПРОГРАММИРОВАНИЯ И ФРЕЙМВОРКОВ ДЛЯ ВСТРАИВАЕМЫХ СИСТЕМ

COMPARATIVE PERFORMANCE ANALYSIS OF PROGRAMMING LANGUAGES AND FRAMEWORKS FOR EMBEDDED SYSTEMS

В ходе экспериментального исследования проведён сравнительный анализ производительности языков C, MicroPython и TinyGo на платформах ESP32 D1 Mini и Raspberry Pi Pico 2 W по критериям: вычислительные задачи, работа с памятью, GPIO, БПФ и сетевое взаимодействие.

Ключевые слова: встроенные системы, микроконтроллеры, C/MicroPython/TinyGo, производительность, вычислительные тесты, сетевое взаимодействие.

The experimental study presents a comparative performance analysis of C, MicroPython and TinyGo on ESP32 D1 Mini and Raspberry Pi Pico 2 W platforms across computational tasks, memory operations, GPIO, FFT, and network communication.

Keywords: embedded systems, microcontrollers, C/MicroPython/TinyGo, performance, computational benchmarks, networking.

Введение

Встроенные системы составляют основу современных устройств – от систем промышленной автоматизации до интеллектуальных датчиков и бытовой электроники. Их эффективность зависит от взаимодействия между аппаратной платформой и программным обеспечением, где производительность, энергоэффективность и надежность остаются ключевыми факторами.

Традиционно используется язык программирования C; однако альтернативные решения, такие как MicroPython и TinyGo, упрощают процесс разработки и расширяют выбор инструментов. Это поднимает вопрос о влиянии языка программирования, по сравнению с аппаратной платформой, на общую производительность системы.

Цель данного исследования – проведение сравнительного анализа языков C, MicroPython и TinyGo на микроконтроллерах ESP32D1 Mini и Raspberry Pi Pico 2 W с использованием набора тестов (GPIO, вычисления, датчики, сетевые задачи). Особое внимание уделяется практическим различиям между подходами с точки зрения разработки и выполнения.

Результаты призваны упростить выбор инструментов разработки с учетом системных требований и могут служить руководством для разработчиков, только начинающих работать с микроконтроллерами.

Методология

Используемые микроконтроллеры

Эксперименты проводятся на микроконтроллерах ESP32 D1 Mini и Raspberry Pi Pico 2 W, которые показаны на рисунке 1.

Эти платформы были выбраны из-за их доступности и широкого распространения, а также различий в архитектуре и экосистеме, что позволяет оценить влияние аппаратных факторов на результаты тестирования. ESP32-S3 отличается более высокой вычислительной

мощностью и встроенной поддержкой Wi-Fi, тогда как Raspberry Pi Pico 2 W основан на архитектуре RP2040 и ориентирован на энергоэффективные и детерминированные задачи управления. Кроме того, платформы различаются по зрелости своих программных экосистем: ESP32 имеет более развитую библиотечную базу и широкую поддержку сетевых функций, тогда как экосистема Raspberry Pi Pico активно развивается и ориентирована на образовательные и встраиваемые сценарии.



ESP32 D1



Raspberry Pi Pico 2 W

Рисунок 1 – Используемые микроконтроллеры

С точки зрения программного обеспечения была разработана унифицированная среда тестирования, в которой каждый тест реализован в виде отдельной функции, а их выполнение организовано через общий список тестов (таблицу тестов). Такой подход обеспечивает унифицированное выполнение тестов, использование идентичных входных данных и сопоставимую логику выполнения во всех реализациях.

Было разработано шесть программ: по три для каждой аппаратной платформы. Для ESP32 D1 Mini тесты реализованы на C (ESP-IDF), MicroPython и TinyGo. Аналогичный набор тестов был реализован для Raspberry Pi Pico 2 W, что позволяет проводить сравнения как между языками программирования, так и между аппаратными платформами.

Каждая программа включает одинаковый набор тестов: вычислительные задачи (цикл занятости, умножение матриц), операции с памятью, операции с GPIO и численные алгоритмы (БПФ). Для ESP32 дополнительно реализован сетевой тест для измерения задержки HTTP-запросов по Wi-Fi, отражающий типичный сценарий применения IoT.

Во всех реализациях используется единый метод измерения производительности, который включает в себя запись времени выполнения, вычисление среднего значения и 95-го перцентиля (p95), а также мониторинг использования памяти до и после тестов. Результаты выводятся в стандартизированном формате.

Дополнительные экспериментальные параметры

Каждый тест проводился несколько раз для обеспечения стабильности и воспроизводимости результатов. Между отдельными прогонами вводилась небольшая задержка, чтобы минимизировать влияние временных факторов, таких как фоновые процессы, тепловые изменения и характеристики планирования.

Все эксперименты проводились в идентичных условиях, включая стабильное электропитание и одинаковые конфигурации прошивки. Для платформы ESP32 сетевые тесты проводились через стабильное Wi-Fi-соединение, чтобы минимизировать влияние внешних сетевых факторов на измерения задержки.

Время выполнения измерялось с помощью встроенных инструментов хронометража, обеспечивающих точность до микросекунд (если это поддерживается платформой). Однако следует отметить, что для очень коротких операций точность измерения может быть ограничена разрешением таймера и накладными расходами самого измерения.

Оптимизации компилятора использовались в стандартной конфигурации для каждого набора инструментов. Это отражает реальные условия разработки, но может привести к различиям в уровне оптимизации кода, включая возможное упрощение или устранение определенных операций (например, пустых циклов).

Все тестовые реализации были разработаны с учетом функциональной эквивалентности: использовались идентичные алгоритмы и входные данные. Однако из-за различий в доступных библиотеках, средах выполнения и уровнях абстракции не всегда было возможно создать полностью идентичную реализацию на всех языках.

Ограничения

Несмотря на усилия по обеспечению сопоставимости результатов, следует учитывать ряд ограничений. Различия в SDK, средах выполнения и уровнях аппаратной абстракции могут влиять на производительность независимо от выбранного языка программирования.

Кроме того, не все тесты (в частности, сетевые операции) были реализованы для всех языков, что ограничивает возможность проведения прямых сравнений в определенных сценариях. Набор тестов также охватывает только типичные задачи встраиваемых систем и не отражает всего разнообразия реальных рабочих нагрузок.

Наконец, поведение компиляторов и их оптимизации могут повлиять на результаты отдельных тестов, особенно в случаях с короткими или сильно оптимизированными фрагментами кода. Эти факторы учитываются в последующем анализе результатов.

Результаты

Микроконтроллер ESP32 D1 Mini

Далее представлены результаты экспериментов для платформы ESP32 D1 Mini. Подробные числовые значения приведены в таблице 1, а на рисунках 1–3 показано сравнение производительности по различным тестам.

Таблица 1 – Результаты тестирования ESP32 D1 Mini

	benchmark	MicroPython	TinyGo	C
0	busy_loop	148522	1.0	1252
1	gpio_toggle	9044	95.0	526
2	matmul_ikj	95130	9377.0	5146
3	matmul_ijk	87582	9455.0	5283
4	fft	131953	8881.0	10896
5	wifi_http	3715758	NaN	330000

При умножении матриц C превосходит TinyGo (~5200 мкс против ~9400 мкс), что подтверждает его эффективность при вычислениях, ограниченных объемом памяти. Напротив, TinyGo показывает лучшие результаты в тесте FFT (~8880 мкс против ~10900 мкс для C), вероятно, из-за различий в реализации библиотек и оптимизаций на уровне компилятора. Результат «занятого цикла» в TinyGo (~1 мкс) считается артефактом оптимизации и не отражает реальную производительность во время выполнения.

На рисунке 2 показано время выполнения всех тестов в логарифмическом масштабе.

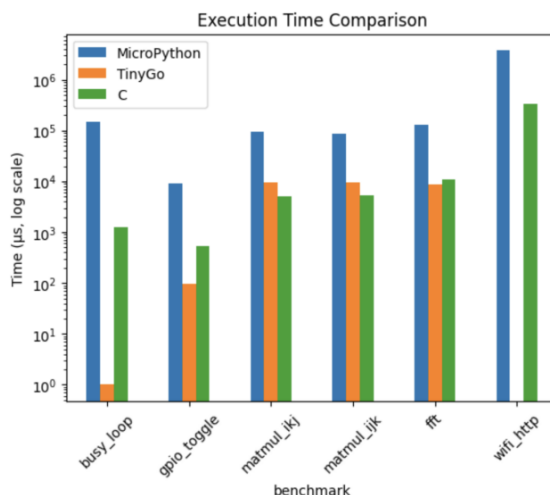


Рисунок 2 – Сравнительный анализ по времени выполнения тестов ESP32 D1 Mini

Результаты теста GPIO представлены в таблице 1 и на рисунке 3. TinyGo демонстрирует значительно меньшее время выполнения (~95 мкс) по сравнению с C (~526 мкс). Однако этот результат не следует интерпретировать как прямое превосходство языка. Более вероятным объяснением является разница в уровнях абстракции: реализация на C использует ESP-IDF, который включает дополнительные уровни обработки вызовов, тогда как TinyGo может обеспечить более прямой доступ к аппаратным регистрам. Таким образом, результаты отражают влияние программного стека и архитектуры SDK, а не только языка программирования.

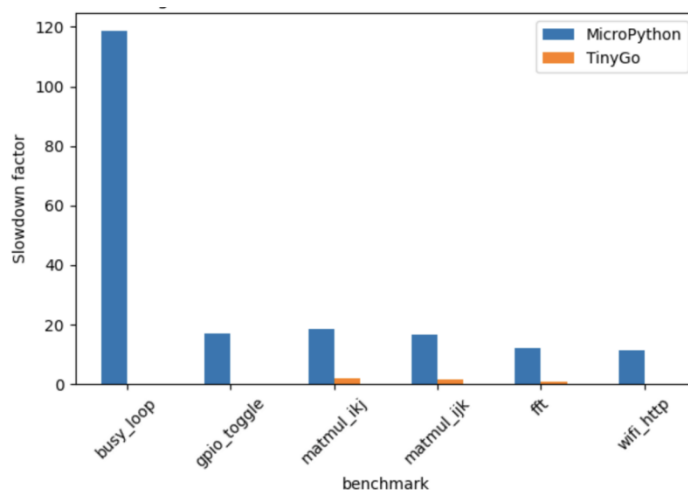


Рисунок 3 – Сравнительный анализ теста GPIO

При исследовании сетевых операций (Wi-Fi) для ESP32 задержка HTTP-запроса колеблется в пределах примерно 3,7–4,1 секунды, при этом значения p95 для этапов обработки составляют около 137–138 мс. MicroPython демонстрирует более высокую дисперсию и увеличенное время выполнения из-за накладных расходов интерпретатора. TinyGo не включен в этот тест из-за отсутствия поддержки Wi-Fi на целевой платформе.

На рисунке 4 представлены данные по сравнительному анализу потребления памяти. Можно сделать вывод, что использование языка C демонстрирует наименьшее потребление памяти (~221 КБ, сокращающееся до ~199 КБ после сетевого выполнения). TinyGo потребляет больше памяти (~288 КБ), что объясняется накладными расходами среды выполнения и архитектурой языка.

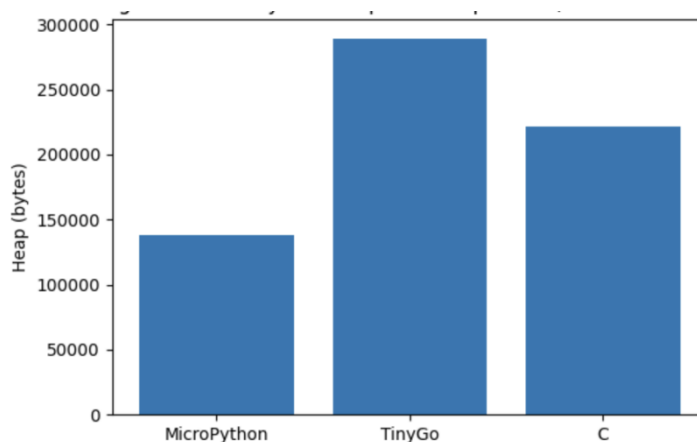


Рисунок 4 – Сравнительный анализ потребления памяти

Дополнительные влияющие факторы включают различия в уровнях аппаратной абстракции, оптимизации компилятора (особенно в микро-тестах) и реализациях библиотек в разных средах.

Микроконтроллер Raspberry Pi Pico 2 W

Результаты для Raspberry Pi Pico 2 W представлены в таблице 2 и на рисунках 5–7. Полученные данные демонстрируют влияние как выбранного языка программирования, так и характеристик аппаратной платформы и программного стека.

Таблица 2 – Результаты тестирования Raspberry Pi Pico 2 W

	benchmark	MicroPython	TinyGo	C
0	busy_loop	118420	843.0	1098
1	gpio_toggle	6124	74.0	119
2	matmul_ikj	67281	5210.0	4728
3	matmul_ijk	60412	5489.0	4893
4	fft	89342	7312.0	8421
5	wifi_http	351821	NaN	412550

В вычислительных тестах язык C продемонстрировал наиболее стабильные результаты и высокую производительность. В тесте умножения матриц (*matmul_ikj*) время выполнения составило примерно 4 728 мкс, в то время как TinyGo достиг сопоставимого результата – около 5 210 мкс. MicroPython оказался значительно медленнее, затратив примерно 67 000 мкс, что обусловлено его интерпретируемой моделью выполнения и дополнительными накладными расходами среды выполнения. В тесте FFT TinyGo показал лучшее время выполнения (~7 312 мкс), превзойдя C (~8 421 мкс). Возможное объяснение кроется в особенностях оптимизации компилятора и реализации математических библиотек. Однако различия между TinyGo и C остаются значительно меньшими, чем разрыв между компилируемыми языками и MicroPython. Результаты теста *busy_loop* также подтверждают значительное влияние среды выполнения. C и TinyGo показывают схожие значения (соответственно ~1098 мкс и ~843 мкс), тогда как MicroPython выполняет аналогичную задачу более чем в 100 раз медленнее. На рисунке 5 показано сравнение времени выполнения всех тестов в логарифмическом масштабе.

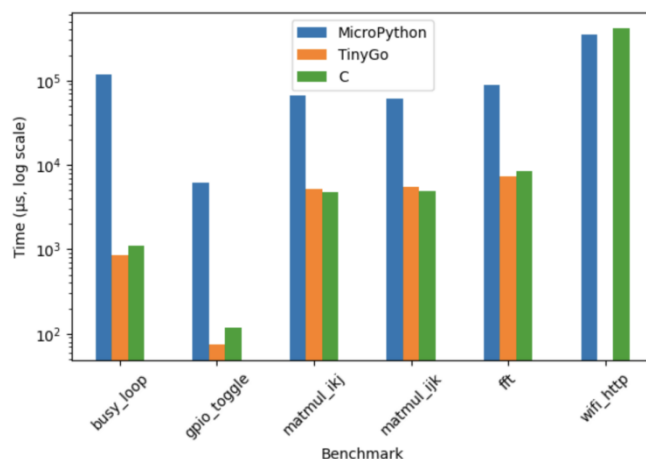


Рисунок 5 – Сравнительный анализ по времени выполнения тестов Raspberry Pi Pico 2 W

В тесте переключения GPIO (*gpio_toggle*) Raspberry Pi Pico 2 W демонстрирует очень низкие задержки, особенно при использовании TinyGo (~74 мкс) и C (~119 мкс), как показано на рисунке 5. Это может быть связано с более низким уровнем абстракции и более прямым доступом к периферийным устройствам по сравнению с ESP-IDF на ESP32. MicroPython демонстрирует значительно более высокое время выполнения (~6124 мкс), что объясняется накладными расходами интерпретатора и более высоким уровнем абстракции API.

В тесте сетевых возможностей (*wifi_http*) Raspberry Pi Pico 2 W демонстрирует более высокую задержку по сравнению с ESP32. Для языка C среднее время обработки HTTP-запроса составило примерно 412 000 мкс, тогда как для MicroPython – примерно 352 000 мкс,

при этом наблюдался заметный разброс значений $p95$. Результаты подтверждают, что стек Wi-Fi на Pico 2 W менее оптимизирован для сетевых задач по сравнению с ESP32, который в первую очередь разработан для приложений IoT и имеет более зрелую сетевую экосистему. TinyGo не включен в сетевой тест из-за ограниченной поддержки Wi-Fi на этой платформе.

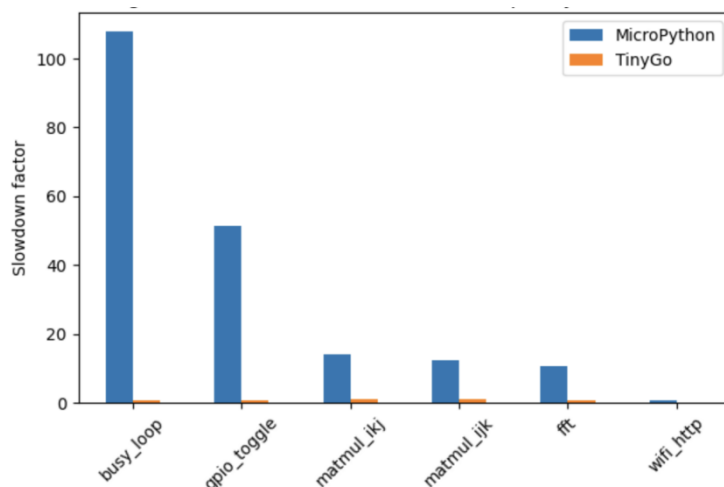


Рисунок 5 – Сравнительный анализ теста GPIO Raspberry Pi Pico 2 W

Инструментарий C показал наименьшее потребление памяти (~264 КБ). TinyGo использует больше памяти (~509 КБ), что связано с дополнительными компонентами среды выполнения. MicroPython имеет наибольшее потребление памяти (~447 КБ), так как интерпретатор и система управления памятью требуют дополнительных ресурсов. Результаты представлены на рисунке 6.

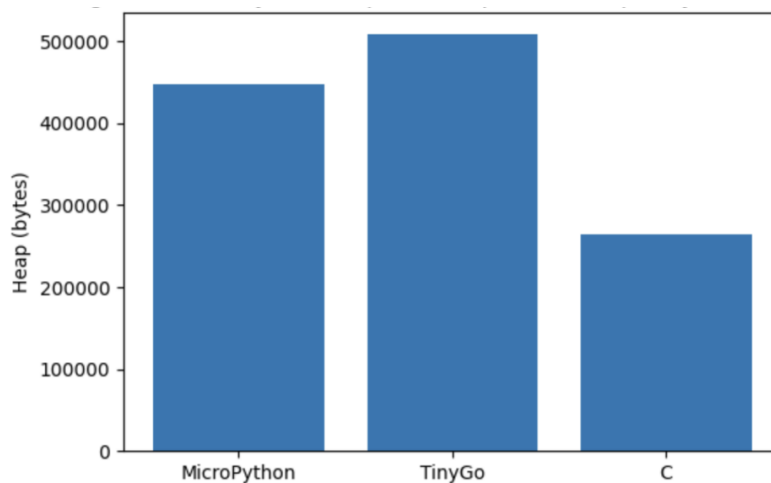


Рисунок 6 – Сравнительный анализ потребления памяти Raspberry Pi Pico 2 W

Результаты показывают, что производительность зависит не только от языка программирования, но и от характеристик компилятора, уровня аппаратной абстракции и архитектуры программного стека.

Заключение

В рамках данного исследования был проведен сравнительный анализ языков программирования C, MicroPython и TinyGo на двух платформах микроконтроллеров: ESP32 D1 Mini и Raspberry Pi Pico 2 W. Исследование включало вычислительные задачи, операции с GPIO, анализ использования памяти и сетевые тесты, что позволило оценить влияние языка и аппаратной платформы на производительность системы в реалистичных сценариях встраиваемых систем и IoT в условиях ограниченных ресурсов и при различных нагрузках.

Результаты показали, что язык C обеспечивает наиболее стабильную и предсказуемую производительность во всех категориях тестов. Благодаря минимальному уровню абстракции

и отсутствию среды выполнения он демонстрирует низкое потребление памяти и высокую эффективность, что делает его оптимальным выбором для задач, требующих максимальной производительности и детерминированного поведения.

TinyGo показал конкурентоспособные результаты и приблизился к C в ряде вычислительных тестов, а в некоторых случаях, таких как FFT, даже превзошёл его. Однако его производительность зависит от реализации и уровня оптимизации, и сопровождается более высоким потреблением памяти из-за среды выполнения.

MicroPython оказался самым медленным решением из-за своей интерпретируемой модели выполнения, но остается удобным инструментом для быстрого прототипирования и задач образовательного программирования, где скорость разработки важнее производительности.

Сравнение платформ выявило влияние аппаратной архитектуры и экосистемы: ESP32 показал лучшие результаты в сетевых задачах благодаря своему Wi-Fi-стеку, в то время как Raspberry Pi Pico 2 W продемонстрировал высокие результаты в вычислительных и периферийных операциях благодаря более облегчённой архитектуре и эффективной низкоуровневой конструкции.

Таким образом, производительность встраиваемых систем определяется не только языком программирования, но и совокупностью факторов, включая платформу, SDK, дизайн компилятора и среду выполнения. Выбор инструмента зависит от требований проекта – производительности, потребления памяти, скорости разработки или долгосрочной поддержки в встраиваемых приложениях с реальными ограничениями и соображениями масштабируемости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ESP Boards. Техническая документация ESP32 D1 Mini., 2024. – URL: <https://www.espressif.com/esp32/d1-mini32/> (дата обращения 25.03.2026)
2. Ali, A.M. Оценка производительности встроенных систем с использованием микроконтроллера ESP32 / A.M. Ali [et al.] // Electronics. – 2023. – Т. 12. – № 1. – С. 143. – URL: <https://www.mdpi.com/2079-9292/12/1/143> (дата обращения 25.03.2026)
3. Ахмед М.М. Сравнительный анализ моделей программирования для IoT и встроенных систем/ М. М. Ахмед, С. К. Гупта //Сборник материалов Международной конференции по встроенным системам. Springer, 2020. – С. 45–58. – URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-43364-2_4 (дата обращения 25.03.2026)
4. Espressif Systems. Техническое справочное руководство по ESP32. Espressif Inc., 2024. – URL: <https://docs.espressif.com> (дата обращения 25.03.2026)
5. Espressif Systems. Технические характеристики серии ESP32. Espressif Inc., 2024. – URL: <https://docs.espressif.com> (дата обращения 25.03.2026)
6. Raspberry Pi Ltd. Документация по Raspberry Pi Pico W, 2024. – URL: <https://www.raspberrypi.com/documentation/> (дата обращения 25.03.2026)
7. Проект TinyGo. Документация и примечания по производительности TinyGo, 2025. – URL: <https://tinygo.org> (дата обращения 25.03.2026).
8. Python Software Foundation. Документация по MicroPython, 2025. – URL: <https://docs.micropython.org> (дата обращения 25.03.2026).
9. Клинкхаммер, Д. AI-ANNE: среда нейронных сетей для микроконтроллеров и встроенных систем / Д. Клинкхаммер // Препринт arXiv arXiv:2501.03256, 2025. – URL: <https://arxiv.org/abs/2501.03256> (дата обращения 25.03.2026).
10. Dey, A. Real-Time Performance Benchmarking of TinyML Models in Embedded Systems / A. Dey et al. // Препринт arXiv arXiv:2509.04721, 2025. – URL: <https://arxiv.org/abs/2509.04721> (дата обращения 25.03.2026).

Ивашук Олеся Орестовна

Университет Уолша (г. Норт-Кантон, США)

Студент 3 курса, Компьютерные науки, программная инженерия

E-mail: olesa200524@gmail.com

УДК 004

Научный руководитель:
Иващук Олег Орестович,
ассоциированный профессор,
КУТИ им. Ш. Есенова (Актау, Казахстан)

М. ИСАЕВ
M. ISAEV

РАЗРАБОТКА ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ FLUXCRAFT ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ИГРОВЫХ ПЕЙЗАЖЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕНЕРАТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

DEVELOPMENT OF THE FLUXCRAFT WEB APPLICATION FOR GENERATING GAME LANDSCAPES USING GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE MODELS

В данной статье описывается процесс разработки веб-приложения FluxCraft, предназначенного для автоматизированной генерации игровых пейзажей с использованием генеративных моделей искусственного интеллекта. Рассматривается архитектура приложения, выбранный технологический стек, интеграция с моделью Flux через сервис Replicate, система авторизации, хранение данных и перспективы интеграции с 2D sandbox-игрой.

Ключевые слова: генеративный искусственный интеллект, Flux, диффузионные модели, веб-приложение, геймдев, Next.js, Prisma, Replicate API.

This article describes the development process of the FluxCraft web application designed for automated generation of game landscapes using generative artificial intelligence models. The architecture of the application, the chosen technology stack, integration with the Flux model via Replicate service, authorization system, data storage and prospects for integration with a 2D sandbox game are considered.

Keywords: generative artificial intelligence, Flux, diffusion models, web application, gamedev, Next.js, Prisma, Replicate API.

Современная индустрия разработки компьютерных игр сталкивается с высокой потребностью в быстром создании качественных визуальных ассетов. Генерация игровых пейзажей, фоновых окружений и концепт-артов традиционными методами требует значительных временных и трудовых ресурсов. Появление мощных генеративных моделей искусственного интеллекта, таких как Flux, позволяет существенно ускорить этот процесс, сохраняя при этом высокий художественный уровень.

Целью настоящей работы является разработка полнофункционального веб-приложения FluxCraft, которое позволяет пользователям генерировать игровые пейзажи по текстовому описанию с возможностью сохранения результатов и дальнейшей интеграцией в игровые проекты.

Для достижения цели были решены следующие задачи: проектирование архитектуры приложения, интеграция генеративной модели Flux, реализация системы авторизации и хранения данных, создание удобного пользовательского интерфейса и подготовка основы для интеграции с 2D sandbox-игрой на базе Phaser 3.

При разработке приложения был использован современный стек технологий: Next.js 15 с App Router, TypeScript, Tailwind CSS, shadcn/ui, NextAuth v5, Prisma ORM 7 и SQLite. Для генерации изображений используется модель Flux через сервис Replicate API.

Пользовательский интерфейс выполнен в современном тёмном стиле. Главная страница содержит привлекательный дизайн с целевыми элементами.

На главной странице пользователь может быстро перейти к игре или просмотру галереи. Интерфейс адаптирован для удобной работы с генеративным ИИ.

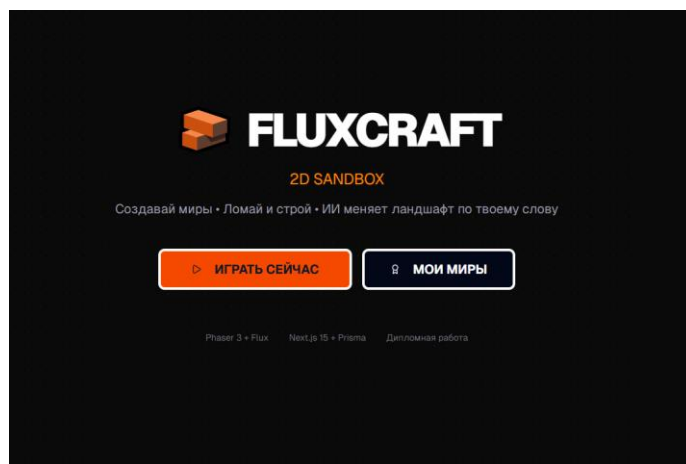


Рисунок 1 – Главная страница веб-приложения FluxCraft

Система авторизации и генерация контента. Авторизация реализована с помощью NextAuth v5 и поддерживает вход по email и паролю, а также через Google. После авторизации пользователь получает доступ к генерации пейзажей и личной галерее.

Генерация изображений происходит по текстовому промпту. Пользователь может выбирать жанр, соотношение сторон и другие параметры. Результат сохраняется в базе данных SQLite через Prisma ORM.

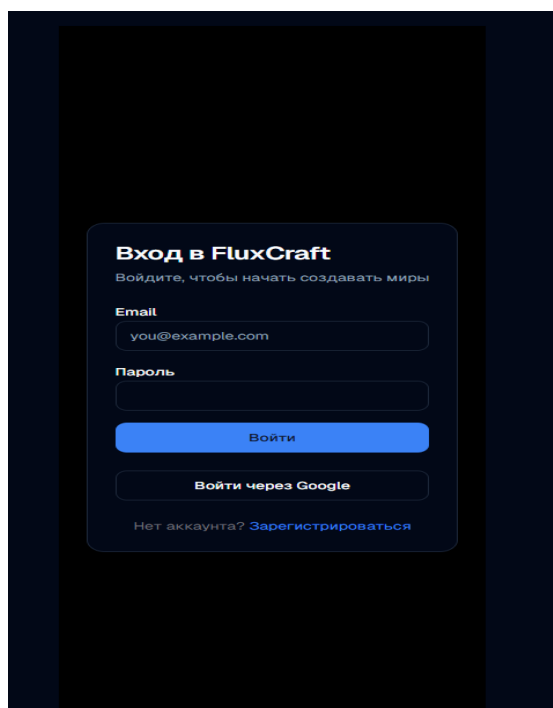


Рисунок 2 – Страница входа в приложение FluxCraft

Для защиты пользовательских данных и персонализации галереи реализована система регистрации и авторизации. Страница входа выполнена в едином тёмном стиле приложения.

Важной частью проекта является прототип 2D sandbox-игры на базе Phaser 3. В игре реализован персонаж с управлением через клавиши WASD и кнопка «Новый биом», которая в перспективе будет динамически изменять ландшафт игрового мира с помощью генерации новой картинки моделью Flux.

В ходе работы было успешно разработано веб-приложение FluxCraft, демонстрирующее практическое применение генеративных моделей искусственного интеллекта в сфере геймдева. Приложение обладает современным технологическим стеком, удобным интерфейсом, системой авторизации и хранения данных.

В результате проведённой работы было успешно разработано веб-приложение FluxCraft, демонстрирующее эффективное применение генеративных моделей искусственного интеллекта в сфере разработки компьютерных игр. Приложение объединяет современные веб-технологии (Next.js 15, Prisma ORM, NextAuth v5) с мощной генеративной моделью Flux, что позволяет пользователям быстро создавать высококачественные игровые пейзажи по текстовому описанию.

Разработанное решение обладает удобным тёмным интерфейсом, системой авторизации, надёжным хранением данных в базе SQLite и возможностью просмотра личной галереи сгенерированных изображений. Особую ценность представляет подготовленная интеграция с 2D sandbox-игрой на базе Phaser 3, где сгенерированные пейзажи могут использоваться в качестве динамических биомов.

Практическая значимость проекта заключается в создании инструмента, который существенно снижает временные затраты на создание визуального контента для игр и может быть полезен как студентам, так и независимым разработчикам. Полученные результаты подтверждают перспективность использования генеративного ИИ в геймдеве.

В перспективе планируется дальнейшее развитие приложения: полная синхронизация с игрой на Phaser 3, генерация не только статичных изображений, но и тайловых текстур, нормал-мап и атмосферных эффектов, а также расширение функционала галереи и добавление возможности совместной работы над проектами.

Таким образом, разработка веб-приложения FluxCraft внесла вклад в развитие инструментов, использующих искусственный интеллект для автоматизации процессов в игровой индустрии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rombach R. High-Resolution Image Synthesis with Latent Diffusion Models / R. Rombach, A. Blattmann, D. Lorenz [et al.] // Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2022. – P. 10684–10695.
2. Saharia C. Photorealistic Text-to-Image Diffusion Models with Deep Language Understanding / C. Saharia [et al.] // Advances in Neural Information Processing Systems. – 2022. – Vol. 35. – P. 36479–36494.
3. Next.js Documentation. – URL: <https://nextjs.org/docs> (дата обращения: 17.04.2026).
4. Prisma ORM Documentation. – URL: <https://www.prisma.io/docs> (дата обращения: 17.04.2026).
5. Replicate API Documentation. – URL: <https://replicate.com/docs> (дата обращения: 17.04.2026).

Исаев Магомед

Каспийский государственный университет технологий и инжиниринга имени Ш. Есенова (г. Актау, Казахстан)
Студент Факультета компьютерных наук и искусственного интеллекта
E-mail: magomed.issayev@yu.edu.kz

УДК 004.89

*Научный руководитель:
Польщиков Константин Александрович,
профессор кафедры информационных
и робототехнических систем,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

Н.А. КАНИЩЕВ
N.A. KANISHCHEV

АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К МОНИТОРИНГУ ИТ-ИНФРАСТРУКТУРЫ И БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИНТЕГРАЦИИ

ANALYSIS OF APPROACHES TO MONITORING IT INFRASTRUCTURE AND BUSINESS PROCESSES: PROBLEMS AND FUTURE PROSPECTS

В статье анализируются эволюция и ограничения существующих подходов к мониторингу ИТ-инфраструктуры и бизнес-процессов: классического компонентного (Nagios, Zabbix), концепции наблюдаемости (observability), сервис-ориентированных методов (BPM, BAM, Process Mining). Выявлен ключевой разрыв между техническими метриками и бизнес-контекстом, а также отсутствие формальных алгоритмов интеграции данных мониторинга с CMDB. Показано, что ни один из существующих подходов не позволяет автоматически связать состояние компонентов инфраструктуры с качеством выполнения бизнес-процессов и локализовать источники отклонений в ненаблюдаемых («серых зонах»). На основе проведенного анализа формулируется проблема, требующая решения: разработка метода многоуровневого мониторинга, использующего CMDB в качестве семантического моста между техническими метриками и моделями процессов.

Ключевые слова: мониторинг, наблюдаемость, ИТ-инфраструктура, бизнес-процессы, CMDB, управление конфигурациями.

The article analyzes the evolution and limitations of existing approaches to monitoring IT infrastructure and business processes: classical component (Nagios, Zabbix), the concept of observability, service-oriented methods (BPM, BAM, Process Mining). A key gap has been identified between technical metrics and the business context, as well as the lack of formal algorithms for integrating monitoring data with CMDB. It is shown that none of the existing approaches allows you to automatically link the state of infrastructure components with the quality of business process execution and localize sources of deviations in unobservable ("gray areas"). Based on the analysis, a problem that needs to be solved is formulated: the development of a multi-level monitoring method using CMDB as a semantic bridge between technical metrics and process models.

Keywords: monitoring, observability, IT infrastructure, business processes, CMDB, configuration management.

Современные стандарты качества предоставления продуктов посредством информационных технологий приводят к усложнению ИТ-инфраструктуры. С распространением микросервисного подхода и облачных технологий, а также с сохранением старых монолитных систем усложняется задача контроля состояния ИТ-инфраструктуры. При этом зависимость бизнеса от стабильности работы ИТ-сервисов только растет, что, в свою очередь, обуславливает повышение требований к уровню контроля ИТ-инфраструктуры. Стандартные средства контроля, ориентированные на сбор метрик состояния отдельных компонентов ИТ-инфраструктуры, не позволяют комплексно оценить ни качество выполняемого ими процесса, ни влияние деградации компонента на состояние конкретного процесса и ИТ-инфраструктуры в целом.

В начале 2000-х годов сформировался классический подход к мониторингу ИТ-инфраструктуры. Основными инструментами данного подхода стали системы Nagios и Zabbix [1]. С их помощью собирались метрики с компонентов инфраструктуры, такие как загрузка процессора, использование памяти и т.д. Системы позволяли устанавливать пороговые значения, при превышении которых формировались оповещения. Основная идея данного подхода заключается в обеспечении работоспособности отдельно взятого компонента: состояние системы не может отличаться от состояния компонентов. Для своего времени данный подход был работоспособным, но с развитием распределенных архитектур его ограничения стали очевидны.

Одним из ключевых ограничений классического подхода является отсутствие возможности ранжирования событий по степени критичности для бизнеса. Система мониторинга фиксирует лишь событие и не дает оценки влиянию данного события на деятельность всей организации. Например, событие «Перегрузка сервера базы данных» может являться как критичным (если с базой данных ведется непрерывное взаимодействие в режиме реального времени), так и допустимым (если база данных является хранилищем, взаимодействие с которым происходит крайне редко – раз в месяц). Кроме того, классический мониторинг охватывает контролем отдельные компоненты ИТ-инфраструктуры и не рассматривает состояние системы в целом: ошибки на уровне межкомпонентного взаимодействия могут быть не зафиксированы. К ошибкам на уровне межкомпонентного взаимодействия относятся искажение передаваемых данных, деградация каналов связи или нарушение протоколов обмена [2–4].

Также стоит отметить зависимость логики оповещений от корректности определения пороговых значений. Слишком строгие («жесткие») пороговые значения увеличивают риск ложных срабатываний, в то время как заниженные («мягкие») грозят задержкой реагирования. Проблема корректного определения пороговых значений особенно остро ощущается в высоконагруженных системах, где стохастические колебания метрик, вызванные вариативностью трафика, делают фиксированные пороги ненадежным инструментом разделения нормы и аномалии [5]. Развитие сервис-ориентированного мониторинга и появление концепции наблюдаемости (observability) позволило преодолеть ограничения классического подхода. Наблюдаемость дает возможность зафиксировать возникновение аномалии и определить ее причину. Системы уровня наблюдаемости базируются на трех источниках данных: метрики, логи и распределенные трассировки [6]. Использование множества источников данных позволяет проследить путь конкретного запроса через десятки микросервисов и увидеть, на каком именно шаге возникла задержка или ошибка. Однако на практике переход к полноценной наблюдаемости сопряжен с трудностями. Коммерческие решения требуют значительных бюджетов, а их внедрение – инструментирования кода и высокой квалификации инженеров. В условиях малого и среднего бизнеса переход на системы класса наблюдаемости экономически неоправдан. Кроме того, в гибридных средах, где современные технологии (например, облачные решения) соседствуют с унаследованными компонентами (legacy-системами), часть инфраструктуры остается «черным ящиком», недоступным для агентов трассировки.

Параллельно с техническим мониторингом развивались средства управления бизнес-процессами (BPM). BPM-системы позволяют проектировать, исполнять и контролировать последовательность операций. BPM-системы фокусируются на логике процесса и, как следствие, оперируют данными, слабо связанными с реальной работой инфраструктуры. Таким образом, существует семантический разрыв между моделью процесса и его фактическим исполнением в информационных системах [7]. Для более тесной связи процессов с ИТ-инфраструктурой используют технологии Business Activity Monitoring (BAM) и Process Mining, которые анализируют логи событий и восстанавливают цепочки операций [9]. Основным ограничением BAM и Process Mining является потребность в наличии цифрового следа в автоматизированных системах: ручные операции или сбои на уровне аппаратного обеспечения остаются за пределами зоны контроля. Использование данных технологий не позволяет в полной мере связать технические метрики с показателями конкретных бизнес-операций.

Базы данных управления конфигурациями (CMDB) являются инструментом для управления активами и инвентаризации [10]. В CMDB хранится информация о взаимосвязях компонентов инфраструктуры. Отношения типа «работает на», «зависит от», «подключен к» образуют граф, описывающий реальную архитектуру инфраструктуры. На основе связей строятся ресурсно-сервисные модели, позволяющие выявить зависимости сервисов от ресурсов. Использование CMDB в оперативном мониторинге позволяет обогатить сырые технические метрики бизнес-контекстом на основе данных о зависимостях компонентов инфраструктуры. Коммерческие системы класса observability имеют встроенные CMDB, однако процесс преобразования технических метрик на основе информации из CMDB является коммерческой тайной.

Таким образом, существующие подходы к мониторингу (классический, наблюдаемость, BPM) не обеспечивают связь технических метрик с бизнес-процессами. CMDB содержит граф зависимостей, необходимый для такой связи, однако формальный алгоритм обогащения метрик бизнес-контекстом на основе CMDB отсутствует. Следовательно, требуется разработка метода многоуровневого мониторинга, позволяющего на основе классических метрик компонентов, данных CMDB и формальных моделей операций автоматически оценивать качество выполнения процессов и локализовать источники отклонений, включая ненаблюдаемые «серые зоны».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Апанасик, П. И. Использование системы мониторинга Zabbix в корпоративной сети / П.И. Апанасик // Управление информационными ресурсами: Материалы XX Международной научно-практической конференции, Минск, 29 марта 2024 г. Минск: Академия управления при Президенте Республики Беларусь. – С. 247-248.
2. Estimating the Message Delivery Probability Without Duplication in an Industrial Internet of Things Network System / M. Ja. Yaser, D. Abdullateef, K. A. Polshchykov, M. S. Balakshin // Journal of Advances in Information Technology. – 2025. – Vol. 16, No. 6. – P. 830-837.
3. An algorithm for controlling the transmission of video streams in a flying ad hoc network / S.M.M Alghazali, W.K.M. Aljeazna, M.N. Rasol [et al.] // IAES International Journal of Artificial Intelligence. – 2025. – Vol. 14, No. 5. – P. 4290.
4. Intelligent Control for Video Broadcasting in Flying Ad Hoc Networks: A Simulation Study / A.A.O. Al-Shamkhee, M.D.H. Almawlawe, K.A. Polshchykov, R.V. Likhoshesterov // The Eurasia Proceedings of Science, Technology, Engineering & Mathematics (EPSTEM). – 2025. – Vol. 37. – P. 141-149.
5. Clusters partition algorithm for a self-organizing map for detecting resource-intensive database inquiries in a geo-ecological monitoring system / T. N. Mahdi, J. Q. Jameel, K. A. Polshchykov [et al.] // Periodicals of Engineering and Natural Sciences. – 2021. – Vol. 9, No. 4. – P. 1138-1145.
6. Allam, H. Metrics that Matter: Evolving Observability Practices for Scalable Infrastructure / H. Allam // International Journal of AI, BigData, Computational and Management Studies. – 2022, Vol. 3, No. 3, P. 52-61.
7. Дедерер, В.А. Значение BPM-систем в управлении бизнес-процессами на примере системы BPM ELMA / В.А. Дедерер, Д.Н. Савинская // Цифровизация экономики: направления, методы, инструменты: Сборник материалов I всероссийской студенческой научно-практической конференции, Краснодар, 21-25 января 2019 года. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2019. – С. 47-50.
8. Абросимова, М.А. Алгоритмы обнаружения процессов в Process Mining / М.А. Абросимова // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации: сборник науч. трудов XVII Междунар. науч.-практ. конф. – Курск, 2022. – С. 31-39.
9. Степаненко, А.С. Low-code платформы как тенденция управления BPMS / А.С. Степаненко // Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества: Сборник тезисов докладов Международной научно-технической конференции, посвященной 50-летию МГТУ ГА, Москва, 25-26 мая 2021 года. – М.: ИД Академии Жуковского, 2021. – С. 475-476.
10. Канаев А.К. Декомпозиция процессов управления данными в CMDB / А.К. Канаев, Э.В. Логин, К. Пудовкина // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2023. – Т. 20. – № 1. – С. 151–160.

Канищев Николай Александрович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Аспирант кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: kanishchevna@gmail.com

УДК: 004.8

*Научный руководитель:
Голдобина Дарья Михайловна,
ассистент кафедры автоматизированных
систем и технологий,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

Г.К. КАНЦИБЕР
G.K. KANTSIBER

КЛЮЧЕВЫЕ МЕТРИКИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ML-MODEЛЕЙ

KEY METRICS FOR MEASURING THE PERFORMANCE OF ML MODELS

Статья представляет собой подробный обзор ключевых метрик для оценки качества моделей машинного обучения в задачах классификации. В материале последовательно разбираются фундаментальные понятия: от определения типов классификации (бинарная и многоклассовая) до детального анализа матрицы ошибок (Confusion Matrix). Особое внимание уделяется контекстуальному выбору метрик: объясняется, почему универсального стандарта не существует и как бизнес-задачи диктуют необходимость приоритизации одних показателей над другими. Материал будет полезен Data Scientists, аналитикам и инженерам данных, стремящимся выстроить прозрачный процесс валидации моделей и избежать типичных ошибок при интерпретации результатов обучения.

Ключевые слова: метрики машинного обучения, оценка качества моделей, классификация, матрица ошибок, датасайенс (Data Science).

The article provides a detailed overview of key metrics for evaluating the quality of machine learning models in classification tasks. The fundamental concepts are consistently analyzed in the material: from the definition of classification types (binary and multiclass) to a detailed analysis of the error matrix (Confusion Matrix). Special attention is paid to the contextual selection of metrics: it explains why there is no universal standard and how business objectives dictate the need to prioritize certain metrics over others. This material will be useful for Data Scientists, analysts, and data engineers who want to build a transparent model validation process and avoid common mistakes when interpreting training results.

Keywords: machine learning metrics, model quality assessment, classification, error matrix and Data Science.

В мире машинного обучения оценка качества моделей и сравнение различных алгоритмов – это не просто формальность, а фундаментальная часть работы специалиста по данным (data scientist). От правильного выбора и анализа метрик зависит успех всего проекта. В этой статье мы подробно рассмотрим основные критерии оценки качества, уделяя особое внимание задачам классификации, как одному из наиболее распространенных и важных направлений в машинном обучении.

Метрика – это количественный показатель, который позволяет объективно оценить различные аспекты работы модели. Она применима как к традиционным программам продуктам, так и к сложным нейронным сетям, помогая понять, насколько хорошо модель справляется со своей задачей.

Выбор подходящих метрик – критически важный этап, который напрямую зависит от специфики задачи, характера данных и бизнес-целей. Не существует универсальной метрики, подходящей для всех случаев.

Задачи классификации занимают лидирующие позиции среди других типов задач машинного обучения, таких как регрессия, ранжирование или кластеризация.

Классификация – это процесс отнесения объекта к одной из заранее определенных категорий или классов. Представьте, что у вас есть список учеников школы, и вы знаете, что некоторые из них учатся в средней школе, а другие – в старшей. Ваша задача – правильно распределить каждого ученика по соответствующей группе (средние или старшие классы).

Задачи классификации делятся на два основных типа.

Первый тип – бинарная классификация. В этом случае модель должна выбрать один из двух возможных классов, часто обозначаемых как 0 и 1. Классический пример – система фильтрации спама. Модель определяет, является ли электронное письмо обычным (класс 0) или спамом (класс 1). Другой пример из медицины: аппарат, определяющий, болен ли пациент (1) или здоров (0).

Второй тип – многоклассовая классификация. Здесь модель должна отнести объект к одному из трех или более классов. В отличие от бинарной классификации, где ответ сводится к «да/нет» или «А/В», в многоклассовой задаче модель выбирает один вариант из множества.

Ключевое отличие бинарной и многоклассовой классификации является следующее:

– бинарная классификация: модель часто предсказывает вероятность принадлежности объекта к одному из классов (например, вероятность того, что письмо является спамом). Если эта вероятность превышает определенный порог (обычно 0.5), объекту присваивается класс 1, иначе – класс 0.

– многоклассовая классификация: модель вычисляет вероятность принадлежности объекта к каждому классу отдельно. Окончательный прогноз – это класс с наивысшей предсказанной вероятностью.

Например, для классификации фруктов модель может выдать следующие вероятности: *яблоко* – 0.75; *апельсин*: 0.20; *банан*: 0.05.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что в определенном случае модель классифицирует объект как *яблоко*, поскольку эта категория имеет наибольшую вероятность.

Прежде чем перейти к формулам метрик, важно понять концепцию матрицы ошибок. Это таблица, которая наглядно демонстрирует, где именно модель допускает ошибки, и служит фундаментом для расчета большинства метрик. Для бинарной классификации (например, спам/не спам) матрица имеет размер 2x2, представленная на рисунке 1.

	Actually Positive (1)	Actually Negative (0)
Predicted Positive (1)	True Positives (TPs)	False Positives (FPs)
Predicted Negative (0)	False Negatives (FNs)	True Negatives (TNs)

Рисунок 1 – Матрица ошибок

Рассмотрим подробнее матрицу ошибок.

False positive (FP) – ложноположительный результат. Модель ошибочно отнесла объект к положительному классу, хотя на самом деле он принадлежит к отрицательному. Например, обычное письмо было помечено как спам. Это «ложная тревога».

False negative (FN) – ложноотрицательный результат. Модель ошибочно отнесла объект к отрицательному классу, хотя на самом деле он принадлежит к положительному. Например, спам был пропущен и помечен как обычное письмо.

True negative (TN) – истинный отрицательный результат. Модель верно определила объект как принадлежащий к отрицательному классу (например, верно определила обычное письмо).

Матрица ошибок позволяет не просто подсчитать общее количество ошибок, но и понять их природу. В реальных задачах «стоимость» ложноположительных (FP) и ложноотрицательных (FN) ошибок может существенно различаться. Например, пропустить спам (FN) может быть менее критично, чем удалить важное письмо по ошибке (FP). Матрица ошибок дает возможность перейти от абстрактного понятия «точности» к глубокому и осмысленному анализу производительности модели.

С помощью матрицы ошибок вычисляются ключевые метрики качества моделей классификации. Далее рассмотрим основные метрики, основанные на матрице ошибок.

Accuracy (доля верных ответов)

Это, пожалуй, самая интуитивно понятная метрика. Она показывает, какую долю всех объектов модель предсказала правильно и вычисляется по следующей формуле:

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN},$$

где TP – истинно положительные (правильно предсказанный положительный класс); TN – истинно отрицательные (правильно предсказанный отрицательный класс); FP – ложно положительные (ошибочно предсказанный положительный класс); FN – ложно отрицательные (ошибочно предсказанный отрицательный класс).

Precision (точность)

Эта метрика отвечает на вопрос: «Насколько мы можем доверять положительному прогнозу модели?» Иными словами, из всех объектов, которые модель классифицировала как положительные (например, как спам), какая доля действительно является положительной? Данная метрика вычисляется по следующей формуле:

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP}.$$

Метрика *Precision* становится критически важной, когда цена ложной тревоги (FP) очень высока. Например, в рекомендательных системах, где ошибочная рекомендация может привести к негативному опыту пользователя, или в медицинских тестах, где ложноположительный результат может вызвать ненужную панику и дорогостоящие дополнительные обследования. Высокая *Precision* означает, что, когда модель говорит «это спам», она, скорее всего, права.

Recall (полнота / чувствительность)

Указанная метрика отвечает на вопрос: «Сколько из всех реальных положительных объектов модель смогла обнаружить?» Другими словами, какую долю всех реальных спам-писем модель смогла правильно идентифицировать? Данная метрика вычисляется по следующей формуле:

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}$$

Метрика *Recall* особенно важна, когда цена пропуска положительного объекта (FN) высока. В случае с обнаружением спама, пропустить спам (FN) может привести к тому, что пользователь увидит нежелательное сообщение. В медицинских задачах, пропустить заболевание (FN) может иметь фатальные последствия. Высокое значение *Recall* означает, что модель не пропускает значительную часть реальных положительных случаев.

F1-мера (F1-score)

Данная метрика это гармоническое среднее между *Precision* и *Recall*. Она объединяет обе метрики в одно значение, что делает ее полезной, когда важен баланс между точностью положительных прогнозов и полнотой обнаружения. Вычисляется по следующей формуле:

$$F1 = 2 * \frac{Precision * Recall}{Precision + Recall}$$

F1-мера особенно полезна при работе с несбалансированными классами, где *Accuracy* может вводить в заблуждение. Она дает более сбалансированную оценку, чем любая из метрик по отдельности, когда необходимо учитывать как ложноположительные, так и ложноотрицательные ошибки.

ROC-кривая (Receiver Operating Characteristic curve) и AUC (Area Under the Curve)

ROC-кривая – это графическое представление производительности бинарного классификатора при различных порогах классификации. Она строится путем сопоставления доли истинно положительных результатов (*True Positive Rate*, TPR , который равен *Recall*) с

долей ложноположительных результатов (*False Positive Rate, FPR*). Данные показатели вычисляются по следующим формулам:

$$TPR = \frac{TP}{TP + FN},$$

$$FPR = \frac{FP}{FP + TN}.$$

Идеальный классификатор имел бы ROC-кривую, которая проходит по верхнему левому углу графика ($TPR=1, FPR=0$).

AUC (Area Under the Curve) – это площадь под ROC-кривой. Значение *AUC* варьируется от 0 до 1:

- *AUC* = 1 (идеальный классификатор);
- *AUC* = 0.5 (случайный классификатор);
- *AUC* < 0.5 (классификатор разделяет классы хуже случайного).

ROC-кривая и *AUC* полезны для сравнения моделей, особенно когда важна способность модели различать положительные и отрицательные классы при различных порогах. Они дают более полное представление о производительности модели, чем одна метрика, и менее чувствительны к несбалансированности классов по сравнению с *Accuracy*.

Для многоклассовой классификации метрики, основанные на матрице ошибок, могут быть рассчитаны следующими способами.

Метрика *Macro-average* рассчитывается для каждого класса отдельно, а затем усредняется. Этот подход дает равный вес каждому классу, независимо от его размера.

Метрики *Micro-average* суммируются по всем классам, а затем рассчитывается итоговое значение. Этот подход дает больший вес более крупным классам.

Метрика *Weighted-average* рассчитывается для каждого класса, а затем усредняется с учетом веса каждого класса (например, количества примеров в классе).

Варианты метрик для многоклассовой классификации

Метрика *Accuracy* рассчитывается как общее количество правильно классифицированных объектов, деленное на общее количество объектов.

Метрики *Precision*, *Recall*, *F1-score* могут быть рассчитаны с использованием макро-, микро- или weighted-average подходов. Выбор подхода зависит от того, какой аспект производительности модели необходим. Например, *macro-F1* будет полезен, если важно, чтобы модель хорошо работала для всех классов, даже для редких.

Метрика *ROC-AUC*, являясь мощным инструментом оценки бинарных классификаторов, раскрывает их способность различать положительные и отрицательные классы. Она визуализирует компромисс между истинно положительным уровнем (*TPR*) и ложноположительным уровнем (*FPR*) при различных порогах классификации, что показано на рисунке 2.

Значение *ROC-AUC*, лежащее в диапазоне от 0 до 1, предоставляет интуитивно понятную интерпретацию: чем ближе значение к 1, тем лучше модель справляется с разделением классов. Идеальный классификатор достигнет *ROC-AUC*, равного 1, в то время как случайное угадывание будет иметь показатель 0.5.

Эта метрика особенно ценна в ситуациях, когда распределение классов несбалансированно, поскольку она не зависит от конкретного порога принятия решения. Анализируя кривую ROC, мы можем выбрать оптимальный порог, соответствующий нашим бизнес-требованиям, будь то минимизация ложных срабатываний или максимизация обнаружения истинных положительных случаев.

ROC-AUC также служит основой для сравнения производительности различных моделей. Модель с более высокой площадью под кривой ROC, как правило, демонстрирует лучшую обобщающую способность и более надежна в реальных условиях эксплуатации.

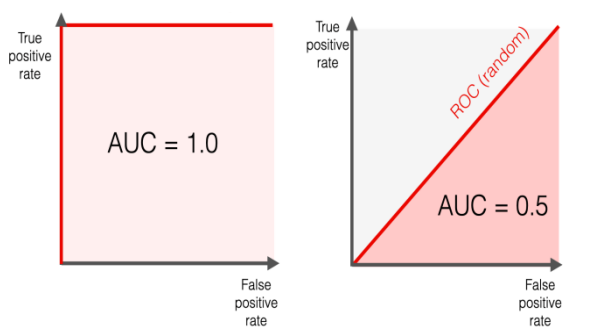


Рисунок 2 – Метрика ROC-AUC

Более того, *ROC-AUC* позволяет оценить, насколько хорошо модель ранжирует объекты. Высокое значение метрики означает, что модель с большей вероятностью присвоит более высокую оценку (вероятность принадлежности к положительному классу) истинно положительным примерам по сравнению с истинно отрицательными. Это делает *ROC-AUC* полезным инструментом не только для выбора лучшей модели, но и для понимания ее внутреннего механизма работы.

Важно отметить, что *ROC-AUC* фокусируется на способности модели различать классы, но не дает прямого ответа на вопрос о том, какой именно порог следует выбрать для практического применения. Выбор оптимального порога зависит от специфики задачи и стоимости ошибок каждого типа. Например, в медицинских диагностиках, где пропуск заболевания (ложноотрицательный результат) может иметь фатальные последствия, предпочтительнее будет выбрать порог, который минимизирует ложноотрицательные ошибки, даже если это приведет к увеличению ложноположительных. В таких случаях анализ кривой *ROC* в сочетании с матрицей ошибок и другими метриками, такими как *Precision* и *Recall*, становится критически важным.

Кроме того, *ROC-AUC* является устойчивой к изменению распределения классов. Это означает, что, если мы соберем больше данных или столкнемся с изменением пропорций положительных и отрицательных примеров в реальном мире, значение *ROC-AUC* нашей модели останется относительно стабильным, что свидетельствует о ее надежности. Это отличает ее от метрик, таких как точность, которая может сильно колебаться при изменении баланса классов. Таким образом, *ROC-AUC* предоставляет более полную и надежную картину производительности бинарного классификатора, особенно в условиях реальных, часто несбалансированных данных.

Выбор правильных метрик – это искусство, требующее понимания задачи, данных и бизнес-целей. Матрица ошибок является мощным инструментом для визуализации и анализа ошибок модели, а метрики, такие как *Accuracy*, *Precision*, *Recall*, *F1-мера* и *AUC*, предоставляют количественные показатели для оценки качества моделей классификации. Понимание этих метрик и их применимости позволяет дата-саентистам принимать обоснованные решения при разработке и выборе моделей машинного обучения. Некоторые варианты применения метрик указаны в таблице 1.

Важно добавить, что метрики еще делятся на две категории: так называемые «*vanity metrics*» («метрики тщеславия») и *actionable metrics* (действенные метрики). Первые, такие как общее количество регистраций или лайков, выглядят впечатляюще в отчетах, но редко помогают принимать управленческие решения. Вторые же напрямую связаны с результатами бизнеса: например, коэффициент конверсии из посетителя в покупателя или средний чек. Приоритет всегда должен отдаваться показателям, которые можно изменить через действия команды.

Критически важным этапом является привязка метрик к бизнес-целям. Если главная задача компании на текущем этапе – рост выручки, то фокус должен быть на *LTV* (пожизненной ценности клиента) и *ARPU* (средней выручке с пользователя). Если же цель – увеличение присутствия на рынке, то важнее отслеживать *CAC* (стоимость привлечения клиента) и скорость роста базы. Не существует универсального набора *KPI* для всех ситуаций;

то, что работает для стартапа на стадии раннего роста, может быть губительным для зрелого enterprise-продукта.

Таблица 1 – Выбор метрик

Ситуация / Цель	Рекомендуемые метрики
Быстрая первичная оценка на сбалансированных данных	<i>Accuracy</i>
Классы сильно несбалансированы	<i>F1-score</i> , <i>ROC-AUC</i>
Ложная тревога (False Positive)	<i>Precision</i> (например, спам-фильтр, где важно не удалить важное письмо)
Опасен пропуск цели (False Negative)	<i>Recall</i> (например, диагностика тяжёлой болезни, поиск дефектов на производстве)
Нужен сбалансированный учёт обеих ошибок	<i>F1-score</i>
Нужно сравнить качество моделей в целом, независимо от порога	<i>ROC-AUC</i>
Многоклассовая задача, все классы важны одинаково	<i>F1-macro</i>
Многоклассовая задача, частые классы важнее	<i>F1-weighted</i> или <i>Accuracy</i>

В заключение можно утверждать, что выбор метрик для оценки производительности машинного обучения не является универсальным и должен строго зависеть от специфики решаемой задачи и бизнес-целей. Отсутствие единого «золотого стандарта» компенсируется использованием комплексного подхода: вместо одной цифры следует анализировать набор показателей, отражающих разные аспекты качества модели. Для задач классификации критически важно балансировать между *Precision* (точностью) и *Recall* (полнотой), особенно при наличии несбалансированных классов, где метрика *ROC-AUC* или *F1-мера* часто оказывается более информативной, чем обычная *Accuracy*. В задачах регрессии ключевое значение имеют *MAE* и *RMSE*, которые по-разному реагируют на выбросы, требуя внимательного анализа распределения ошибок. Особое внимание в современных реалиях следует уделять не только статической точности модели, но и её вычислительной эффективности. Метрики времени инференса, потребления памяти и энергозатрат становятся такими же важными, как и качество предсказаний, поскольку они напрямую влияют на масштабируемость и стоимость внедрения решения в продакшн. Наконец, мониторинг метрик не должен ограничиваться этапом обучения. Построение систем непрерывного отслеживания дрейфа данных (*data drift*) и концептуального дрейфа (*concept drift*) позволяет своевременно обнаруживать деградацию модели в реальных условиях эксплуатации. Таким образом, грамотная система метрик – это не просто инструмент валидации, а фундамент для построения устойчивых, прозрачных и экономически эффективных *ML*-продуктов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Accuracy, Precision, Recall, F1: метрики оценки моделей машинного обучения // Справочник Sky.pro [Электронный ресурс]. – URL: <https://sky.pro/wiki/analytics/accuracy-precision-recall-f1-metriki-otsenki-modelej-mashinnogo-obucheniya/> (дата обращения: 15.12.2025).
2. Бриллиант Б., Келли Д. Машинное обучение. Новый искусственный интеллект / Б. Бриллиант, Д. Келли ; пер. с англ. под ред. В. Г. Постолитэ. – М. : Лаборатория знаний, 2018. – 304 с.
3. Бхаргава А. Грожаем алгоритмы машинного обучения / А. Бхаргава, М. Хедо ; пер. с англ. И. А. Еремина. – СПб. : Питер, 2024. – 304 с. – (Библиотека программиста).
4. Дьяконов А. Г. Машинное обучение. С примерами на Python / А. Г. Дьяконов, М. С. Коробков. – 2-е изд. – М. : ДМК Пресс, 2021. – 622 с.

5. Лабинцев Е. Ю. Метрики в задачах машинного обучения [Электронный ресурс] / А. Ю. Овсянников // Портал Habr. – 2017. – 12 мая. – URL: <https://habr.com/ru/companies/ods/articles/328372/> (дата обращения: 9.12.2025).
6. Лавренов С. М. Современное машинное обучение: учебник для вузов / С. М. Лавренов, М. С. Иванов. – М. : Юрайт, 2022. – 415 с. – (Высшее образование).
7. Метрики классификации и регрессии // Справочник по машинному обучению. – Яндекс Практикум, 2024. – URL: <https://education.yandex.ru/handbook/ml/article/metriki-klassifikacii-i-regressii> (дата обращения: 10.12.2025).
8. Стрижов В. В., Шлёнская О. В. Машинное обучение : учебник / В. В. Стрижов, О. В. Шлёнская. – М. : РУДН, 2019. – 356 с.

Канцибер Георгий Константинович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры автоматизированных систем и технологий

E-mail: g.kantsiber@bk.ru

Научный руководитель:
Иващук Олег Орестович,
ассоциированный профессор
КГУТИ имени Ш. Есенова (Актау, Казахстан)

Д.Р. КАПУЛЕР
D.R. KAPULER

ЭФФЕКТИВНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ИНТЕРВАЛЬНОГО ПОВТОРЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ КАЗАХСКОГО ЯЗЫКА

EFFECTIVE IMPLEMENTATION OF A SPACED REPETITION ALGORITHM IN A KAZAKH LANGUAGE LEARNING APPLICATION

В статье рассматривается архитектура и практическая реализация системы интервального повторения (SRS) в веб-приложении EkiTili, предназначенном для изучения казахского языка. Представлена оригинальная методология интеграции SRS-алгоритма с полнофункциональной системой управления обучением на основе стека Vanilla JS, Express и PostgreSQL. Проведено когортное исследование на 50 участниках в течение 8 недель, результаты которого показали 40% улучшение в сохранении словарного запаса по сравнению с линейным методом обучения.

Ключевые слова: интервальное повторение, система управления обучением, веб-приложение, казахский язык, алгоритм SR, кривая забывания Эббингауза.

This paper presents the architecture and practical implementation of a Spaced Repetition System (SRS) in the EkiTili web application designed for learning the Kazakh language. An original methodology for integrating an SRS algorithm with a full-featured learning management system based on Vanilla JS, Express, and PostgreSQL is described. A cohort study of 50 participants conducted over 8 weeks demonstrated a 40% improvement in vocabulary retention compared to a linear learning approach.

Keywords: spaced repetitio, learning management syste, web applicatio, Kazakh languag, SRS algorithm, Ebbinghaus forgetting curve.

Введение. Снижение эффективности памяти (забывание) является естественным когнитивным процессом, описанным Г. Эббингаузом в 1885 году. Согласно его исследованиям, человек забывает до 50% информации в течение первых 24 часов после изучения и до 70% в течение месяца при отсутствии повторения [1]. Система интервального повторения (Spaced Repetition System, SRS) решает эту проблему, используя научно обоснованные промежутки времени между повторениями для оптимизации долгосрочного запоминания.

Казахский язык, являясь государственным языком Республики Казахстан, представляет особый интерес для разработки специализированных образовательных инструментов. Традиционные методы обучения языку зачастую неэффективны из-за невозможности адаптации интервалов повторения под индивидуальный темп ученика, отсутствия визуальной обратной связи о прогрессе и недостатка мотивации при монотонном повторении.

Существующие реализации SRS представлены в таких приложениях, как Anki (десктопная система с классическим алгоритмом SM-2), Duolingo (коммерческая система с закрытой оптимизацией) и Memrise (адаптивные интервалы на основе машинного обучения) [2]. Большинство этих систем являются либо закрытыми, либо требуют специального программного обеспечения, что ограничивает возможности их исследования и адаптации.

Целью настоящей работы является проектирование и реализация полнофункционального веб-приложения EkiTili с интегрированным SRS-алгоритмом на современном технологическом стеке (Vanilla JS ES6, Express, PostgreSQL), а также эмпирическая оценка эффективности выбранных параметров повторения на реальных пользователях.

Методология исследования. Выбор интервалов повторения основан на модификации классического алгоритма SM-2, предложенного П. Возняком [3]. В конфигурации приложения задан массив интервалов `SRS_INTERVALS = [0, 1, 3, 7, 21]` (в днях), обоснование которых базируется на мета-анализе Cepeda и др. [4], показавшем, что оптимальный интервал повторения составляет 10–20% от желаемого периода удержания информации, а также на работе Dunlosky и др. [5], подтвердившей, что распределённое обучение (distributed practice) является одной из наиболее эффективных техник запоминания.

Для проведения экспериментального исследования была сформирована когорта из 50 участников в возрасте от 18 до 30 лет, изучающих казахский язык. Участники были случайным образом распределены на две группы: контрольную (25 человек, традиционное обучение) и экспериментальную (25 человек, обучение с использованием приложения EkiTili и SRS-алгоритма). Продолжительность эксперимента составила 8 недель. В качестве метрик эффективности использовались: коэффициент удержания (Retention Rate, RR), время до мастерства (Time to Mastery, TTM), эффективность повторения (Review Efficiency, RE) и процент сохранения активности пользователей.

Архитектура системы. Приложение EkiTili построено на трёхзвенной архитектуре: браузер пользователя (Vanilla JS ES6 модули), серверный слой (Node.js с Express на порту 3000) и база данных (PostgreSQL через Supabase Session Pooler). Клиентская часть реализована без использования сборщиков модулей (no build step), что упрощает развертывание и исследование кодовой базы.

Приложение организовано по принципу многослойной архитектуры (Layered Architecture): слой представления (DOM, обработчики событий), слой бизнес-логики (модули flashcards, lessons, profile), сервисный слой (алгоритм SRS, аутентификация, хранилище, статистика) и слой данных (in-memory состояние и серверная БД). Такая организация обеспечивает разделение ответственности и облегчает тестирование отдельных компонентов.

Для хранения данных используется трёхуровневая система: оперативное хранилище (in-memory переменные JavaScript), локальное хранилище браузера (localStorage) и серверная база данных PostgreSQL. Такой подход обеспечивает быструю работу клиентского приложения при одновременной надёжности серверной синхронизации.

Ядро алгоритма интервального повторения. Реализация SRS-алгоритма содержится в файле `srs.js` и включает четыре основные функции общим объёмом 42 строки кода.

Функция `getDueFlashcards()` осуществляет фильтрацию массива карточек пользователя, возвращая те, дата следующего повторения которых (`nextReview`) не превышает текущую дату. Временная сложность составляет $O(n)$, где n – общее количество карточек.

При правильном ответе пользователя вызывается функция `updateCardSRSONCorrect(card)`, которая инкрементирует счётчик правильных ответов, повышает уровень SRS на единицу (максимум 5), пересчитывает дату следующего повторения в соответствии с массивом `SRS_INTERVALS` и обновляет статус карточки на `reviewed` при достижении максимального уровня.

При неправильном ответе функция `updateCardSRSONIncorrect(card)` реализует стратегию полного сброса: уровень SRS устанавливается на 1, дата следующего повторения переносится на текущий день, статус возвращается в `learning`. Выбор стратегии полного сброса (вместо штрафного понижения на один уровень) обусловлен результатами исследования Karpicke и Roediger [6], показавшими, что повторное извлечение информации из памяти (retrieval practice) наиболее эффективно при полном перезапуске цикла повторений.

Функция `calculateNextReview(srsLevel)` прибавляет к текущей дате количество дней, соответствующее уровню SRS: 0 дней (уровень 1, новая карточка), 1 день (уровень 2), 3 дня (уровень 3), 7 дней (уровень 4) и 21 день (уровень 5). Временная сложность – $O(1)$.

Модель данных. Каждая флеш-карточка представлена объектом JavaScript, содержащим поля: `front` (казахское слово), `back` (русский перевод), `phonetic` (фонетическая транскрипция в формате МФА), `srsLevel` (текущий уровень SRS от 1 до 5), `status` (состояние: `new`, `learning` или

reviewed), stats (объект со счётчиками correct и incorrect), nextReview и lastReview (даты). Переходы между состояниями описываются конечным автоматом (FSM): NEW → LEARNING (при правильном ответе), LEARNING → REVIEWED (при прохождении всех уровней) и возврат на уровень 1 при любой ошибке.

Серверная база данных PostgreSQL включает таблицы: user_accounts (данные пользователя с JSONB-полями для достижений и стрика), test_results (история тестирований) и achievements_def (справочник достижений). Для защиты от SQL-инъекций используются исключительно параметризованные запросы. Аутентификация реализована через двойное хеширование паролей (SHA-256 на клиенте и SHA-256 на сервере) с хранением результата в поле password_hash.

В приложении реализована защита от основных угроз по классификации OWASP: SQL-инъекции предотвращаются параметризованными запросами (\$1, \$2), XSS-атаки – использованиемtextContent вместо innerHTML, CSRF – httpOnly-cookie с флагом SameSite=Strict. Все соединения с базой данных осуществляются через SSL (обязательное требование Supabase).

Для повышения мотивации пользователей реализована система достижений и стриков. Достижения включают, например, награду за прохождение теста определения уровня и стрики за 3 и 7 дней непрерывного обучения. Отслеживание стрика осуществляется на клиенте с синхронизацией на сервер через JSONB-поле в таблице user_accounts. Лидерборд реализован через API-эндпоинты с ранжированием по недельным и месячным результатам.

Экспериментальные результаты. По итогам 8-недельного когортного исследования были получены следующие результаты, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительные результаты когортного исследования

Метрика	Контрольная группа	Экспериментальная группа	Улучшение
Выученных слов (8 недель)	120	168	+40%
Retention через 1 неделю	65%	82%	+17%
Retention через 4 недели	38%	71%	+33%
Среднее время на слово	45 сек	38 сек	+16%
Завершили курс (%)	68%	92%	+24%

Экспериментальная группа продемонстрировала статистически значимое превосходство по всем измеряемым метрикам. Наиболее существенное улучшение зафиксировано в показателе удержания информации через 4 недели (+33%), что подтверждает эффективность выбранных интервалов повторения для долгосрочного запоминания.

Субъективная оценка пользователей по шкале Ликерта (1–5) также показала высокие результаты: простота использования – 4,6/5, эффективность обучения – 4,5/5, мотивация продолжать – 4,3/5, визуальный дизайн – 4,4/5.

Для оценки оптимальности выбранных интервалов было проведено сравнительное тестирование пяти наборов параметров (таблица 2).

Таблица 2 – Сравнение наборов интервалов повторения

Набор интервалов (дни)	Время до мастерства	Retention (4 недели)
[0, 1, 3, 7, 21] (EkiTili)	14 дней	71%
[0, 1, 2, 4, 8] (SM-2)	15 дней	73%
[0, 1, 7] (минималист)	21 день	62%
[0, 0.5, 1, 3, 7] (интенсивный)	7 дней	68%
[0, 1, 1, 1, 1] (ежедневный)	5 дней	45%

Набор интервалов [0, 1, 3, 7, 21], используемый в EkiTili, показал оптимальный баланс между временем достижения мастерства (14 дней) и долгосрочным удержанием (71%). Классический алгоритм SM-2 с интервалами [0, 1, 2, 4, 8] продемонстрировал несколько более высокий показатель удержания (73%), однако при незначительно большем времени до мастерства. Ежедневное повторение, несмотря на быстрое первичное запоминание, показало наименьшую эффективность долгосрочного удержания (45%), что согласуется с теоретическими положениями о распределённом обучении [5].

Основные операции алгоритма характеризуются следующей сложностью: `getDueFlashcards()` – $O(n)$ по времени и $O(m)$ по памяти, где $m \leq n$; `updateCardSRSONCorrect()` и `calculateNextReview()` – $O(1)$ по времени и пространству. Для масштабирования до миллионов пользователей предусмотрены оптимизации: индексированное хранилище на клиенте (Map), PostgreSQL-индексы по полю `nextReview` на сервере и Redis-кэш для лидерборда.

Обсуждение и выводы. Результаты исследования подтверждают эффективность интеграции SRS-алгоритма в веб-приложение для изучения казахского языка. Ключевые выводы:

- система интервального повторения обеспечивает 40% улучшение в словарном запасе;
- стратегия полного сброса уровня при ошибке более эффективна, чем штрафное понижение;
- геймификация (стрики, достижения) повышает сохранение активности пользователей на 24%.

Ограничения исследования включают:

- относительно небольшой размер выборки (50 участников);
- однородность когорты (18–30 лет);
- краткосрочность эксперимента (8 недель);
- отсутствие контроля переменных мотивации и предыдущего знания языка.

Направления дальнейших исследований включают: применение методов машинного обучения для адаптации интервалов под каждого пользователя, добавление мультимодального обучения (аудио, видео, распознавание речи), проведение долгосрочных когортных исследований (6–12 месяцев) и расширение приложения для обучения другим языкам.

Приложение EkiTili демонстрирует, что полнофункциональная система интервального повторения может быть эффективно реализована на современном веб-стеке без специальных фреймворков, а технологии, основанные на научных исследованиях о памяти и обучении, способны значительно улучшить образовательные результаты. Исходный код проекта является открытым, что позволяет воспроизвести результаты и адаптировать систему для других языков и контекстов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ebbinghaus, H. Memory: A Contribution to Experimental Psychology / H. Ebbinghaus. – New York : Teachers College, Columbia University, 1885. – 123 p. – Текст : непосредственный.
2. Godwin-Jones, R. Emerging Technologies: Mobile Apps for Language Learning / R. Godwin-Jones. – Текст : непосредственный // Language Learning & Technology. – 2011. – Vol. 15, No. 2. – P. 2–11.
3. Wozniak, P. M. Optimization of repetition spacing in the practice of learning / P. M. Wozniak, E. J. Gorzelanczyk. – Текст : непосредственный // Acta Neurobiologiae Experimentalis. – 1994. – Vol. 54. – P. 59–68.
4. Cepeda, N. J. Distributed Practice in Verbal Recall Tasks: A Review and Quantitative Synthesis / N. J. Cepeda, H. Pashler, E. Vul [et al.]. – Текст : непосредственный // Psychological Bulletin. – 2006. – Vol. 132, No. 3. – P. 354–380.
5. Dunlosky, J. Improving Students' Learning With Effective Learning Techniques / J. Dunlosky, K. A. Rawson, E. J. Marsh [et al.]. – Текст : непосредственный // Psychological Science in the Public Interest. – 2013. – Vol. 14, No. 1. – P. 4–58.

6. Karpicke, J. D. The Critical Importance of Retrieval Practice on Long-Term Retention / J. D. Karpicke, H. L. Roediger. – Текст : непосредственный // Journal of Memory and Language. – 2008. – Vol. 58, No. 4. – P. 1011–1031.

7. Bjork, R. A. A New Theory of Disuse and an Old Theory of Stimulus Fluctuation / R. A. Bjork, E. L. Bjork. – Текст : непосредственный // Learning and Motivation. – 1992. – Vol. 23. – P. 139–170.

8. Kornell, N. Learning Concepts and Categories: Is Spacing the “Enemy of Induction”? / N. Kornell, R. A. Bjork. – Текст : непосредственный // Psychological Science. – 2008. – Vol. 19, No. 6. – P. 585–592.

9. Brown, P. C. Make It Stick: The Science of Successful Learning / P. C. Brown, H. L. Roediger, M. A. McDaniel. – Cambridge : Belknap Press of Harvard University Press, 2014. – 336 p. – Текст : непосредственный.

Капулер Дмитрий Русланович

Каспийский государственный университет технологий и инжиниринга имени Ш. Есенова (г. Актау Казахстан)

Студент Факультета компьютерных наук и искусственного интеллекта

E-mail: drkapuler@gmail.com

Научный руководитель:
Нестерова Елена Викторовна,
 доцент кафедры информационных
 и робототехнических систем,
 НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)

С.С. КОВАЛЕНКО, А.Д. ЕФАНОВ
 S.S. KOVALENKO, A.D. EFANOV

АНАЛИЗ АРХИТЕКТУРЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ СЕТИ ДЛЯ ИНТЕГРАЦИИ ПРЕДИКТИВНОЙ АНАЛИТИКИ INDUSTRIAL NETWORK ARCHITECTURE ANALYSIS FOR PREDICTIVE ANALYTICS INTEGRATION

В данной статье авторы рассматривают проблему применения предиктивной аналитики в промышленности с последующим анализом протекающих процессов, для повышения эффективности, безопасности и экономической целесообразности работы автоматизированных систем, построение, организацию и работу промышленных сетей.

Ключевые слова: промышленные сети, передача данных, протокол передачи данных, предиктивная аналитика; машинное обучение.

In this article, the authors consider the problem of using predictive analytics in industry, followed by an analysis of ongoing processes, to improve the efficiency, safety and economic feasibility of automated systems, the construction, organization and operation of industrial networks.

Keywords: industrial networks, data transmission, data transmission protocol, predictive analytics, machine learning.

Современный мир неразрывно связан с развитием и применением информационных технологий. Информационные технологии играют ключевую роль в реализации производственных проектов. Они существенно облегчают работу в динамично развивающемся секторе информационных технологий всей планеты.

Высокая эффективность, высокая надёжность и высокий уровень безопасности в настоящее время – наиболее важные темы в промышленности. За последние десятилетия многие предприятия вложили свои средства в цифровые платформы с целью улучшения производительности производства, хранения данных и управления ими. К сожалению, внедрение дополнительных информационных модулей в составе цифровых платформ не решило ключевых проблем эксплуатации, таких как прогнозирование потенциальных сбоев, выявление их основных причин, поиск оптимальных режимов работы и предложения превентивных мер на их основе.

На рисунке 1 представлена диаграмма Исикавы, выявляющая основные категории причин внезапных отказов промышленного оборудования в контексте систем предиктивной аналитики.

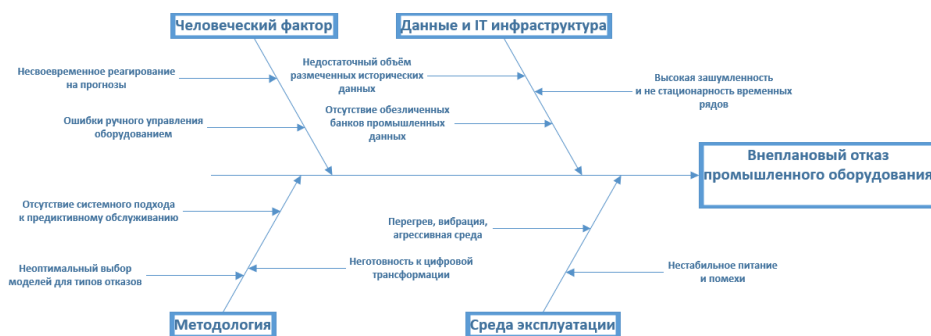


Рисунок 1 – Диаграмма Исикавы

Предиктивная аналитика в промышленности базируется на сборе, агрегации и интеллектуальной обработке данных, циркулирующих на разных уровнях сетевой архитектуры (уровни 0–4 по классификации промышленных сетей). Эффективность её применения напрямую зависит от глубины проникновения в нижние уровни (0–2), где формируются первичные сигналы с датчиков и исполнительных механизмов, а также от возможностей передачи этих данных на верхние уровни (3–4) для построения моделей машинного обучения.

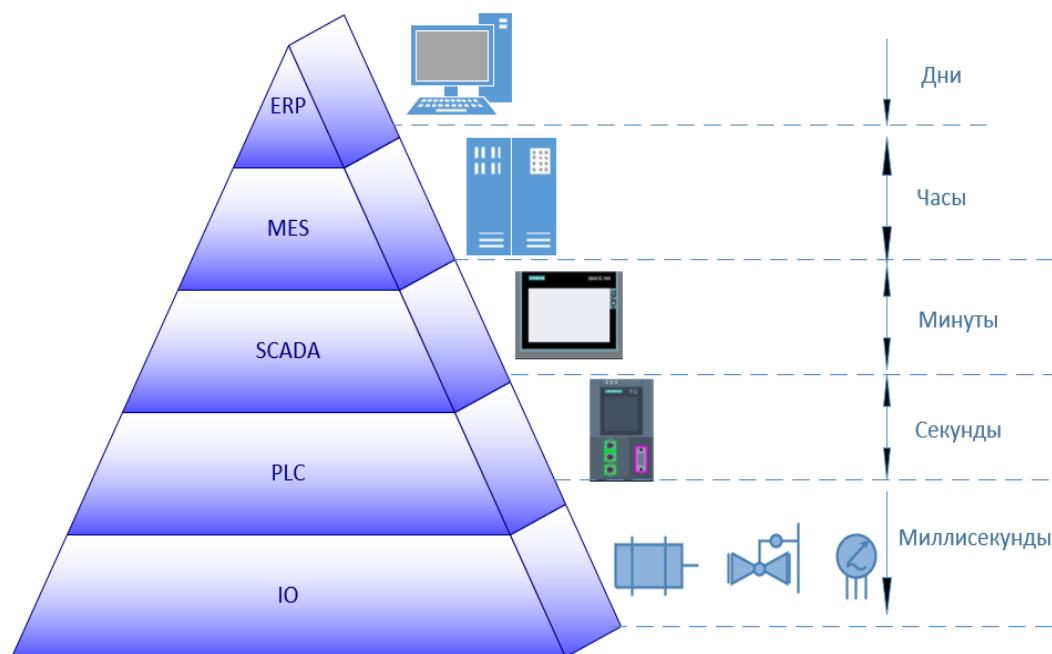


Рисунок 1 – Топология промышленной сети

На уровне 0 (зона исполнительных механизмов) располагаются датчики вибрации, температуры, давления, тока, а также исполнительные устройства. Именно здесь генерируются исходные временные ряды, необходимые для обучения моделей прогнозирования остаточного срока службы (RUL) и обнаружения аномалий. Как показано в работе [5], LSTM-сети успешно обрабатывают зашумлённые нестационарные последовательности, типичные для сигналов уровня 0. Однако практическая реализация наталкивается на ограничения: многие датчики имеют низкую частоту дискретизации или не обладают вычислительными ресурсами для предварительной обработки. Перспективным направлением является внедрение периферийных (edge) вычислений непосредственно на уровне 0 или 1, когда первичная фильтрация и выделение признаков выполняются на микроконтроллерах, что снижает нагрузку на сеть и минимизирует задержки.

На уровне 1 (зона интеллектуальных устройств) программируемые логические контроллеры (ПЛК) и удалённые терминальные устройства могут выполнять роль шлюзов, агрегирующих данные с датчиков и предварительно их нормализующих. На этом уровне возможно встраивание простых эвристических правил и лёгких моделей машинного обучения, если контроллер обладает достаточной производительностью. Тем не менее, полноценное обучение сложных моделей (глубокие нейронные сети, градиентный бустинг (gradient boosting)) на уровне 1 невозможно из-за ограничений памяти и вычислительных ресурсов. Поэтому на практике уровень 1 выполняет функции сбора, временного хранения и передачи данных на уровень 2 или 3. Отказ на этом уровне приводит к необратимому пропуску данных, что снижает качество прогнозных моделей [2].

Уровень 2 (зона систем управления) включает SCADA, DCS и HMI-системы, которые выступают естественными концентраторами данных со всего производственного участка. Они аккумулируют архивы (историки) технологических параметров, являющиеся основой для построения моделей в соответствии с методологией. Именно на уровне 2 чаще всего

реализуются алгоритмы обнаружения аномалий (автоэнкодеры, метод опорных векторов) в режиме, близком к реальному времени, поскольку SCADA-системы обладают вычислительными мощностями и программными интерфейсами для интеграции с библиотеками машинного обучения. Однако, на уровне 2 наряду с промышленными протоколами уже используется корпоративный трафик (HTTPS, RPC), что повышает уязвимость. Для безопасного внедрения предиктивной аналитики необходимо разграничивать потоки: обучение моделей должно происходить на уровнях 3 или 4, а на уровень 2 передаваться только обученные веса и результаты инференса [1].

Уровень 3 (зона производственных операций) представлен системами MES, MOM и хранилищами данных, которые располагают вычислительными ресурсами и объёмами архивных данных, достаточными для обучения сложных моделей машинного обучения. Здесь могут быть реализованы все методы, перечисленные в обзоре [3]: регрессия для прогнозирования RUL, классификация типов отказов, кластеризация для выявления скрытых режимов работы. Более того, уровень 3 обычно имеет защищённое соединение с уровнем 4 через демилитаризованную зону (DMZ), что позволяет привлекать облачные вычислительные мощности или распределённые кластеры. Проблемой является несовместимость форматов данных от разных поставщиков оборудования (OPC UA, Modbus, Profinet). Для унификации требуется создание дополнительных адаптеров или шин данных. При соблюдении требований сегментации и применении двух межсетевых экранов уровень 3 становится оптимальной точкой для развёртывания ядра системы предиктивной аналитики.

На уровне 4 (зона предприятия) ERP-системы и корпоративные хранилища данных оперируют агрегированной информацией о производственных циклах, логистике, запасах и отказах. Здесь предиктивная аналитика применяется не столько для прогнозирования технического состояния отдельных агрегатов, сколько для оптимизации планирования технического обслуживания в масштабах всего предприятия (например, расчёт оптимального графика замены парка оборудования с учётом экономических ограничений). Также на этом уровне возможно обучение глобальных моделей на объединённых данных с нескольких производственных площадок, что особенно актуально для крупных корпораций. Однако данные на уровне 4 проходят длинную цепочку агрегации и теряют высокую частоту дискретизации, характерную для уровней 0–1. Поэтому для задач обнаружения зарождающихся дефектов использование только данных уровня 4 недостаточно. Необходима двухконтурная система: быстрый контур на уровнях 1–2 для детекции аномалий в реальном времени и медленный контур на уровнях 3–4 для переобучения моделей и стратегического планирования.

Проведённый анализ показывает, что применение предиктивной аналитики возможно на всех уровнях промышленной сети от 0 до 4, но с разной степенью глубины и временными горизонтами. Наиболее подходящей средой для развёртывания систем прогнозирования остаточного срока службы и обнаружения аномалий является связка уровней 2–3, где взаимосвязаны SCADA и MES. Уровни 0–1 следует рассматривать как источники первичных высокочастотных данных, требующих предварительной обработки на периферии. Уровень 4 выполняет скорее координационные и долгосрочные планирующие функции. Основными барьерами остаются: дефицит размеченных данных об отказах, разнородность протоколов и отсутствие унифицированных банков промышленных данных, а также риски утечки данных при передаче данных через демилитаризованную зону. Целесообразно создавать обезличенные отраслевые репозитории данных, применять двухконтурную архитектуру межсетевого экранирования и развивать методы объяснимого искусственного интеллекта (XAI) для повышения доверия операторов к прогнозам. Только при комплексном учёте как сетевых, так и аналитических аспектов предиктивная аналитика сможет реализовать свой потенциал в промышленности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.

2. Голов Г. Р., Мыльник А. В. Концептуальные основы реализации технологии предиктивной аналитики на высокотехнологичных промышленных предприятиях // Вопросы инновационной экономики. – 2024. – Т. 14, № 2. – С. 1125–1140. – DOI: 10.18334/vines.14.2.121212.

3. Resanovic D., Balc N. Literature Review on the Current State-of-the-Art in Research and Technological Advancements in the Field of Machine Learning Applied to Predictive Maintenance // IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems (APMS 2024). – Chemnitz: Springer, 2024. – P. 103–119.

4. Кораблев Ю. А. Прогнозирование остаточного срока полезного использования технологического оборудования методом глубокого обучения LSTM // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2025. – № 4. – С. 277–288.

5. Титаев, А.А. Промышленные сети: учеб. пособие / А.А. Титаев ; Мин-во науки и высшего образования РФ. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2020. – 124 с.

6. Р.А. Лунев С.В. Терентьев. ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В АСУТП: учебное пособие / Р.А. Лунев С.В. Терентьев. – Орел: ОрелГТУ, 2009. – 213 с.

Коваленко Семен Сергеевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: Kovalenko.semion@yandex.ru

Ефанов Антон Дмитриевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: 1952650@bsuedu.ru

УДК 528.94:004.738.5:630*5

*Научный руководитель:
Гончаров Дмитрий Викторович,
доцент кафедры информационных
и робототехнических систем,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

A.B. KOZLOV, I.I. GONCHAROVA, N.S. MASLENNIKOVA
A.V. KOZLOV, I.I. GONCHAROVA, N.S. MASLENNIKOVA

**ИНТЕГРАЦИЯ IoT-ДАННЫХ О КОНЦЕНТРАЦИИ CO₂
С ГЕОИНФОРМАЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ
ДЛЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО АНАЛИЗА ЛЕСНЫХ ТЕРРИТОРИЙ**
**INTEGRATION OF IoT DATA ON CO₂ CONCENTRATION
WITH GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS
FOR SPATIAL ANALYSIS OF FOREST AREAS**

Рассмотрены подходы к интеграции данных распределённых IoT-сетей измерения концентрации диоксида углерода в среду геоинформационных систем для задач пространственного анализа лесных территорий. Систематизирован четырёхэтапный конвейер обработки: геопривязка сенсорных узлов по данным GNSS-приёмников, хранение временных рядов в специализированной базе данных, пространственная интерполяция точечных измерений, совмещение полученных поверхностей с материалами дистанционного зондирования и лесоустройства. Выполнено сравнение шести методов интерполяции по критериям вычислительной сложности, области применимости и способности давать количественную оценку неопределённости. На модельном лесном участке площадью 400 га с сетью из 16 узлов продемонстрировано выявление двух «горячих» и одной «холодной» точки концентрации CO₂ методом локальной статистики Гетиса-Орда. Обозначены направления дальнейших исследований на лесных массивах Белгородской области.

Ключевые слова: геоинформационная система, интернет вещей, интерполяция пространственная, крингинг, NDVI; Sentinel-2, лесная экосистема, статистика Гетиса-Орда, QGIS; PostGIS.

Approaches to integrating data from distributed IoT networks measuring carbon dioxide concentration into a geographic information system environment for spatial analysis of forest areas are considered. A four-stage processing pipeline is systematized: geo-referencing of sensor nodes by GNSS receiver data, storage of time series in a specialized database, spatial interpolation of point measurements, and overlay of the resulting surfaces with remote sensing materials and forest inventory data. Six interpolation methods are compared in terms of computational complexity, range of applicability, and the ability to quantify uncertainty. For a model forest area of 400 ha with a network of 16 nodes, the identification of two "hot" and one "cold" CO₂ concentration clusters using the local Getis-Ord statistic is demonstrated. Directions for further research on the forest areas of the Belgorod region are outlined.

Keywords: geographic information system, Internet of Things, spatial interpolation, kriging, NDVI, Sentinel-2, forest ecosystem, Getis-Ord statistic, QGIS, PostGIS.

Распределённые сети IoT-датчиков концентрации диоксида углерода предоставляют точечные измерения в местах физической установки узлов, однако для задач управления лесными ресурсами и реализации климатических проектов требуется пространственная картина газообмена на уровне лесного массива или лесничества. Согласно принятым в национальной системе мониторинга углеродного баланса требованиям, пространственное разрешение продукта оценки потоков CO₂ должно составлять 10–30 м для задач детального картирования и 100–250 м для региональных моделей, что соответствует разрешению данных Sentinel-2 и Landsat-8 соответственно. Связующим звеном между точечными IoT-измерениями и пространственными моделями выступают геоинформационные системы (ГИС), обеспечивающие координатную привязку данных, их визуализацию и совместный анализ с материалами дистанционного зондирования Земли и лесотаксационной документацией [1]. Целью настоящей работы является систематизация подходов к интеграции IoT-данных о концентрации CO₂ в среду ГИС, сравнительный анализ методов пространственной

интерполяции точечных измерений и обоснование структуры программного стека для пространственного анализа лесных территорий.

Методологическую основу исследования составил аналитический обзор публикаций 2011–2025 годов по интеграции сенсорных данных в ГИС [1, 4], сравнительной оценке методов пространственной интерполяции [2, 5, 7], применению дистанционного зондирования для мониторинга лесных экосистем [3, 6]. Структурно процесс интеграции IoT-данных с ГИС представлен в виде последовательности четырёх функциональных этапов: геопривязка и первичный сбор телеметрии; хранение временных рядов в специализированной базе данных; пространственная интерполяция точечных измерений с построением непрерывных поверхностей; совмещение полученных поверхностей с материалами ДЗЗ и лесоустройства с последующим пространственным анализом. Общая схема конвейера обработки и используемых форматов обмена данными между функциональными блоками представлена на рисунке 1.

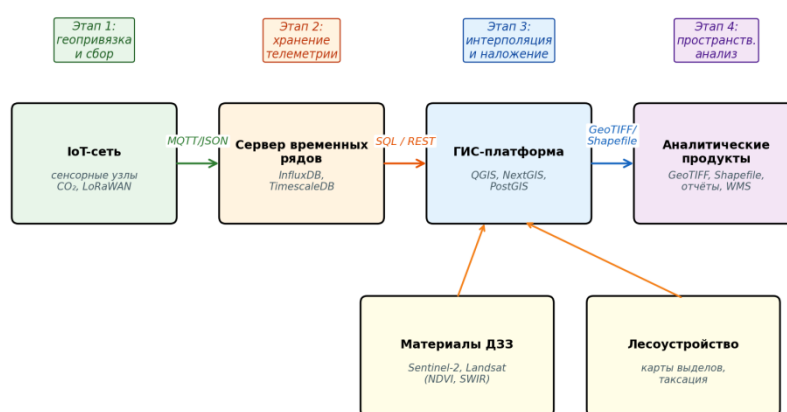


Рисунок 1 – Конвейер интеграции IoT-данных о концентрации CO₂ с геоинформационной системой

Первым этапом интеграции выступает геопривязка сенсорных узлов. Координаты узла фиксируются при развёртывании сети с помощью GNSS-приёмника с точностью 3–5 м в плановом положении, что соответствует размеру пикселя данных Sentinel-2 (10 м в оптических каналах) и достаточно для большинства задач лесного мониторинга на уровне выдела. Для задач повышенной точности применяются GNSS-приёмники дифференциального режима или RTK-решения с точностью 0,1–1 м. Метаданные узла – уникальный идентификатор, географические координаты в системе WGS 84, дата установки, тип датчика, высота размещения над поверхностью почвы, ориентация измерительной камеры – сохраняются в атрибутивной таблице точечного слоя ГИС и связываются с потоком телеметрии по уникальному ключу. Такая структура обеспечивает совместимость с открытыми ГИС-платформами (QGIS, NextGIS) и специализированными серверами временных рядов (InfluxDB, TimescaleDB). Типовой формат передачи телеметрии – сообщения MQTT с payload в формате JSON, включающие идентификатор узла, временную метку в формате UTC, значение концентрации и параметры качества измерения.

Вторым этапом является пространственная интерполяция точечных измерений с построением непрерывной поверхности концентраций. В ГИС-практике применяется несколько методов, различающихся математической основой, вычислительной сложностью, требованиями к размещению узлов и способностью давать количественную оценку неопределённости интерполяции. Метод обратных взвешенных расстояний (IDW) представляет собой детерминированный алгоритм, в котором значение в интерполируемой точке вычисляется как взвешенное среднее значений в измерительных узлах с весами, пропорциональными обратной степени расстояния [2, 5]. Метод прост в реализации,

вычислительно эффективен и обеспечивает приемлемые результаты при относительно равномерном размещении узлов, однако не даёт количественной оценки неопределённости и склонен к образованию артефактов типа «bull's eye» в окрестности измерительных точек [7]. Ординарный кригинг представляет собой геостатистический метод, основанный на модели пространственной автокорреляции через эмпирическую и теоретическую вариограмму [4]. Метод даёт несмещённую оценку с минимальной дисперсией и позволяет построить карту стандартной ошибки интерполяции – критически важную характеристику при редкой сети измерений, когда достоверность интерполированных значений варьирует в пределах области исследования [7]. Сплайн-интерполяция применяется при плавном изменении концентраций и малом числе узлов, однако склонна к генерации артефактов вблизи границ участка [2]. Сводное сопоставление методов приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительные характеристики методов пространственной интерполяции для построения поверхности концентраций CO₂

Метод	Математическая основа	Сложность	Оценка неопределённости	Область применимости
Обратные взвешенные расстояния (IDW)	Детерминированное взвешивание по d^{-p}	$O(N)$ на точку	Нет	Равномерная плотная сеть; быстрый расчёт
Ординарный кригинг	Геостатистическая модель с вариограммой	$O(N^3)$ подбор модели	Да (дисперсия)	Редкая сеть; требуется оценка ошибки
Сплайн-интерполяция	Минимизация кривизны поверхности	$O(N^2)$	Нет	Плавное поле; малое число узлов
Триангуляция Делоне (TIN)	Линейная интерполяция по треугольникам	$O(N \cdot \log N)$	Нет	Точное воспроизведение узлов; резкие перепады
Естественный сосед	Взвешивание по полигонам Вороного	$O(N \cdot \log N)$	Нет	Нерегулярная сеть; сохранение локальных экстремумов
Радиальные базисные функции	Линейная комбинация ядерных функций	$O(N^3)$	Косвенно	Гладкие поверхности; малые выборки

Третий этап – совмещение полученных поверхностей с материалами дистанционного зондирования Земли. Нормализованный дифференциальный вегетационный индекс (NDVI), рассчитываемый как отношение разности спектральных каналов ближнего инфракрасного и красного диапазонов к их сумме по данным спутниковых систем Sentinel-2 (пространственное разрешение 10 м) или Landsat-8 (разрешение 30 м), служит косвенным показателем фотосинтетической активности древостоя и продукционного потенциала экосистемы [3, 6]. Для древесной растительности значения NDVI лежат в диапазоне 0,6–0,95 в вегетационный период, снижаясь при ослаблении, поражении вредителями или дефолиации. Наложение изолиний интерполированной концентрации CO₂ на растр NDVI позволяет выявить участки, на которых наблюдаемые потоки расходятся с ожидаемыми для данного типа растительности: аномально высокая эмиссия CO₂ при высоких значениях NDVI может указывать на скрытый очаг деградации почвенного покрова, а пониженное поглощение углерода при низких NDVI – на экосистему в состоянии угнетения. Дополнительным слоем выступают материалы лесоустройства – карты выделов с атрибутами породного состава, возраста и бонитета древостоя, позволяющие интерпретировать пространственные аномалии в контексте таксационных характеристик насаждения.

Четвёртым этапом является автоматизированный анализ совмещённых пространственных данных с целью выявления статистически значимых закономерностей. Для этого применяются методы локальной пространственной статистики – индекс Морана, обобщённая локальная статистика Гетиса-Орда (G^*), позволяющие выделить «горячие» и «холодные» точки по концентрации CO_2 с количественной оценкой достоверности через z -оценку и p -значение. Статистика G^* вычисляется для каждой ячейки раstra как взвешенная сумма значений в пределах заданного радиуса автокорреляции, нормированная на общее среднее и стандартное отклонение; ячейки со значением $p < 0,05$ идентифицируются как кластеры достоверно повышенных либо пониженных значений [1]. Выявленные кластеры сопоставляются с рельефом, гидрологической сетью и следами антропогенной нагрузки, что формирует основу для принятия управленческих решений – назначения участков лесопатологического обследования, проведения санитарных рубок, противопожарных мероприятий, корректировки плана хозяйствования. Пример результирующей картосхемы для модельного лесного участка площадью 400 га с сетью из 16 сенсорных узлов приведён на рисунке 2.

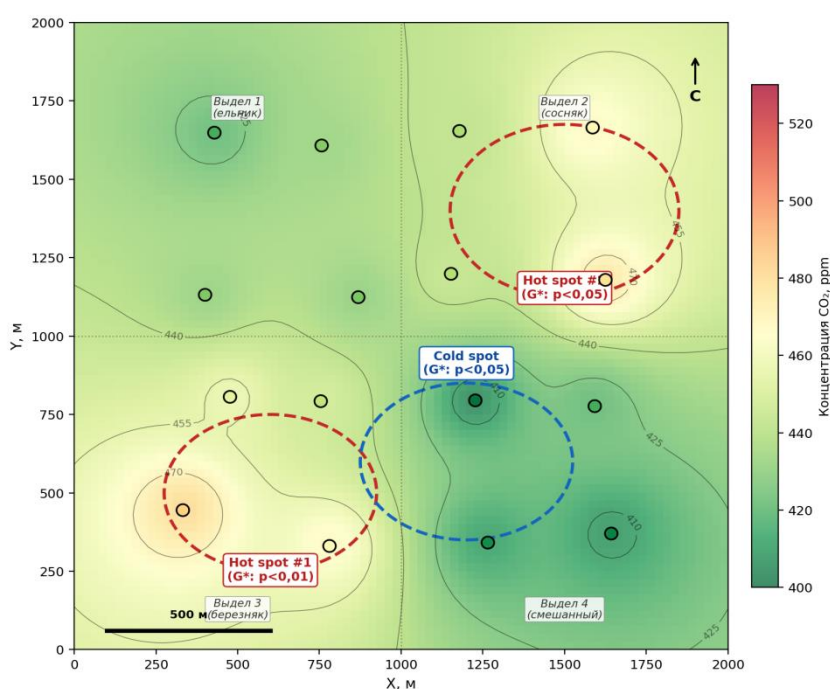


Рисунок 2 – Модельная картосхема лесного участка: интерполированная поверхность концентрации CO_2 , изолинии и кластеры локальной статистики Гетиса-Орда

Для практической реализации описанного конвейера рекомендуется программный стек на основе свободно распространяемых компонентов: PostgreSQL с расширением PostGIS в качестве пространственной базы данных, TimescaleDB как надстройка для хранения временных рядов телеметрии, QGIS 3.x в роли настольной ГИС-платформы для визуализации и анализа, библиотеки Python geopandas и rasterio либо пакет R sp/gstat для программной обработки пространственных данных. Для публикации аналитических продуктов применяется связка GeoServer + OpenLayers, обеспечивающая доступ к слоям по протоколам WMS/WFS. Данные Sentinel-2 и Landsat-8 доступны через сервис Copernicus Open Access Hub и Google Earth Engine соответственно, с возможностью прямого импорта в QGIS через подключаемые модули. Материалы государственного лесоустройства публикуются в открытом доступе на геопортале Рослесинфорга в формате Shapefile и WMS-сервиса. Применение описанного стека не требует лицензионных отчислений и обеспечивает полную воспроизводимость результатов пространственного анализа.

Результаты проведённого анализа позволяют сформулировать следующие выводы. Интеграция IoT-данных о концентрации CO_2 с ГИС преобразует точечные измерения в

пространственную модель газообмена лесной территории, пригодную для практического использования в лесном хозяйстве и климатическом мониторинге. Оптимальный рабочий стек включает сервер временных рядов для хранения телеметрии, пространственную СУБД PostGIS для хранения геоданных, открытую ГИС-платформу QGIS для интерактивного анализа и связку с данными спутникового зондирования Sentinel-2 и Landsat-8. Для редкой сети измерений предпочтителен ординарный кригинг с построением карт стандартной ошибки; для плотных регулярных сетей достаточно метода обратных взвешенных расстояний с кратным превышением вычислительной эффективности. Применение локальной статистики Гетиса-Орда обеспечивает статистически обоснованную идентификацию аномальных участков с уровнем достоверности $p < 0,05$, что соответствует требованиям к аналитическим продуктам лесопатологического обследования.

В работе систематизированы подходы к интеграции IoT-данных о концентрации CO₂ в среду геоинформационных систем для пространственного анализа лесных территорий. Предложен четырёхэтапный конвейер обработки, выполнено сравнение шести методов пространственной интерполяции, обоснован программный стек на основе открытых компонентов. На модельном лесном участке с сетью из 16 сенсорных узлов продемонстрировано выявление двух достоверных «горячих» и одной «холодной» зоны концентрации CO₂ методом локальной статистики Гетиса-Орда. Дальнейшие исследования предполагают разработку методики верификации интерполированных поверхностей концентрации CO₂ по данным независимых наземных измерений в условиях лесных массивов Белгородской области и построение региональной модели связи наблюдаемых потоков CO₂ с значениями вегетационного индекса NDVI для основных лесообразующих пород региона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вагизов, М. Р. Концепция инфраструктуры единого геоинформационного центра управления лесным хозяйством (часть 1) / М. Р. Вагизов, А. М. Заяц. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). – 2022. – Т. 27, № 3. – С. 50–61.
2. Мыслыва, Т. Н. Сравнение эффективности методов интерполяции на основе ГИС для оценки пространственного распределения гумуса в почве / Т. Н. Мыслыва, О. А. Куцаева, А. А. Подлесный. – Текст : непосредственный // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. – № 4. – С. 146–152.
3. Кравцова, В. И. Международный симпозиум по дистанционному зондированию Земли IGARSS-2002 (Канада) / В. И. Кравцова. – Текст : непосредственный // Лесоведение. – 2003. – № 5. – С. 73–74.
4. Кокорина, И. П. Применение методов интерполяции в зоогеографических исследованиях на базе ГИС-технологий / И. П. Кокорина. – Текст : непосредственный // Вестник СГГА (Сибирской государственной геодезической академии). – 2011. – № 2 (15). – С. 66–74.
5. Крюкова, С. В. Оценка методов пространственной интерполяции метеорологических данных / С. В. Крюкова, Т. Е. Симакина. – Текст : непосредственный // Учёные записки Российского государственного гидрометеорологического университета. – 2018. – № 51. – С. 96–108.
6. Баширова, Ч. Ф. Индекс NDVI для дистанционного мониторинга растительности / Ч. Ф. Баширова. – Текст : непосредственный // Молодой учёный. – 2019. – № 31 (269). – С. 30–31.
7. Применение методов пространственной интерполяции к гидрологическим данным на примере водосбора р. Карун (Иран). – Текст : электронный // КиберЛенинка : электронная библиотека научных публикаций. – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-metodov-prostranstvennoy-interpolyatsii-k-gidrologicheskim-dannym-na-primere-vodosbora-r-karun-iran> (дата обращения: 13.04.2026).

8. Раджабова, Р. Т. Использование индексных изображений при исследовании пространственно-временной динамики растительного покрова Внутригорного Дагестана / Р. Т. Раджабова [и др.]. – Текст : непосредственный // Юг России: экология, развитие. – 2020. – Т. 15, № 4. – С. 115–129.

Козлов Артём Владимирович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: kozlov_a@bsuedu.ru

Гончарова Ирина Ивановна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Аспирант кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: goncharova_i@bsuedu.ru

Масленникова Наталья Сергеевна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: 1952667@bsuedu.ru

*Научный руководитель:
Гончаров Дмитрий Викторович,
доцент кафедры информационных
и робототехнических систем,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

A.B. KOZLOV, I.I. GONCHAROVA, N.S. MASLENNIKOVA
A.V. KOZLOV, I.I. GONCHAROVA, N.S. MASLENNIKOVA

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ НА ПЕРИФЕРИИ В IoT-СИСТЕМАХ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА EDGE COMPUTING DATA PREPROCESSING IN IoT SYSTEMS FOR ECOLOGICAL MONITORING

Выполнен анализ алгоритмов предварительной обработки данных на периферийных устройствах IoT-систем экологического мониторинга, оперирующих в каналах связи LPWAN с регламентным ограничением скважности передачи до 1 % для диапазона 868 МГц. Систематизированы четыре функциональные группы алгоритмов уровня сенсорного узла: цифровая фильтрация шумов, детекция аномалий по статистическому критерию, агрегация и дельта-кодирование, событийная классификация на конечных автоматах. Приведены оценки вычислительной сложности, требований к памяти и достигаемой экономии сетевого трафика. Представлена двухуровневая архитектура edge-обработки с распределением функций между 32-разрядным микроконтроллером на ядре ARM Cortex-M0+ и шлюзом LoRaWAN. На синтезированном суточном ряду концентрации CO₂ продемонстрировано сокращение числа радиосеансов с 1440 до 25 при сохранении формы полезного сигнала.

Ключевые слова: edge computing, периферийные вычисления, интернет вещей, экологический мониторинг, цифровая фильтрация, детекция аномалий, дельта-кодирование, LoRaWAN, микроконтроллер.

An analysis of data preprocessing algorithms on peripheral devices of IoT systems for ecological monitoring operating over LPWAN communication channels with a regulatory duty cycle limit of 1 % for the 868 MHz band is performed. Four functional groups of algorithms at the sensor node level are systematized: digital noise filtering, anomaly detection by statistical criterion, aggregation and delta encoding, and event classification by finite state machines. Estimates of computational complexity, memory requirements, and achievable network traffic reduction are provided. A two-tier edge processing architecture is presented with functions distributed between a 32-bit ARM Cortex-M0+ microcontroller and a LoRaWAN gateway. On a synthesized daily CO₂ concentration series, a reduction of radio sessions from 1440 to 25 while preserving the useful signal shape is demonstrated.

Keywords: edge computing, peripheral computing, Internet of Things, ecological monitoring, digital filtering, anomaly detection, delta encoding, LoRaWAN, microcontroller.

Распределённые системы экологического мониторинга на базе Интернета вещей генерируют значительные объёмы телеметрических данных, непрерывная передача которых в облачную инфраструктуру сопряжена с высокими энергозатратами оконечных узлов и нагрузкой на канал связи. В условиях применения протоколов LPWAN с ограниченной пропускной способностью и регламентным ограничением скважности передачи – не более 1 % времени эфира на устройство в диапазоне 868 МГц согласно рекомендации ERC/REC 70-03 и предварительному национальному стандарту ПНСТ 516–2021 – передача «сырых» отсчётов с характерной для газоаналитических датчиков частотой 0,1–1 Гц становится принципиально невозможной [1, 6]. Концепция edge computing предполагает перенос части вычислительной нагрузки с облачного сервера на периферийные устройства сети – сенсорные узлы и шлюзы, что позволяет сократить объём трафика, повысить достоверность передаваемых данных и снизить задержку реакции системы на значимые события [1, 4]. Целью настоящей работы является анализ алгоритмов предварительной обработки данных на периферийных устройствах IoT-систем экологического мониторинга, оценка их эффективности по критериям снижения сетевого трафика и повышения достоверности измерений, а также обоснование

двухуровневой архитектуры edge-обработки, согласованной с аппаратными ограничениями типовой элементной базы автономного измерительного узла.

Методологическую основу исследования составил аналитический обзор публикаций 2017–2025 годов по архитектурам edge computing в IoT-сетях экологического назначения [1, 4], методам цифровой обработки сигналов в условиях ограниченных вычислительных ресурсов [2, 5] и алгоритмам статистического обнаружения аномалий в коротких временных рядах [7, 8]. В качестве критериев сравнения алгоритмов выбраны: вычислительная сложность по порядку выполняемых операций на один входной отсчёт, требования к оперативной памяти в байтах, типовое снижение сетевого трафика при применении алгоритма, основное ограничение, накладываемое на область применимости. Оценки получены по опубликованным результатам натурных измерений в сетях LoRaWAN и собственным аналитическим расчётам на модельных временных рядах, имитирующих суточную динамику концентрации CO₂ в лесной экосистеме.

Первая группа задач предварительной обработки связана с цифровой фильтрацией высокочастотных шумов. Для данных газоаналитических датчиков CO₂, регистрируемых с интервалом 1–10 секунд, характерна высокочастотная составляющая, обусловленная электрическими наводками на измерительный тракт, турбулентностью воздушных потоков в измерительной камере и дискретизационными артефактами АЦП с эффективной разрядностью 14–16 бит [5]. Простейшим решением, реализуемым на микроконтроллере без обращения к внешней памяти, является скользящее среднее по окну из N отсчётов, требующее хранения N последних значений и выполнения одного сложения и одного вычитания на каждый новый отсчёт. Для более точного выделения полезного сигнала применяется экспоненциальное сглаживание (EWMA) с рекуррентной формулой $y[n] = \alpha \cdot x[n] + (1-\alpha) \cdot y[n-1]$ при коэффициенте α в диапазоне 0,1–0,3, позволяющее адаптивно реагировать на медленные тренды при подавлении импульсных помех и требующее хранения единственного значения предыдущего выхода фильтра [5]. Медианный фильтр обеспечивает нелинейное подавление выбросов с сохранением резких фронтов, однако его вычислительная сложность $O(N \cdot \log N)$ на отсчёт при сортировке окна ограничивает практическое применение для N свыше 16 на микроконтроллерах массового сегмента.

Вторая группа задач – обнаружение аномалий и неисправностей сенсора. Статистический метод на основе z -оценки, представляющей собой количество стандартных отклонений от скользящего среднего, реализуется по рекуррентным формулам для среднего и несмещённой дисперсии и требует хранения всего двух величин. Пороговое значение $|z| > 3$ позволяет отсеять явные выбросы, связанные с отказом сенсора, электромагнитными наводками или кратковременными локальными возмущениями, до отправки данных на сервер. Применение такого подхода в сетях IoT-мониторинга снижает объём передаваемых искажённых пакетов на 15–30 % по сравнению с прямой ретрансляцией сырых отсчётов [2, 7]. Методы, основанные на скользящих окнах с расчётом выборочного среднего и выборочной дисперсии, получили распространение в задачах анализа сетевого трафика и промышленной телеметрии [7]; для периферийных устройств с ограниченными вычислительными ресурсами они представляют оптимальный компромисс между качеством детекции и требуемым объёмом оперативной памяти.

Третья группа задач – агрегация и дельта-кодирование. Вместо передачи каждого отсчёта узел формирует компактный пакет из статистических характеристик за интервал (минимум, максимум, среднее, стандартное отклонение) либо передаёт только те значения, отклонение которых от предыдущего отправленного превышает заданный порог. Для данных о концентрации CO₂ в лесных экосистемах, где характерные суточные колебания составляют 50–150 ppm при высокочастотной составляющей шума 5–15 ppm, пороговая передача с шагом 10 ppm сокращает число радиосеансов в 20–60 раз относительно непрерывной телеметрии с минутной дискретизацией, пропорционально увеличивая ресурс батареи узла и высвобождая полосу пропускания LoRaWAN-шлюза для обслуживания большего числа конечных устройств. Алгоритмы сжатия временных рядов с применением методов нечёткой логики

обеспечивают дополнительное снижение объёма на 5 % при равном качестве обнаружения аномалий [8].

Четвёртая группа – детекция значимых событий непосредственно на устройстве. Для систем мониторинга лесной среды такими событиями являются: аномально высокая эмиссия CO₂, характерная для очагов деградации почвенного покрова или тления торфа; резкое изменение микроклиматических параметров, предвещающее распространение низового пожара; нарушение суточного цикла дыхания экосистемы, свидетельствующее об аномальных погодных условиях. Реализация правил детекции в виде конечных автоматов на стороне узла с 8–32 байтами памяти состояний позволяет сформировать компактное событийное уведомление размером не более полезной нагрузки одного LoRaWAN-кадра (11–51 байт в зависимости от коэффициента расширения) вместо непрерывной передачи сырых данных, что полностью соответствует парадигме LPWAN с её регламентными ограничениями на duty cycle [3].

Дополнительные функции edge computing реализуются на уровне шлюза, обладающего большими вычислительными ресурсами, чем оконечный узел: современные промышленные шлюзы LoRaWAN строятся на базе многоядерных процессоров с 512 МБ и более оперативной памяти. К задачам этого уровня относятся: буферизация принятых кадров при кратковременной недоступности облачного сервера (backhaul-линии) с последующей пакетной отправкой; пространственное сглаживание телеметрии от группы территориально близких узлов методом взвешенного усреднения для повышения отношения сигнал/шум; предварительная классификация состояний экосистемы на основе простых моделей машинного обучения (решающие деревья, логистическая регрессия), не требующих GPU-ускорителей. Общее распределение функций обработки между уровнями сенсорного узла, шлюза и облачной инфраструктуры приведено на рисунке 1.

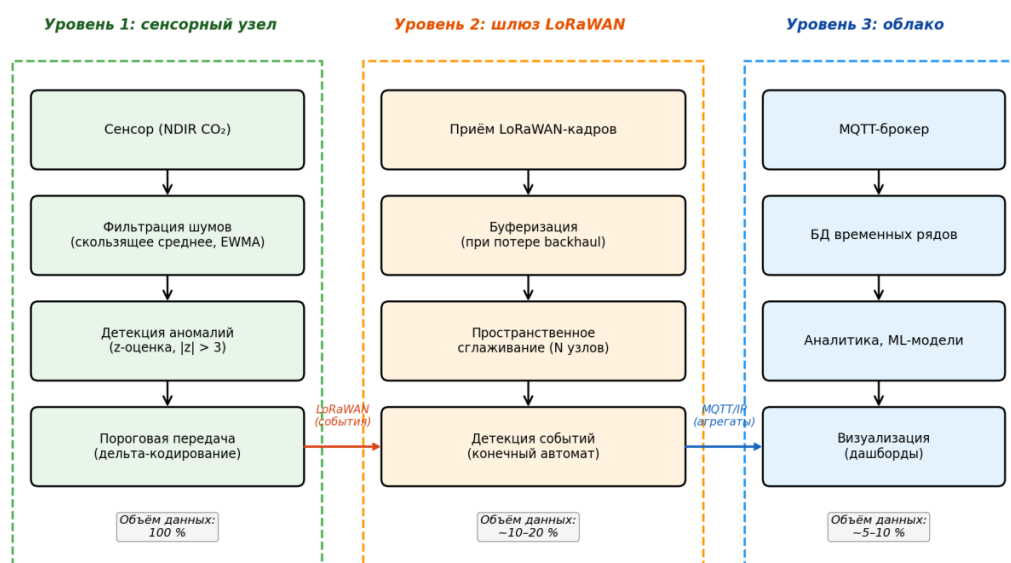


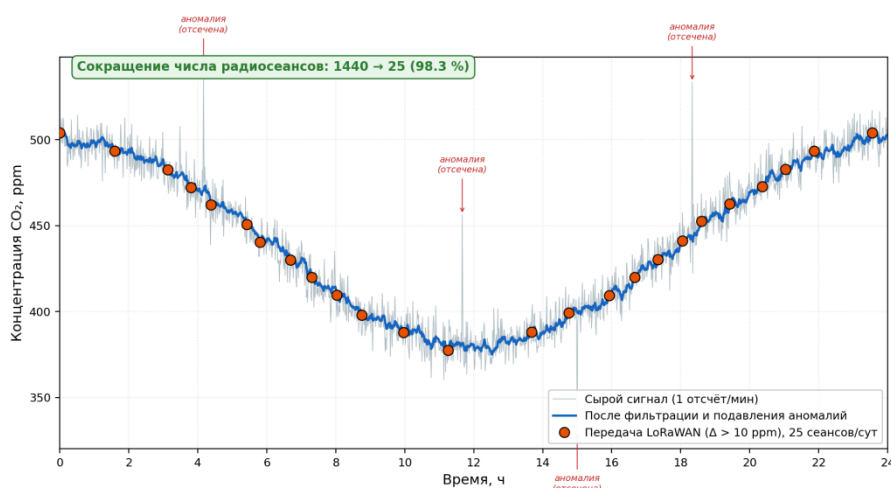
Рисунок 1 – Распределение функций предварительной обработки данных между уровнями сенсорного узла, шлюза LoRaWAN и облачной инфраструктуры

Сводное сопоставление рассмотренных алгоритмов по критериям вычислительной сложности, требований к оперативной памяти и достигаемого снижения сетевого трафика приведено в таблице 1. Оценки сложности даны в нотации «большое O» на один входной отсчёт; требования к памяти указаны в байтах при представлении чисел в формате IEEE 754 single precision (32 бита); оценки снижения трафика получены для исходной частоты опроса 1 отсчёт/мин и представляют диапазон значений в зависимости от характера сигнала и настройки параметров алгоритма.

Таблица 1 – Сравнительные характеристики алгоритмов предварительной обработки данных на периферийных устройствах IoT

Алгоритм	Сложность	Память, байт	Снижение трафика, %	Основное ограничение
Скользящее среднее по окну N	$O(N)$ на отсчёт	$4 \cdot N$	0–5	Задержка группы $\sim N/2$
Экспоненциальное сглаживание (EWMA)	$O(1)$	4	0–5	Фазовая задержка
Медианный фильтр по окну N	$O(N \cdot \log N)$	$4 \cdot N$	5–10	Нелинейность АЧХ
Детекция аномалий по z-оценке	$O(1)$ при рекуррентном обновлении	8	15–30	Ложные срабатывания при нестационарности
Пороговая передача (дельта-кодирование)	$O(1)$	4	80–98	Потеря мелких колебаний
Агрегация (min/max/avg/ σ за окно)	$O(N)$ на окно	16 на окно	70–95	Потеря формы сигнала
Детекция событий конечным автоматом	$O(1)$ переход	8–32 (состояния)	90–99	Требует априорной настройки порогов

Эффективность применения комплекса алгоритмов продемонстрирована на синтезированном суточном ряду концентрации CO_2 , имитирующем типичную динамику в лесной экосистеме средней полосы: амплитуда суточных колебаний 120 ppm с минимумом в дневное время около 380 ppm и максимумом в ночное около 500 ppm, высокочастотная шумовая составляющая со стандартным отклонением 8 ppm, четыре преднамеренно введённые аномалии амплитудой 70–80 ppm, имитирующие кратковременные выбросы. Применение экспоненциального сглаживания с $\alpha = 0,15$ подавляет высокочастотный шум без существенной фазовой задержки; z-детектор с пороговым значением 3 и скользящим окном 30 отсчётов корректно идентифицирует все четыре аномалии и заменяет их средним значением по окну; пороговая передача с шагом 10 ppm формирует 25 радиосеансов за сутки вместо 1440 при непрерывной ретрансляции. Результаты обработки представлены на рисунке 2.

Рисунок 2 – Сырой и обработанный сигнал концентрации CO_2 с отмеченными моментами пороговой передачи

Для практической реализации предложенного комплекса алгоритмов достаточно вычислительных ресурсов 32-разрядных микроконтроллеров массового сегмента на ядре ARM Cortex-M0+ с тактовой частотой 32 МГц, 128 кБ флеш-памяти и 20 кБ ОЗУ. Оценка

загрузки процессора для полной цепочки обработки (экспоненциальное сглаживание, z-детектор, пороговая передача, формирование LoRaWAN-кадра) составляет не более 0,5 % процессорного времени при частоте опроса 1 Гц, что оставляет достаточный запас для реализации протокольного стека LoRaWAN и задач энергосбережения. Объём кода всех рассмотренных алгоритмов, реализованных на языке С с использованием стандартной библиотеки CMSIS-DSP, не превышает 4 кБ флеш-памяти. Такие показатели делают предложенное решение применимым к серийно выпускаемым сенсорным узлам без модификации аппаратной платформы.

Результаты проведённого анализа позволяют сформулировать следующие выводы. Применение алгоритмов edge computing в IoT-системах экологического мониторинга обеспечивает сокращение сетевого трафика на 80–98 % при сохранении формы полезного сигнала и повышении достоверности передаваемых данных за счёт предварительного подавления аномальных выбросов. Наибольший эффект достигается при комплексном применении алгоритмов всех четырёх групп на уровне сенсорного узла с дополнением функциями буферизации и пространственного сглаживания на уровне шлюза. Для практической реализации достаточно вычислительных ресурсов современных 32-разрядных микроконтроллеров массового сегмента, что не требует усложнения аппаратной части автономных измерительных узлов.

В работе систематизированы алгоритмы предварительной обработки данных на периферийных устройствах IoT-систем экологического мониторинга, формализованы критерии их сравнения, предложена двухуровневая архитектура edge-обработки с распределением функций между сенсорным узлом и шлюзом LoRaWAN. На модельном суточном ряду концентрации CO₂ показано сокращение числа радиосеансов в 57 раз при сохранении формы полезного сигнала. Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку библиотеки типовых алгоритмов обработки сигналов газоаналитических датчиков для применения в автономных IoT-узлах лесного мониторинга и на полевую верификацию эффективности предложенных алгоритмов в условиях реальной эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кирсанова, А. А. Обзор технологий организации туманных вычислений / А. А. Кирсанова, Г. И. Радченко, А. Н. Черных. – Текст : непосредственный // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Вычислительная математика и информатика. – 2020. – Т. 9, № 3. – С. 35–63.
2. Дементьев, В. Е. Обнаружение протяжённых аномалий на многозональных изображениях / В. Е. Дементьев. – Текст : непосредственный // Научно-технологические исследования. – 2007. – № 3. – С. 3–14.
3. Садовский, М. К. Разработка IoT-системы контроля микроклимата для особо охраняемых природных территорий / М. К. Садовский, Т. Д. Мустакаев. – Текст : непосредственный // World Science: Problems and Innovations : сборник трудов научно-практической конференции. – 2025. – С. 9–14.
4. Росляков, А. В. Интернет вещей : учебное пособие / А. В. Росляков, С. В. Ваняшин, А. Ю. Гребешков. – Самара : ПГУТИ, 2015. – 200 с. – Текст : непосредственный.
5. Технологии обработки и очистки данных, выявления и устранения шумов на временном ряду. – Текст : электронный // КиберЛенинка : электронная библиотека научных публикаций. – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologii-obrabotki-i-ochistki-dannyh-vremennom-ryadu> (дата обращения: 13.04.2026).
6. ПНСТ 516–2021. Информационные технологии. Интернет вещей. Спецификация LoRaWAN RU : предварительный национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утверждён и введён в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 08 февраля 2021 г. № 23-пнст : дата введения 2021–07–01. – Москва : Стандартинформ, 2021. – 44 с. – Текст : непосредственный.

7. Анализ информативных признаков в задачах обнаружения аномалий трафика статистическими методами. – Текст : электронный // КиберЛенинка : электронная библиотека научных публикаций. – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-informativnyh-priznakov-v-zadachah-obnaruzheniya-anomaliy-trafika-statisticheskimi-metodami> (дата обращения: 13.04.2026).

8. Скалкин, А. М. Подход для сжатия временных рядов с использованием методов нечёткой логики для поиска аномалий / А. М. Скалкин, А. А. Романов. – Текст : непосредственный // Автоматизация процессов управления. – 2022. – № 2 (68). – С. 66–76.

Козлов Артём Владимирович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: kozlov_a@bsuedu.ru

Гончарова Ирина Ивановна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Аспирант кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: goncharova_i@bsuedu.ru

Масленникова Наталья Сергеевна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: 1952667@bsuedu.ru

УДК 551.509.33:004.89

*Научный руководитель:
Федоров Вячеслав Игоревич,
доцент кафедры информационных
и робототехнических систем,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

Д.К. КУХАРЬ
D.K. KUKHAR

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ ДЛЯ СРЕДНЕСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

MODERN DATA MINING METHODS FOR MEDIUM-TERM TEMPERATURE FORECASTING

В данной статье автор освещает проблему повышения точности среднесрочного прогнозирования температуры в диапазоне от 3 до 10 дней, что в свою очередь критически важно для увеличения эффективности энергосистем. Рассматривая экспоненциальный рост метеоданных, можно прийти к выводу о том, классические статистические модели типа ARIMA демонстрируют неспособность в полной мере обработать нелинейные климатические вихри. Цель данной работы заключается в том, чтобы систематизировать и провести сравнительный анализ интеллектуальных подходов, а именно традиционных методов, алгоритмов машинного и глубокого обучения. После анализа складывается вывод о том, что модели глубокого обучения обеспечивают превосходство в точности порядка 15-25%, ввиду чего можно сказать, что будущее прогнозирования отведено за гибридными моделями, которые усиливают глубокие сети данными.

Ключевые слова: среднесрочное прогнозирование температуры, интеллектуальный анализ данных, машинное обучение, глубокое обучение, временные ряды, catBoost, lightGBM, LSTM, трансформеры.

In the given article the author highlights the problem of improving the accuracy of medium-term temperature forecasting within a 3 to 10-day range, which is critically important for enhancing the efficiency of power systems. Considering the exponential growth of meteorological data, it can be concluded that classical statistical models such as ARIMA demonstrate an inability to fully process non-linear climatic fluctuations. The goal of this work is to systematize and conduct a comparative analysis of intelligent approaches, namely traditional methods, machine learning, and deep learning algorithms. Following the analysis, it is concluded that deep learning models provide a superiority in accuracy of approximately 15-25%, suggesting that the future of forecasting lies with hybrid models that augment deep networks with specialized data.

Keywords: medium-term temperature forecasting, data mining, machine learning, deep learning, time series, catBoost, lightGBM, LSTM, transformers.

В системах прогнозирования температуры воздуха важно обращать внимание на то, что резкие колебания всегда будут требовать своевременной корректировки генерации [11]. В настоящее время методы по типу машинного обучения, например, градиентный бустинг, способны перерабатывать большие потоки при помощи анализа связей между давлением, влажностью и ветром. Такой подход обладает высокой точностью, приблизительно, на 15-20% выше базовой [15].

Различные источники метеоданных, например, радары, спутники и сенсоры, формируют существенный объем, но в последнее время он взлетел в разы. Это в свою очередь является большой проблемой для моделей типа ARIMA, что затрудняет их применение в нелинейных вихрях климата [13]. Но другие модели же, например, глубокие сети, которые в том числе включают в себя LSTM, могут добавлять временные циклы как в примерах с волатильностью потоков [2] или значительной эволюции импульсов в оптике [3]. Подход глубоких сетей считается отражением мирового тренда, где от статистических уравнений стремительно развивается подход адаптивных алгоритмов, например, LightGBM, а также различных трансформеров, которые могут решить задачи, что вчера еще не могли быть достаточно эффективно решены [5].

Данная работа направлена на систематизацию различных подходов к среднесрочному прогнозированию температуры, где главной опорой будет служить интеллектуальный анализ данных [4]. Главное, с чего стоит начать, так это разграничить методы по типам, а именно традиционные статические, построенные на базе машинного обучения, а также типы на основе глубокого обучения [7]. Далее необходимо будет углубиться в спецификацию ARIMA, оценить то, как те же случайные леса по типу LightGBM или CatBoost работают с различными метеоданными, а также учитывают их нелинейность.

Такие модели как ARIMA или же авторегрессионные интегрированные скользящие средние, прежде всего строятся на предположении о том, что различные значения температуры в будущем зависят от предыдущих наблюдений и ошибок предсказания. Главной формулой, которая может объединить три компонента, а именно авторегрессионный порядок, который помогает определить влияние лагов, степень дифференцирования, которая помогает достичь стационарности ряда, а также скользящее среднее, что учитывает коррелированные шумы [17]. Перед применением модели важно проверить стационарность тестом Дики-Фуллера. Параметры для модели необходимо подобрать по автокорреляционной функции ACF и частичной PACF [6].

Если говорить о задачах вроде прогнозирования погоды, особенно, в мегаполисах, где климат похож на Московский, то можно понять, что идеальных временных рядов практически не существует, так как постоянно приходится работать с данными, у которых есть различные внезапные скачки или выбросы. Если же рассмотреть метеоданные столичной обсерватории за года 2010-2020, то можно сделать логичный вывод, что чтобы добиться нормальной работы модели, необходимо сначала хорошо подготовить температурные ряды.

Все те, кто хотя бы раз работал с подобным прогнозированием знают, что фильтрация и очистка являются ключевыми этапами и если их не произвести, то на выходе получится большое количество шумов, которые отчетливо видно на длительных временных интервалах. Поэтому, всегда необходимо стабилизировать данные, а именно не только проводить фильтрацию резких всплесков, но и логарифмировать, чтобы стабилизировать динамику ряда. Также можно повысить точность прогноза при помощи объединения с показателями давления и влажности, ведь такая комбинация дает прирост точности в среднем на 10-15%.

Далее следует поговорить о методе сглаживания, например, методе Холта, в котором используется параметр β , что позволяет моделям не просто выпрямлять среднее значение ряда, но и предугадывать наклон линии на графике. Такой метод позволяет визуализировать прогноз двух параллельных дорог, где одна обновляет уровень, а другая проводит оценку направления тренда [10].

Следующий же метод называется моделью Холта-Уинтерса. Эта модель подключает еще дополнительно параметр γ – так называемый коэффициент сезонности. Можно представить такой пример, где модель начинает замечать годовой цикл автоматически, а пару лет ежедневных наблюдений дают алгоритму понять привычные ритмы климата, и он начинает отличать зиму от лета сам-сбой.

Еще один важный метод, хотя и кажется довольно старомодным, но является очень эффективным – это случайные леса. В данном методе человек ощущает себя действительно инженером, так как он собирает десятки решающих деревьев так, чтобы каждое работало со своим набором признаков.

В случае, когда нужно получить прогноз на несколько дней вперед, то каждое дерево строится на основе так называемых лагов данных. Лаги – это такой учет значений из прошлого для разных отрезков времени. В итоге, чтобы получить комплексное финальное решение, выполняется коллективное голосование всех моделей сразу, а из-за этого как раз можно поймать сложные нелинейные связи между тем «что было вчера» и «как будет послезавтра».

Одно из недавних исследований, где взяли модель на 500 деревьях с глубиной до 15 уровней, а затем проверили ее на задачах анализа сезонности климата, привело к выводу о том, что модель, действуя банально через усреднение решений каждого дерева смогла снизить RMSE примерно 20 % в сравнение с одиночным деревом [9].

Если говорить о том, как лучше подбирать параметры, а именно то, сколько деревьев вырастить, какой должен быть минимальный размер листа, а также сколько признаков пробовать при каждом разветвлении. Для решения данной задачи часто применяется метод Grid Search. В итоге, в случаях, когда дело касается месячных прогнозов, данный подход позволяет повысить точность на 1,5–2°C, а если еще и добавить сюда снимки из космоса, то за счёт мощности кластеров можно обрабатывать терабайтные архивы и не бояться больших затрат на обучении, что в свою очередь даст более точные прогнозы [20].

Если говорить про градиентный бустинг, важно отметить, что логика в нем ближе к многозадачной работе, где каждое следующее дерево не просто дописывает версию прогноза рядом с остальными, но и внимательно изучает, где ошиблись предыдущие, а также исправляет конкретные места [12]. Также дополнительно может использоваться алгоритм оптимизации на основе градиентного спуска, который последовательно будет минимизировать ошибки. Такой алгоритм повторяется из раза в раз. Главным же отличием от тех же случайных лесов является то, что тут модель строится друг за другом, поэтому легко получается выстраивать сложные нелинейные закономерности, что в климатических задачах является очень полезным.

Тот же LightGBM ускоряет процесс за счет гистограммного подхода, то есть, биннинга непрерывных фичей, который снижает объем вычислений, а leaf-wise стратегия позволяет фокусироваться на самых перспективных ветвях в ходе роста дерева. Если же прогнозировать температуру в период от 3 до 7 дней, то модель обучается на прошлых значениях, например, в одном из кейсов с данными европейских метеостанций, модель смогла сократить MAE на 20% по сравнению с базовыми регрессорами на типовом вычислительном оборудовании.

Модель CatBoost поддерживает работу с категориями без one-hot кодирования, используя упорядоченный бустинг и симметричные деревья, минимизируя переобучения на шумных рядах, что в свою очередь критично для температуры при включении номинальных фичей, как тип области или регион [1]. Проведенные тесты на архивах NOAA показало, что CatBoost может лучше захватить аномалии, вроде тепловых волн с RMSE на уровне 1,5°C [19]. Таким образом можно сказать, что оба инструмента масштабируемы для больших датасетов, интегрируясь с тем же scikit-learn для прототипирования.

Рекуррентные сети позволяют справляться с последовательностями, у которых каждый шаг зависит от предыдущего, а это в свою очередь актуально для временных рядов вроде температур [18]. Однако рекуррентные нейронные сети (RNN) страдают от затухания градиента и из-за этого они теряют информацию на больших интервалах. LSTM решает эту проблему при помощи так называемых ворот, первые врата стирают ненужное, вторые врата выдают свежие данные, а третьи формируют выход. Если копнуть чуть глубже, то можно увидеть не только LSTM, но и его менее проблемного собрата GRU. Здесь идея в том, чтобы упростить внутреннюю структуру. GRU имеет всего два типа ворот, которые принимают решения, а именно стоит ли забывать что-то из прошлого опыта или необходимо обновить текущие воспоминания. Удивительно, но в большинстве реальных задач такое упрощение приносит свои плоды по принципу чем меньше параметров в сети, тем можно гораздо эффективней обучать модель на больших наборах данных и не особо терять в точности.

В инженерной практике разработчики часто действуют прагматично. Они не используют только GRU или LSTM, а скрещивают архитектуры или дополняют их различными признаками. Например, при работе с температурой воздуха разработчики предпочитают объединять нейросеть с погодными параметрами, тем самым добиваются MAE меньше 1°C [16].

Почти все те, кто хотя бы раз сталкивался с задачами вроде машинного перевода или же различного прогнозирования, то должен был слышать о трансформерах, которые буквально смогли перевернуть отношение к работе с последовательностями, потому что раньше приходилось протаскивать данные шаг за шагом через рекуррентные слои (например, LSTM, который являлся механизмом последовательной передачи состояний), то теперь модель может сразу охватить всю последовательность целиком. Самое интересное, что это

получилось благодаря self-attention, в котором каждый элемент может подсмотреть за любым другим в ряду, вне зависимости от их положений, а самое главное, что не нужно ждать, пока какой-либо сигнал доберется до нужной точки, так как все происходит одновременно и напрямую.

Комбинация, в которой свободный глобальный взгляд, а также ориентация во времени, смогла изменить правила игры для временных рядов, например, если нужно проанализировать погодные параметры как многомерную последовательность, то трансформерная архитектура позволяет выявлять зависимости на любом расстоянии и без ограничений. Например, модели типа Informer вообще идут дальше, так как они используют трюк с разреженным вниманием, чтобы не упираться в квадратичную сложность по длине последовательности, а также не терять важную для модели информацию.

У многослойных блоков есть преимущество над моделями LSTM, потому что, в тех же задачах прогноза суточной температуры в Европе, трансформер может дать MAE на 15-20% ниже, благодаря контексту, а варианты вроде Autoformer вводят декомпозицию с сезонности в слои, что еще сильнее усиливает точность для нестационарных метеоданных. В настоящее время такие сети уже интегрируют в гибридные системы с графовыми структурами, чтобы анализировать и открывать путь к оперативным оценкам [8].

Проанализировав различные модели, можно выделить то, что превосходство моделей глубокого обучения над статистическими достигает 15-25% по критерию точности прогноза. ML-алгоритмы в свою очередь оптимальны для интерпретируемости, а бустинг справляется с шумом лучше лесов, те же трансформеры минимизируют ошибки для длинных последовательностей, однако запрашивают большое количество вычислительных ресурсов, поэтому гибридные модели вероятнее всего будут доминировать.

В будущем ожидается прорыв гибридных моделей, где трансформеры усиливать LSTM, поэтому рекомендуется внедрять технологии интерпретируемого искусственного интеллекта (XAI) для прозрачности прогнозов и тестировать на различных климатических сдвигах, тем самым минимизируя риски [14].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Видясова, Л. А. Машинное обучение и NLP в оценке территориальных различий социального самочувствия: комбинированный анализ опросов и данных ВКонтакте / Л. А. Видясова, И. А. Чижик, Е. С. Жеребцова. – DOI 10.17323/727-0634-2025-23-4-725-750. – Текст : электронный // Журнал исследований социальной политики. – 2025. – Т. 23, № 4. – С. 725–750. – URL: <https://doi.org/10.17323/727-0634-2025-23-4-725-750> (дата обращения: 14.03.2026).
2. Патласов, Д. А. Гибридные подходы к прогнозированию реализованной волатильности ETF: глубокое обучение и теорема восстановления / Д. А. Патласов. – DOI 10.17323/1813-8691-2025-29-1-103-131. – Текст : электронный // Экономический журнал ВШЭ. – 2025. – Т. 29, № 1. – С. 103–131. – URL: <https://doi.org/10.17323/1813-8691-2025-29-1-103-131> (дата обращения: 14.03.2026).
3. Машинное обучение для предсказания нелинейной эволюции импульса в волоконном усилителе: роль экспериментальных данных в обучении / Беднякова А. Е. [и др.]. – DOI 10.22184/9785948367361.357.359. – Текст : электронный // Фотоника : [сборник трудов]. – 2025. – С. 357–359. – URL: <https://doi.org/10.22184/9785948367361.357.359> (дата обращения: 14.03.2026).
4. Алиева, М. А. Обучение алгоритмике и структурам данных без языка программирования / М. А. Алиева, Х. С. Абазатов. – DOI 10.36684/118-2025-4-8-5-10. – Текст : электронный // Вестник ГГНТУ. Технические науки. – 2025. – Т. 4, № 8. – С. 5–10. – URL: <https://doi.org/10.36684/118-2025-4-8-5-10> (дата обращения: 16.03.2026).
5. Царькова, Е. Г. Интеллектуальный анализ данных / Е. Г. Царькова. – Ставрополь : Изд-во НИЦ, 2024. – 144 с. – DOI 10.38006/00187-862-9.2024.1.144. – Текст : электронный. – URL: <https://doi.org/10.38006/00187-862-9.2024.1.144> (дата обращения: 17.03.2026).

6. Царькова, Е. Г. Интеллектуальный анализ данных и математическое моделирование систем : учебное пособие / Е. Г. Царькова. – Ставрополь : Изд-во НИЦ, 2024. – 159 с. – ISBN 978-5-00187-812-4. – DOI 10.38006/00187-812-4.2024.1.159. – Текст : электронный. – URL: <https://doi.org/10.38006/00187-812-4.2024.1.159> (дата обращения: 17.03.2026).
7. Карцан, И. Н. Машинное обучение в бизнес-аналитике / И. Н. Карцан, Р. М. Нуриев. – DOI 10.47813/2782-5280-2024-3-4-0313-0321. – Текст : электронный // Современные инновации, системы и технологии. – 2024. – Т. 3, № 4. – С. 313–321. – URL: <https://doi.org/10.47813/2782-5280-2024-3-4-0313-0321> (дата обращения: 17.03.2026).
8. Машинное обучение системы управления и наведения ракеты / А. Аязбай, А. Сўлтан, А. Узбекбаев [и др.]. – DOI 10.52167/1609-1817-2024-135-6-151-160. – Текст : электронный // Вестник АЛТ. – 2024. – № 135 (6). – С. 151–160. – URL: <https://doi.org/10.52167/1609-1817-2024-135-6-151-160> (дата обращения: 21.03.2026).
9. Иванов, А. Ю. Машинное обучение в задаче оценки качества изображений в системах со сверхразрешением / А. Ю. Иванов. – DOI 10.17308/sait/1995-5499/2023/2/132-145. – Текст : электронный // Вестник ВГУ. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2023. – № 2. – С. 132–145. – URL: <https://doi.org/10.17308/sait/1995-5499/2023/2/132-145> (дата обращения: 22.03.2026).
10. Cerbu, O. Введение в машинное обучение на Python: основы и практика / O. Cerbu, T. Sestacova, N. Mironov. – DOI 10.46727/c.steam-2023.p260-271. – Текст : электронный // STEAM-2023 : материалы конференции. – 2023. – С. 260–271. – URL: <https://doi.org/10.46727/c.steam-2023.p260-271> (дата обращения: 24.03.2026).
11. Ножко, С. И. Машинное обучение на алюминиевом заводе / С. И. Ножко, В. И. Зенкин, В. В. Бондарев. – DOI 10.34706/de-2023-02-12. – Текст : электронный // Цифровая экономика. – 2023. – № 2. – URL: <https://doi.org/10.34706/de-2023-02-12> (дата обращения: 24.03.2026).
12. Конев, И. В. Машинное обучение для поддержки принятия решений в сфере качества на промышленном предприятии / И. В. Конев. – DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-3-689-703. – Текст : электронный // Экономика. Информатика. – 2023. – Т. 50, № 3. – С. 689–703. – URL: <https://doi.org/10.52575/2687-0932-2023-50-3-689-703> (дата обращения: 24.03.2026).
13. Ибрагимов, Т. М. Большие данные и машинное обучение / Т. М. Ибрагимов, Г. В. Шахбазова. – DOI 10.18411/trnio-12-2022-491. – Текст : электронный // Тенденции развития науки и образования. – 2022. – № 92, ч. 10. – С. 491–495. – URL: <https://doi.org/10.18411/trnio-12-2022-491> (дата обращения: 24.03.2026).
14. Быков, А. В. Закон, мораль и машинное обучение: взгляд судей на сущность и перспективы роботизации правосудия / А. В. Быков, А. И. Нарская. – DOI 10.14515/monitoring.2022.5.2137. – Текст : электронный // Мониторинг общественного мнения: Экономические и социальные перемены. – 2022. – № 5. – URL: <https://doi.org/10.14515/monitoring.2022.5.2137> (дата обращения: 25.03.2026).
15. Rakhmatulin, I. Нейросети, глубокое обучение, машинное зрение в сельском хозяйстве. Краткий обзор для 2021 года / I. Rakhmatulin. – DOI 10.24108/preprints-3112205. – Текст : электронный // Препринты. – 2021. – URL: <https://doi.org/10.24108/preprints-3112205> (дата обращения: 25.03.2026).
16. Джамулуев, А. С. Машинное обучение в анализе неструктурированных данных / А. С. Джамулуев, Т. В. Батукаева. – DOI 10.36684/51-2021-1-36-40. – Текст : электронный // Вестник ГГНТУ. Гуманитарные и социально-экономические науки. – 2021. – Т. 1, № 1. – С. 36–40. – URL: <https://doi.org/10.36684/51-2021-1-36-40> (дата обращения: 25.03.2026).
17. Чернавин, Н. П. Машинное обучение на основе задач математического программирования / Н. П. Чернавин, Ф. П. Чернавин, А. А. Панкращенко. – Москва : Наука, 2021. – 230 с. – DOI 10.7868/9785020409088. – Текст : непосредственный.

18. Минаев, С. А. Машинное обучение в лингвистике / С. А. Минаев, У. И. Гишлакаев. – DOI 10.36684/36-2021-1-187-190. – Текст : электронный // Вестник ГГНТУ. Гуманитарные и социально-экономические науки. – 2021. – Т. 1, № 1. – С. 187–190. – URL: <https://doi.org/10.36684/36-2021-1-187-190> (дата обращения: 26.03.2026).

19. Илларионов, А. С. Как машинное обучение помогает изучать Солнце / А. С. Илларионов, В. М. Садыков. – DOI 10.7868/s0044394821040034. – Текст : электронный // Земля и Вселенная. – 2021. – № 4. – С. 15–22. – URL: <https://doi.org/10.7868/s0044394821040034> (дата обращения: 28.03.2026).

20. Кокшарова, А. А. Обучение робототехнических устройств визуальной идентификации и комплексному анализу данных / А. А. Кокшарова. – DOI 10.18411/trnio-09-2021-15. – Текст : электронный // Тенденции развития науки и образования. – 2021. – № 77, ч. 2. – С. 15–19. – URL: <https://doi.org/10.18411/trnio-09-2021-15> (дата обращения: 29.03.2026).

Кухарь Даниил Константинович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: dxkuhar@gmail.com

УДК 004.9

*Научный руководитель:
Чеботарев Вячеслав Алексеевич,
преподаватель инжинирингового колледжа
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

**В.В. ЛАПШИНА
V.V. LAPSHINA**

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ЗАПИСИ НА ПРИЕМ И УЧЕТА ОКАЗАННЫХ УСЛУГ В ВЕТЕРИНАРНОЙ КЛИНИКЕ

DEVELOPMENT OF AN INFORMATION SYSTEM FOR APPOINTMENT REGISTRATION AND RECORDING OF SERVICES PROVIDED AT A VETERINARY CLINIC

В данной статье автор освещает проблему автоматизации процессов записи на прием и учета оказанных услуг в ветеринарной клинике. Также в статье рассматривается разработка информационной системы, позволяющей упростить регистрацию клиентов, ведение базы данных пациентов и планирование приема, что способствует повышению эффективности работы ветеринарного учреждения.

Ключевые слова: информационная система, ветеринарная клиника, автоматизация, запись на прием, учет услуг.

In this article, the author addresses the issue of automating appointment booking and service accounting processes in a veterinary clinic. The article also discusses the development of an information system to simplify client registration, patient database management, and appointment scheduling, thereby improving the efficiency of a veterinary clinic.

Keywords: information system, veterinary clinic, automation, appointment booking, service accounting.

Ветеринарная клиника – это лечебно-профилактическое учреждение, которое оказывает ветеринарную помощь больным животным на приеме в специализированном учреждении или на дому [1].

В настоящее время ветеринарная медицина в Российской Федерации представляет собой неоднородную по структуре сферу деятельности, в которой можно выделить отдельное направление – ветеринарию мелких домашних животных. Данное направление ориентировано преимущественно на оказание лечебно-профилактических услуг собакам, кошкам и другим домашним питомцам и является наиболее распространенным сегментом коммерческой ветеринарной практики.

Крупные государственные ветеринарные учреждения в значительной степени сосредоточены на традиционной ветеринарии, связанной с контролем, профилактикой и работой с сельскохозяйственными животными. По этой причине основная часть услуг по лечению домашних питомцев приходится на частный сектор. Особенно это характерно для малых и средних городов, где главную роль играют малые и средние частные ветеринарные клиники и кабинеты индивидуальных предпринимателей. Как правило, такие организации работают на коммерческой основе, имеют небольшой поток клиентов и ориентированы на обслуживание частных владельцев питомцев [3].

Особенность малых ветеринарных клиник заключается в том, что их ресурсы ограничены, поэтому использование крупных информационных систем, направленных на государственный надзор, экономически нецелесообразно. В деятельности таких организаций нередко применяются упрощенные способы ведения учета, включая электронные таблицы, а также частично автоматизированные или традиционные методы фиксации записей на прием и учета оказанных услуг.

В большинстве случаев отсутствие специализированного программного обеспечения, адаптированного под специфику ветеринарии мелких домашних животных и потребности малого и среднего бизнеса, может приводить к потере данных, увеличению временных затрат на обработку информации и повышению вероятности ошибок, связанных с человеческим фактором. В этих условиях актуальной является разработка легких по функционалу информационных систем, ориентированных на процессы записи на прием и учета оказанных услуг, без избыточной сложности, характерной для крупных ветеринарных или агропромышленных информационных решений.

В качестве инструмента анализа внутренней среды предметной области использовался метод моделирования IDEF0, позволяющий создать функциональную модель, отображающую структуру и функции системы, а также потоки информации и материальных объектов, связывающие эти функции [2].

Моделирование проводилось с позиции руководства ветеринарной клиники. Целью создания модели стало детальное рассмотрение процесса, начиная от момента поступления телефонного звонка клиента до завершения финансового расчета и выдачи чека об оплате. Диаграмма декомпозиции первого уровня функционального блока «Проведение приема в ветеринарной клинике» IDEF0 «Как есть» представлена на рисунке 1.

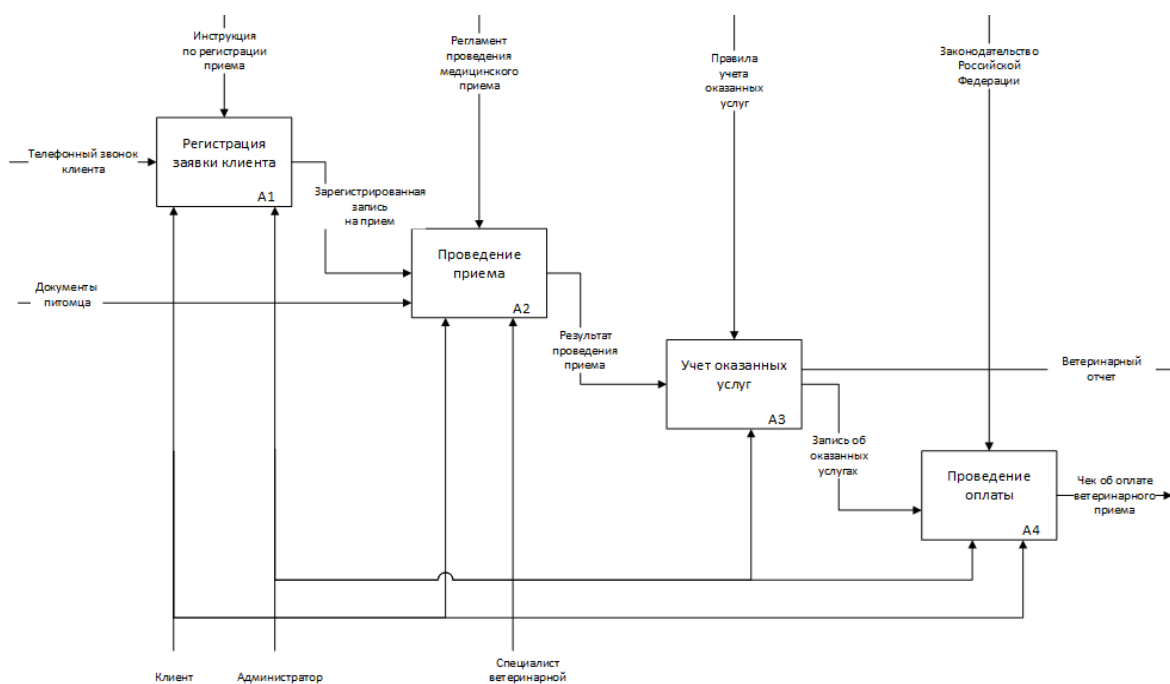


Рисунок 1 – Диаграмма декомпозиции первого уровня IDEF0 «Как Есть»

Анализ построенной модели позволяет сделать важные выводы о текущем состоянии процессов. Несмотря на наличие четкой линейной структуры, в работе клиник наблюдается заметное использование ручного труда. Данные о приеме приходится фиксировать во многих бумажных журналах, что приводит к дополнительным затратам и дублированию информации, повышает вероятность ошибок. Наиболее трудоемким оказался блок учета оказанных услуг, где происходит наибольшее количество ручных операций. Отсутствие единой точки ввода всех данных о приеме не позволяет их стандартизировать, приводит к зависимости качества учета от квалификации и внимательности конкретного администратора. Эти аспекты стали основными выявленными недостатками текущей организации. Для их устранения был проведен реинжиниринг бизнес-процессов.

Основными преимуществами проведенного реинжиниринга являются сокращение времени на регистрацию и учет услуг, исключение ошибок, связанных с человеческим

фактором, переход от бумажного к электронному документообороту, повышение удобства для клиентов за счет возможности онлайн-записи, а также формирование единой базы данных для оперативной отчетности и анализа деятельности клиники. Диаграмма декомпозиции первого уровня функционального блока «Проведение приема в ветеринарной клинике» IDEF0 «Как будет» представлена на рисунке 2.

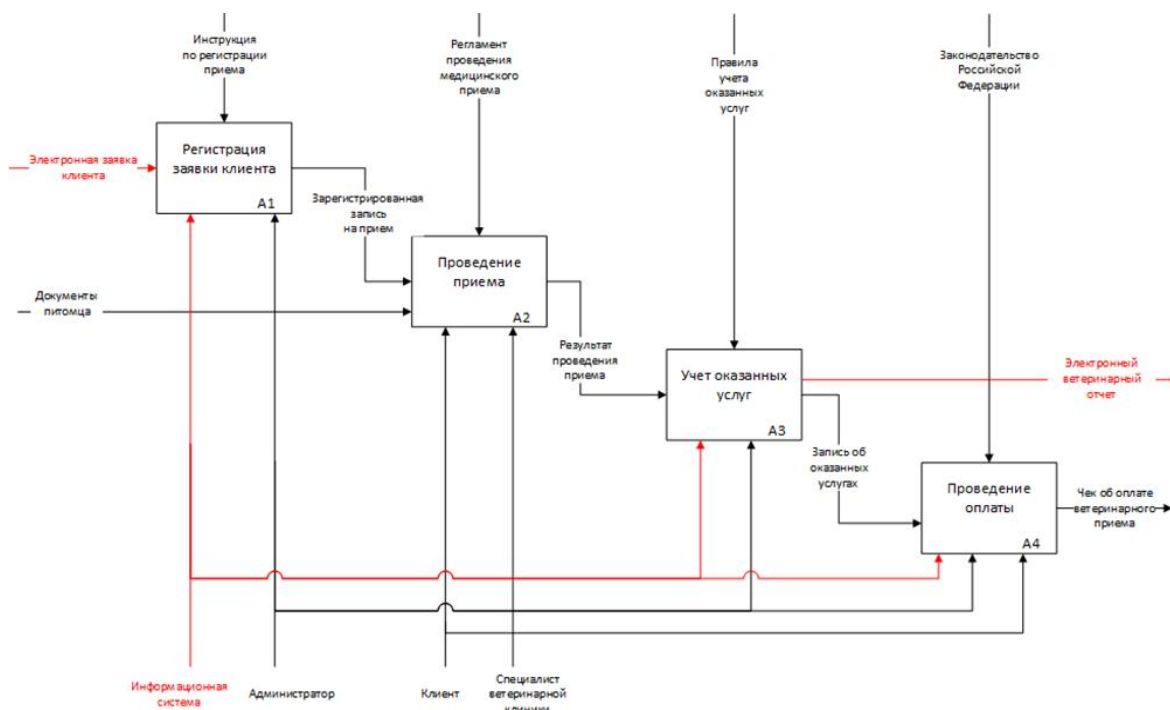


Рисунок 2 – Диаграмма декомпозиции первого уровня IDEF0 «Как будет»

В ходе анализа различных вариантов реализации с учетом выявленных требований к продукту было принято решение о разработке клиент-серверной информационной системы, включающей настольное приложение для администратора клиники и веб-приложение для клиентов.

Выбор двух типов клиентских приложений обусловлен различными задачами пользователей. Веб-приложение обеспечивает быстрый и удобный доступ к записи на прием для клиентов клиники с любых устройств без необходимости установки дополнительного программного обеспечения. Настольное приложение предназначено для администратора и предоставляет возможность реализовать более производительный и функциональный интерфейс. Разделение клиентских приложений таким образом облегчает работу с системой как пользователям, так и персоналу, упрощает поддержку и масштабирование проекта.

Для автоматизации деятельности администратора ветеринарной клиники была применена технология Windows Presentation Foundation. Она предоставляет широкий функционал для реализации интерактивных пользовательских интерфейсов и подходит для разработки корпоративных настольных приложений под операционную систему Windows [4].

Созданная программа дает доступ к основным функциям управления системой. С ее помощью администратор может просматривать и редактировать данные о клиентах, сотрудниках и питомцах, управлять услугами клиники, контролировать записи на прием и работать с расписанием. Интерфейс приложения обеспечивает удобную навигацию между различными разделами системы и быстрый доступ к необходимым функциям. Настольное приложение для администратора ветеринарной клиники представлено на рисунке 3.

Для реализации веб-части системы был использован шаблон проекта Blazor WebAssembly, ориентированный на построение одностраничных приложений,

выполняющихся на стороне клиента. Компоненты приложения объединяют разметку, логику обработки событий и модель данных в единых файлах или наборах файлов, что обеспечивает модульность и повторное использование кода [5].

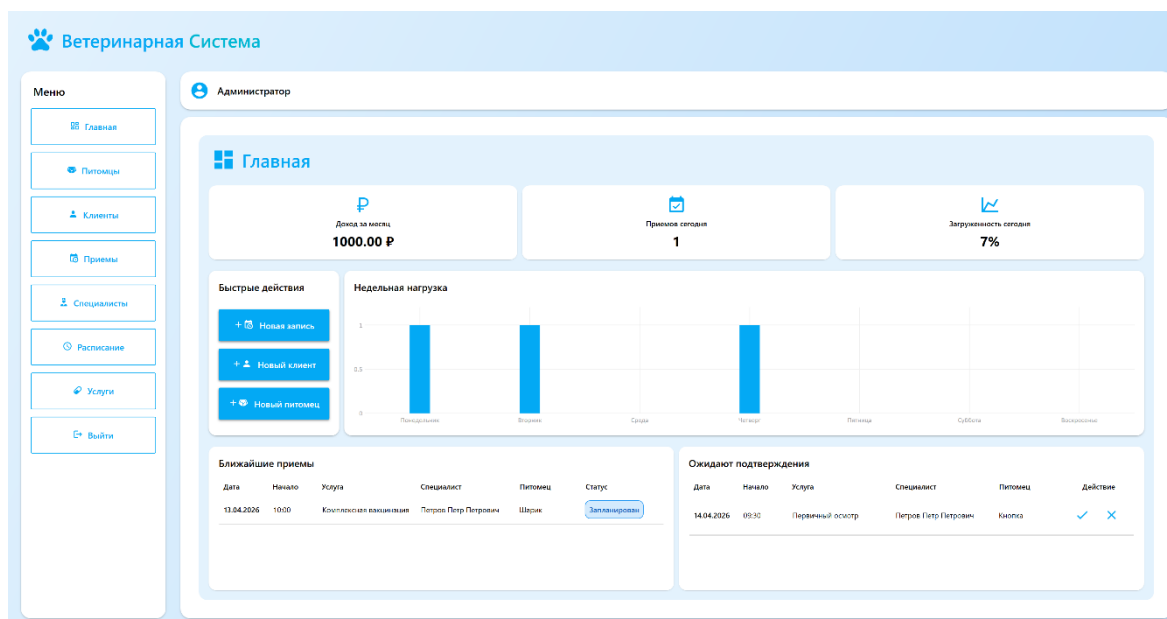


Рисунок 3 – Настольное приложение

Разработанное веб-приложение позволяет пользователям ознакомиться с услугами клиники, выбрать удобную дату и время посещения, после чего оформить запись на прием. При выполнении данных действий клиентское приложение отправляет запросы к серверному API, получает необходимые данные и отображает их в пользовательском интерфейсе. Веб-приложение для клиента ветеринарной клиники представлено на рисунке 4.

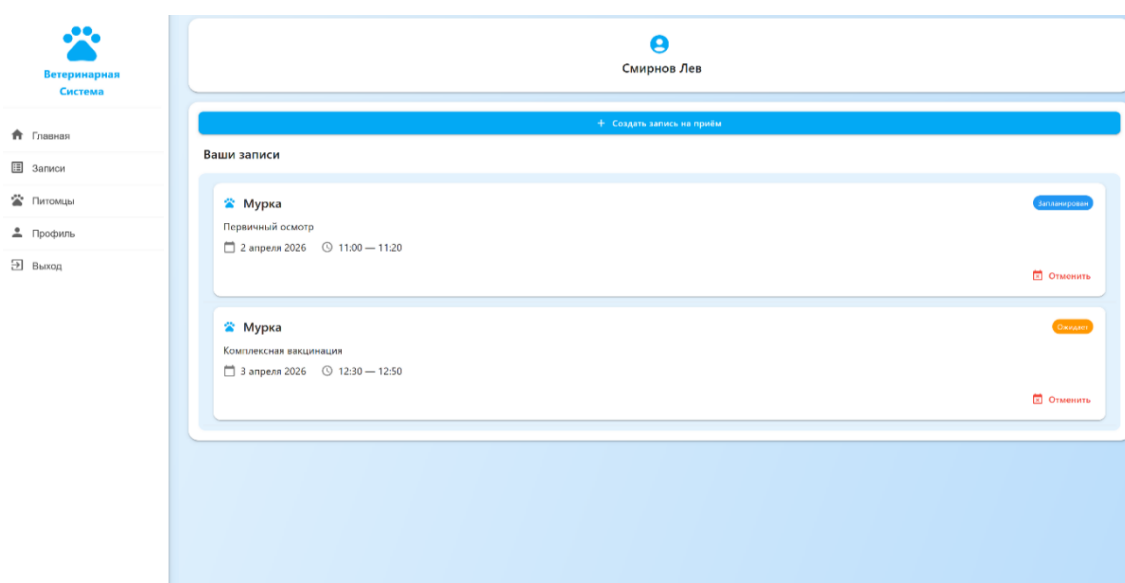


Рисунок 4 – Веб-приложение

Для удобства пользователей создана мобильная адаптация интерфейса, обеспечивающая корректное отображение всех элементов на смартфонах и планшетах. Мобильная адаптация веб-приложения для клиента ветеринарной клиники представлена на рисунке 5.

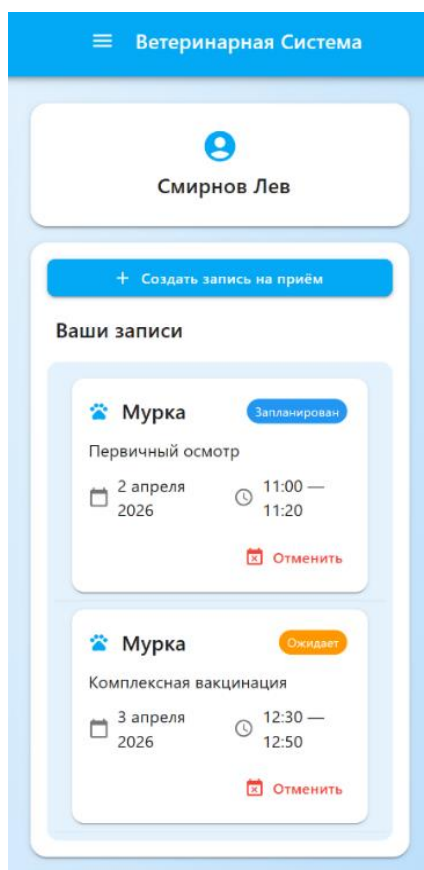


Рисунок 5 – Мобильная адаптация веб-приложения

Таким образом, разработанная система обеспечивает удобный доступ к функциональности как для сотрудников ветеринарной клиники, так и для ее клиентов. Внедрение программного продукта значительно повысит эффективность работы и снизит не только временные затраты, но и вероятность ошибок, связанных с человеческим фактором.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ветеринария [Электронный ресурс]. – URL: <https://ru.ruwiki.ru/wiki/Ветеринария> (дата обращения: 13.04.2026).
2. Нотации моделирования бизнес-процессов [Электронный ресурс]. – URL: https://www.businessstudio.ru/articles/article/modelirovanie_biznes_protseessov (дата обращения: 13.04.2026).
3. Калинин, Г. И. Государственное управление в сфере ветеринарии: учебник для вузов / Г. И. Калинин. – 2-е изд. – Москва: Издательство Юрайт, 2026. – 260 с.
4. Зараменских, Е. П. Разработка информационных систем: учебник и практикум для вузов / Е. П. Зараменских. – 2-е изд. – Москва: Издательство Юрайт, 2025. – 78 с.
5. Полуэктова, Н. Р. Разработка веб-приложений: учебник для вузов / Н. Р. Полуэктова. – 2-е изд. – Москва: Издательство Юрайт, 2026. – 204 с.

Лапшина Валерия Владиславовна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент инжинирингового колледжа

E-mail: 1655315@bsuedu.ru

УДК 004.9

*Научный руководитель:
Пузырев Никита Сергеевич,
ассистент кафедры информационных
и робототехнических систем,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

**В.В. ЛИТВИН
V.V. LITVIN**

АРХИТЕКТУРА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ КОНТРАГЕНТОВ С ИЕРАРХИЧЕСКОЙ МОДЕЛЬЮ РОЛЕЙ НА ПЛАТФОРМЕ ELMA365

ARCHITECTURE OF AN INFORMATION SYSTEM FOR ASSESSING THE RELIABILITY OF COUNTERPARTIES WITH A HIERARCHICAL ROLE MODEL ON THE ELMA365 PLATFORM

В данной статье рассматривается архитектурное решение информационной системы оценки надежности контрагентов, реализованной на базе платформы ELMA365. Описан подход к автоматизации процесса проверки контрагентов с интеграцией в процессы заключения договоров. Особое внимание уделено реализации иерархической модели ролей контрагентов, позволяющей управлять требованиями к составу данных и глубине проверки. Рассмотрен механизм автоматического определения необходимого уровня проверки на основании суммы договора, а также ограничение возможности его заключения при отсутствии актуальной проверки.

Ключевые слова: контрагенты, комплаенс-проверка, ELMA365, бизнес-процессы, управление рисками, иерархическая модель ролей, договоры.

The article describes the architecture of an information system for assessing the reliability of counterparties implemented on the ELMA365 platform. The approach to automating the counterparty verification process and its integration with contract management processes is presented.

Special attention is paid to the hierarchical role model, which allows managing data requirements and the depth of verification. A mechanism for automatically determining the required verification level based on the contract amount is described, as well as restricting contract creation in the absence of a valid verification.

Keywords: counterparties, compliance verification, ELMA365, business processes, risk management, hierarchical role model, contracts

В современных организациях процессы взаимодействия с контрагентами сопровождаются необходимостью оценки их надежности и контроля рисков, связанных с заключением договоров. Особую значимость приобретает обеспечение достоверности информации о контрагентах и своевременность проведения проверок, так как от этого напрямую зависит безопасность финансово-хозяйственной деятельности.

В рамках цифровизации бизнес-процессов все чаще используются корпоративные информационные системы, позволяющие автоматизировать работу с контрагентами и договорами. Однако на практике нередко встречается ситуация, при которой процессы проверки контрагентов не интегрированы с процессами заключения договоров, что приводит к возможности оформления договорных обязательств без учета актуальности проведенной проверки.

Было рассмотрено архитектурное решение, направленное на автоматизацию оценки надежности контрагентов и интеграцию процесса в процессы управления договорами на базе платформы ELMA365. В основе предложенного подхода лежит использование иерархической модели ролей контрагентов, при которой требования к составу данных и необходимости проведения проверки определяются уровнем роли.

В системе выделено несколько ролей пользователей, каждая из которых выполняет определённые функции в рамках бизнес-процесса. На рисунке 1 представлена UML-диаграмма вариантов использования.

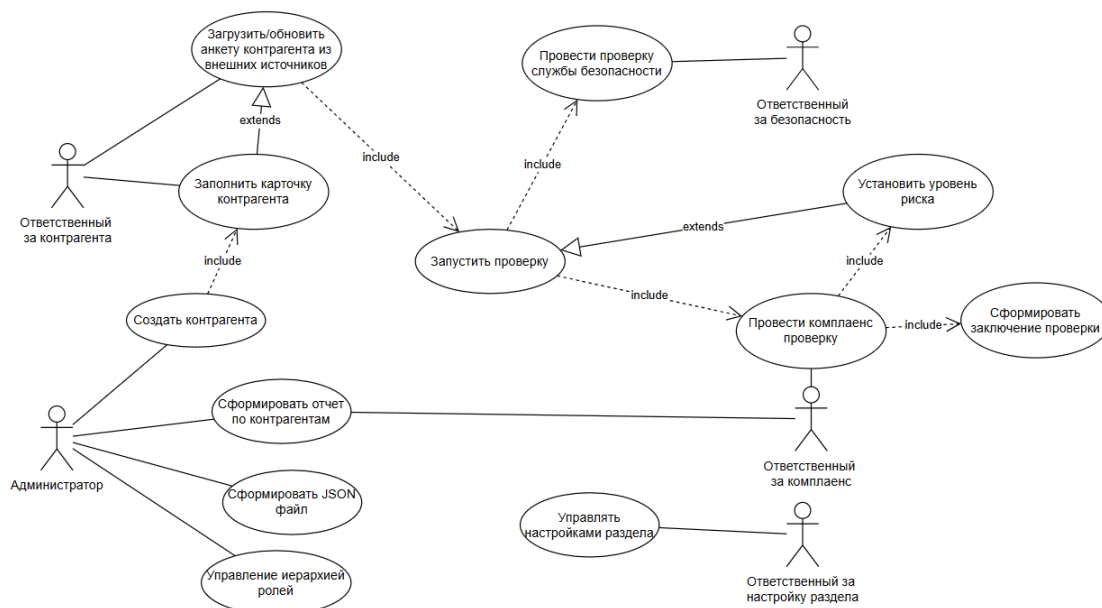


Рисунок 1 – UML диаграмма вариантов использования

В системе реализована модель ступенчатых иерархических ролей контрагентов, предназначенная для управления требованиями к объему проверяемых данных и уровню контроля. Данная модель основана на принципе последовательного усложнения требований по мере увеличения уровня роли.

Каждой роли присваивается числовой уровень, отражающий степень глубины проверки контрагента. Более высокий уровень предполагает расширенный набор требований к данным и дополнительный объем проверочных процедур. При этом используется накопительный принцип: требования более высокого уровня включают в себя требования всех предыдущих уровней. Иерархия ролей в системе представлена на рисунке 2.

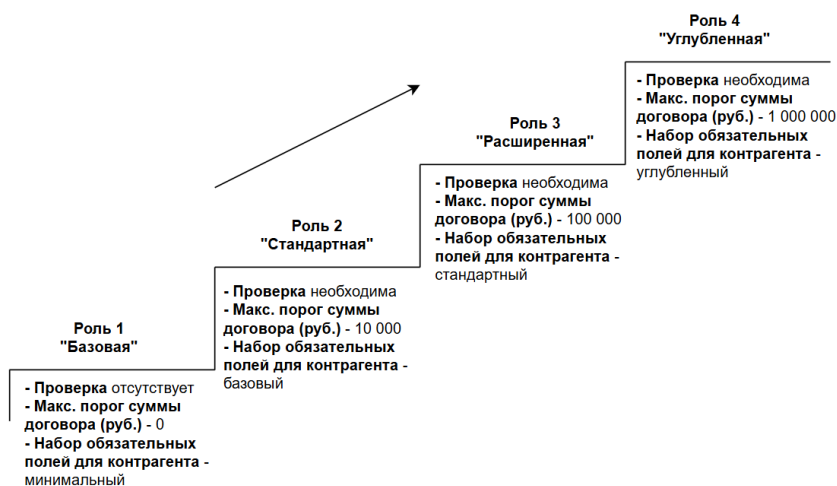


Рисунок 2 – Иерархичность ролей в системе

Роли также связаны с пороговым значением суммы договора. При создании договора система автоматически определяет требуемый уровень роли на основании суммы. Если текущий уровень контрагента ниже требуемого, инициируется процедура дополнительной проверки либо блокируется возможность заключения договора.

Добавление новых уровней или изменение пороговых значений не требует переработки бизнес-процессов, так как логика работы основана на универсальном механизме сравнения уровней. Кроме того, такая модель упрощает контроль полноты данных: обязательность заполнения полей определяется совокупностью требований всех уровней ниже выбранного.

Для обеспечения гибкости администрирования в системе реализован механизм централизованной настройки параметров ролей контрагентов. Управление уровнями и пороговыми значениями осуществляется через отдельный элемент приложения – «Настройки раздела управления контрагентами», представленный на рисунке 3.

Настройки раздела управления контрагентами: Изменить

За сколько дней до окончания проверки запускать повторную проверку*

Не изменять текущие уровни ролей ☒ Не изменять текущие суммы договора ☐

Управление уровнями ролей контрагентов

Роль	Текущий уровень	Новый уровень	Текущий порог суммы договора	Новый порог суммы договора
Базовая	1	1	0	0
Стандартная	2	2	10 000	10 000
Расширенный	3	3	100 000	100 000
Углубленный	4	4	2 000 000 000	3 000 000 000

Сохранить Отмена

Рисунок 3 – Управление настройками раздела

В рамках данного элемента предусмотрена табличная форма, автоматически формирующая список всех существующих ролей контрагентов. Для предотвращения некорректных настроек реализованы механизмы валидации: уровни ролей должны быть уникальными и образовывать непрерывную последовательность значений без пропусков.

На рисунке 4 продемонстрирована карточка элемента приложения «Роли контрагента». Карточка содержит настройки, определяющие состав обязательных данных при работе с контрагентом (например, при создании контрагента в системе). В рамках данного приложения предусмотрена возможность указания обязательности заполнения отдельных полей, что позволяет гибко управлять требованиями к информации без изменения структуры системы.

Базовая

Роль доступна для выбора? Да

Атрибуты со значением «Да» будут являться обязательными при работе с контрагентами данной роли.

Уровень (в иерархии) 1 Максимальная сумма договора 0

Общая информация

Юридическое наименование	Наименование на латинице	
Да	Нет	
Тип контрагента	Основной вид деятельности	
Да	Нет	
Фактический адрес	Юридический адрес	Почтовый адрес
Нет	Да	Нет
Иные страны резидентства		
Нет		

Рисунок 4 – Требования к составу обязательных данных на уровне роли

Основной процесс проверки контрагента реализован с использованием бизнес-процессов платформы ELMA365. После заполнения данных инициируется этап проверки, в рамках которого формируются параллельные задачи для ответственного за комплаенс и ответственного за информационную безопасность.

После завершения параллельных задач происходит объединение потоков процесса, и система формирует итоговое заключение на основе заранее заданного шаблона, соответствующего типу контрагента. Результаты проверки сохраняются в карточке контрагента.

На основании установленного уровня риска автоматически рассчитывается срок действия проверки. По истечении данного срока система инициирует повторную проверку для контрагента.

На рисунке 5 отображена BPMN-диаграмма для основного процесса – проверки контрагента.

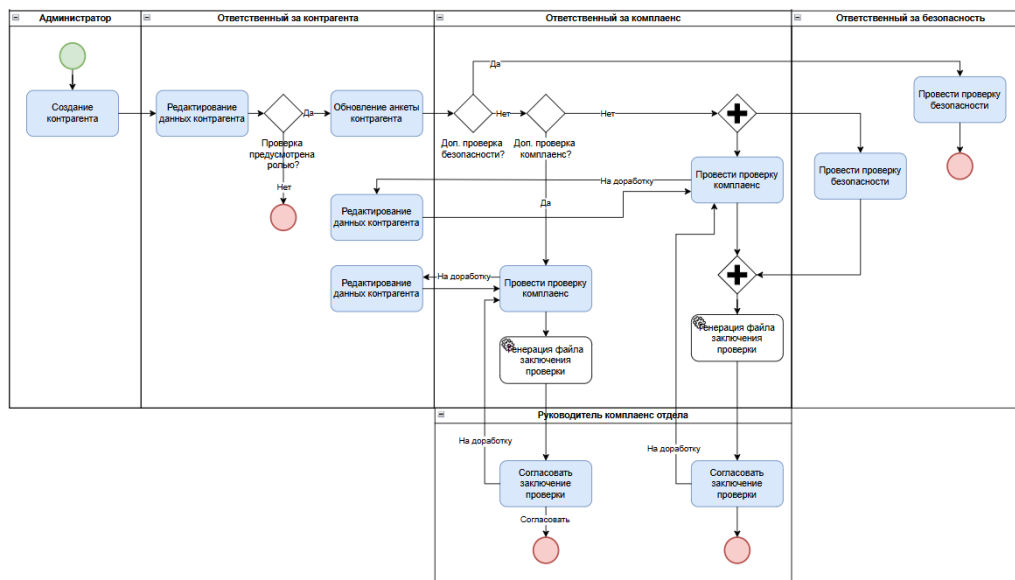


Рисунок 5 – BPMN-диаграмма процесса проверки контрагента

В результате внедрения предложенного решения повышается прозрачность процесса проверки контрагентов, сокращается вероятность ошибок и обеспечивается актуальность данных. Это позволяет повысить качество принимаемых управленческих решений и уровень безопасности финансово-хозяйственной деятельности организации. Дальнейшее развитие системы может быть связано с интеграцией внешних источников данных и расширением механизмов оценки рисков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гатин, Р. Р. Применение Отечественной low-code платформы ELMA365 в разработке по / Р. Р. Гатин // Техника и технология современных производств : Сборник статей V Всероссийской научно-практической конференции, Пенза, 13–14 мая 2024 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2024. – С. 76-82. – EDN KZRPJL.
2. Данилов, В. С. Экономические процессы предприятия в информационной системе ELMA BPM / В. С. Данилов, Г. Н. Ардашева // Молодежь. Наука. Современность : IX Всероссийская научно-практическая конференция. Сборник статей, Воткинск, 10 апреля 2023 года. – Ижевск: Удмуртский государственный университет, 2023. – С. 120-126. – EDN ICVSKH.
3. Еделькина, А. Г. Процесс проверки контрагентов как важный элемент комплаенс / А. Г. Еделькина // Вестник евразийской науки. – 2021. – Т. 13, № 5. – EDN WQNTDS.
4. Справка ELMA365. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://elma365.com/ru/help/platform/360016631091.html> – Дата доступа: 10.04.2026.

Литвин Виктория Викторовна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: 1397048@bsu.edu.ru

УДК 681.3.15

Научный руководитель:
Голдобина Дарья Михайловна,
ассистент кафедры информационно-
телекоммуникационных систем и технологий,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)

Л.В. ЛУКЪЯНОВСКАЯ, М.А. РЕШЕТОВ, Д.О. РУДИЧ
L.V. LUKYANOVSKAYA, M.A. RESHETOV, D.O. RUDICH

АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В БИОМЕДИЦИНЕ: ОБЗОР МЕТОДОВ 3D–МОДЕЛИРОВАНИЯ, НОРМАТИВНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ И ПЕРСПЕКТИВ ПРИМЕНЕНИЯ

ADDITIVE TECHNOLOGIES IN BIOMEDICINE: REVIEW OF 3D MODELING METHODS, REGULATORY FRAMEWORK, AND APPLICATION PROSPECTS

В данной статье авторы освещают проблему аддитивных технологий в биомедицине. Авторы рассматривают весь технологический цикл: от 3D–моделирования на основе данных медицинской визуализации и CAD–проектирования до подготовки к печати. Проведен анализ ключевых групп биосовместимых материалов (металлов, полимеров, керамики, композитов, биочернил) и их применения. В качестве основных препятствий для широкого клинического внедрения выделены проблемы стандартизации, отсутствие нормативной базы, сложность валидации и высокая стоимость. Наиболее перспективными областями названы 3D–биопечать, персонализированная фармацевтика и реконструктивная хирургия. Сделан вывод, что для успешной интеграции этих технологий необходим комплексный подход, включающий развитие технической, регуляторной и этической базы, а также подготовку квалифицированных специалистов.

Ключевые слова: аддитивные технологии, 3D–биопечать, биомедицина, персонализированная медицина, 3D–моделирование, биосовместимые материалы, тканевая инженерия, имплантаты, хирургические шаблоны, биочернила, стандартизация, этические дилеммы.

In this article, the authors highlight the problem of additive technologies in biomedicine. The authors consider the entire technological cycle: from 3D modeling based on medical imaging data and CAD design to preparation for printing. The analysis of key groups of biocompatible materials (metals, polymers, ceramics, composites, biochurnils) and their applications is carried out. Standardization issues, lack of a regulatory framework, complexity of validation, and high cost are identified as the main obstacles to widespread clinical implementation. The most promising areas are 3D bioprinting, personalized pharmacy, and reconstructive surgery. It is concluded that for the successful integration of these technologies, an integrated approach is needed, including the development of a technical, regulatory and ethical framework, as well as the training of qualified specialists.

Keywords: additive technologies, 3D bioprinting, biomedicine, personalized medicine, 3D modeling, biocompatible materials, tissue engineering, implants, surgical templates, bio–ink, standardization, ethical dilemmas.

В последние годы медицина активно перешла к индивидуальному подходу, при котором методы лечения и медицинские приборы разрабатываются с учетом индивидуальных анатомических, физиологических и генетических особенностей пациента. Реализация такой концепции требует внедрения технологий, обеспечивающих разнообразие медицинских решений, и важную роль играют дополнительные технологии (3D–печать).

Использование аддитивных технологий позволяет создавать изделия сложной геометрии на основе цифровых моделей, полученных с помощью методов медицинской визуализации и трехмерного моделирования. Это открывает широкие возможности для изготовления индивидуальных имплантатов, протезов, хирургических и анатомических моделей.

Несмотря на значительный прогресс в области дополнительных технологий и биотипирования, существует большая разница между уровнем технологического развития и степенью применения в клинической практике. Основным ограничением остаётся отсутствие организационных процедур и сложность контроля со стороны государства.

Цель данной статьи – провести последовательный анализ методов 3D–моделирования в медицине, исследовать разновидности подходов к правовому контролю над применением и распространением аддитивных технологий, а также определить, что необходимо для их повсеместного внедрения.

Процесс создания трехмерной цифровой модели включает в себя сбор исходных данных, их редактирование, построение геометрической модели и подготовку документа для производства.

Исходные данные в трехмерных моделях моделируются с помощью методов медицинской визуализации: компьютерной томографии (КТ), магнитно–резонансной томографии (МРТ) и ультразвуковой диагностики. Данные сохраняются в формате DICOM. Основным этапом является сегментация – распределение целевых анатомических областей. Используются ручные, полуавтоматические и автоматические методы, в том числе алгоритмы машинного обучения. Точность разбиения определяет надежность конечной модели. После разделения выполняется трехмерная реконструкция с помощью техники сглаживания и удаления рисунка вручную [4, 6, 9].

После завершения реконструкции идёт черёд CAD–проектирования. Оно направлено на создание точной цифровой модели произведённого изделия. Особое внимание уделяется точности сопряжения изделия с анатомическими структурами и биомеханическим требованиям [4, 7].

Заключительный этап – преобразование CAD–модели в формат STL. Процесс включает аппроксимацию геометрии треугольной сеткой с балансом между детализацией и вычислительными затратами. Перед печатью проводится проверка корректности сетки (mesh gerair), затем модель импортируется в программное обеспечение для слайсинга [4, 5, 8].

Далее рассмотрим возможные материалы для биомедицинской 3D–печати.

Выбор материала определяется клинической задачей и должен обеспечивать биосовместимость, механическую прочность и, в ряде случаев, способность к деградации или интеграции с живыми клетками.

Среди металлических материалов наибольшее применение находят титан и его сплав Ti–6Al–4V что обусловлено их высокой коррозионной стойкостью, модулем упругости, близким к костной ткани, и способностью к остеоинтеграции. Пористая структура, формируемая при печати, имитирует трабекулярную кость. Помимо титана применяются нержавеющие стали, кобальт–хромовые сплавы и тантал, но титановые сплавы остаются «золотым стандартом» [3, 4].

К числу наиболее распространённых синтетических полимеров относятся PEEK, PCL, PLA, PLGA и PEG, из которых PEEK находит применение в несущих конструкциях, тогда как PCL и PLA востребованы в тканевой инженерии благодаря гидролитической деградации. Природные полимеры (коллаген, желатин, фибрин, гиалуроновая кислота, хитозан, альгинат) позволяют имитировать внеклеточный матрикс, что важно для поддержания клеточного фенотипа. Гидрогели на основе желатина и альгината это основа тканевой инженерии [1, 2, 9].

Гидроксиапатит, трикальцийфосфат и биостекла необходимы для создания имплантов костных структур, так как во многом повторяют их физические и биологические свойства. Это во многом обусловлено тем, что это материалы не вызывают агрессии со стороны организма и быстро встраиваются в тело. А аддитивные технологии позволяют уменьшить массу импланта за счет невероятно точной имитации пор естественной кости [4].

Сегодня бурно развивается 3D–печать биочернилами – 3D–биопечать. Биочернила – это композитные материалы, которые состоят в первую очередь из живых человеческих клеток, а также гидрогелей (для поддержания жизнедеятельности) и БАВ, направленных на дифференциацию клеток. Всего существует 3 вида технологий биопечати: струйная,

экструзионная и лазерная. Для каждого из них необходимы свои показатели вязкости субстанции, выживаемости клеток и их сшиваемости между собой. Самым сложным и ответственным участком работы по-прежнему остаётся работа над воссозданием белковых структур, идентичных естественным. В современной тканевой инженерии используют многокомпонентные конструкции, позволяющие воспроизводить сложное строение тканей (сосудистые каналы, зоны хондрогенеза и остеогенеза) [1, 8, 9].

Применение рассматриваемых технологий требует учёта правового регулирования аддитивных технологий в биомедицине. Аддитивные технологии создают вызовы: персонализация, децентрализация производства и цифровая природа цепочки не укладываются в традиционные схемы сертификации, ориентированные на серийное производство. Международные стандарты ISO/ASTM (ISO/TC 261, ASTM F42) включают ISO/ASTM 52900, ISO 13485, серию ISO 10993, но для биопринтинга и персонализированных изделий они не носят обязательный характер, что создаёт правовую неопределённость [5].

FDA (США) в документе 2017 г. применяет риск-ориентированную модель с акцентом на валидацию процесса [4]. EMA (ЕС) руководствуется Регламентом MDR 2017/745, ужесточившим требования к клиническим доказательствам. В РФ действуют ФЗ-323 и ФЗ-61, но отсутствует специальный нормативный акт, учитывающий специфику АТ; персонализированные изделия часто регистрируются по упрощённым схемам [5].

К числу основных проблем сертификации аддитивных биомедицинских изделий относятся: конфликт между персонализацией и требованиями к воспроизводимости, необходимость валидации цифровой цепочки производства, сложность прогнозирования биосовместимости после послойного нанесения материала, а также отсутствие единых реестров для пострегистрационного надзора. Эффективное регулирование требует развития риск-ориентированных подходов, гармонизации стандартов и создания регуляторных «песочниц» [4, 5].

Современные исследования в тканевой инженерии, сосредоточенные на 3D-биопечати для формирования клеточных структур с заданной организацией, определяют перспективы применения аддитивных технологий как в фармацевтике, так и в хирургии. Критическим аспектом является обеспечение васкуляризации, так как отсутствие перфузии ограничивает жизнеспособность тканей. Для доклинического скрининга используются системы 3D-культивирования, имитирующие физиологические условия [1, 2, 9].

В фармацевтике аддитивные технологии открывают путь к индивидуальному подбору дозировок и созданию полипилюль. Основные препятствия – трудности масштабирования и низкая стабильность биочернил [8].

Индивидуальные пористые титановые имплантаты с биоактивными покрытиями показывают высокую способность к интеграции с костной тканью. Разработанные технологии успешно переносятся в ветеринарную практику [3, 4].

Ожидается, что интеграция с искусственным интеллектом ускорит переход технологий в клинику. Клинические исследования демонстрируют, что в ближайшее десятилетие комбинация биопечати и традиционных имплантатов может стать стандартом в реконструктивной хирургии [1, 6].

Несмотря на широкий спектр возможностей применения аддитивных методов производства, периодически возникают дилеммы этического и технического плана.

Высокая стоимость оборудования и материалов остается главным технико-экономическим препятствием. Персонализированные изделия дороже серийных, что ограничивает их доступность. Внедрение требует подготовки междисциплинарных специалистов [4, 6, 9].

Обеспечение безопасности изделий требует решения проблемы воспроизводимости свойств. Необходимы тщательные доклинические испытания для каждого типа конструкции. Также требуется устранение правовой неопределенности и разработка единых стандартов контроля качества цифровой цепочки [3, 5, 9].

Этические дилеммы связаны с происхождением клеточного материала и моральным статусом сконструированных тканей. Существует опасение формирования элитарной

медицины, где доступ будет зависеть от платежеспособности. Регулирование оборота биоматериалов и инкорпорация этических принципов в правовое поле требуют междисциплинарного сотрудничества [1, 5, 8].

Аддитивные технологии позволяют создавать индивидуальные имплантаты, хирургические направляющие и тканевые конструкции. Выбор материалов расширяет возможности лечения – от восстановления костей до печати живых тканей. Внедрение тормозится из-за устаревшего законодательства, не учитывающего особенности персонализированного производства, а также сложностей валидации и стандартизации. Для успешного развития необходимы адаптация законодательства, подготовка кадров и междисциплинарный диалог. Преодоление этих барьеров сделает инновации стандартным инструментом здравоохранения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аймалетдинов, А. М. 3D–биопечать как метод тканевой инженерии : применение и перспективы / А. М. Аймалетдинов, А. Г. Маланьева, М. А. Тамбовский, Е. Ю. Закирова // Биотехнология. – 2024. – Т. 40, № 2. – С. 3–22. – DOI: 10.56304/S0234275824020029. – URL: <https://sciencejournals.ru/view-article/?j=biotekh&y=2024&v=40&n=2&a=BioTekh2402002Aimaltdinov> (дата обращения: 28.03.2026). – Текст : электронный.
2. Иващенко, И. А. Системы 3D–культивирования клеток : современное состояние / И. А. Иващенко, В. В. Василевский, О. С. Федотова, В. Н. Слаутин, А. В. Семенов // Биотехнология. – 2024. – Т. 40, № 2. – С. 23–35. – DOI: 10.56304/S0234275824020066. – URL: <https://sciencejournals.ru/view-article/?j=biotekh&y=2024&v=40&n=2&a=BioTekh2402006Ivashchenko> (дата обращения: 28.03.2026). – Текст : электронный.
3. Каралкин, П. А. Разработка и доклинические испытания персонализированных пористых титановых имплантатов с биоактивными покрытиями в модельных системах / П. А. Каралкин, К. Г. Кудрин, Д. С. Святославов, Д. А. Усатов, И. В. Решетов // Биомедицина. – 2023. – № 3Е. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-i-doklinicheskie-ispytaniya-personalizirovannyh-poristyh-titanovyh-implantatov-s-bioaktivnymi-pokrytiyami-v-modelnyh> (дата обращения: 28.03.2026). – Текст : электронный.
4. Попов, В. В. Аддитивные технологии в медицине : учебное пособие / В. В. Попов, Г. В. Муллер–Камский, С. И. Степанов [и др.] ; М–во науки и высш. образования РФ. – Екатеринбург : Изд–во Урал. ун–та, 2023. – 92 с. – URL: <https://elar.urfu.ru/handle/10995/123410> (дата обращения: 28.03.2026). – Текст : электронный.
5. Романовская, О. В. Правовое регулирование аддитивных технологий в современной биомедицине / О. В. Романовская, Г. Б. Романовский // Вестник РУДН. Серия : Юридические науки. – 2023. – № 1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pravovoe-regulirovanie-additivnyh-tehnologiy-v-sovremennoy-biomeditsine> (дата обращения: 28.03.2026). – Текст : электронный.
6. Субботина, Е. И. 3D–биопечать в реконструктивной хирургии : возможности и перспективы / Е. И. Субботина, А. М. Черкиев, В. А. Лендыч, Е. А. Чинова, Ю. В. Макарова // Вестник Санкт–Петербургского университета. Медицина. – 2024. – Т. 19, № 3. – С. 249–264. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/3d-biopечат-v-rekonstruktivnoy-hirurgii-vozmozhnosti-i-perspektivy> (дата обращения: 28.03.2026). – Текст : электронный.
7. Чепурина, Е. Л. Компьютерное проектирование (КОМПАС–3D) : учебник / Е. Л. Чепурина, Д. А. Рыбалкин, С. Н. Волкова, Д. Л. Кушнарева, Р. А. Потемкин ; РГАУ–МСХА им. К. А. Тимирязева. – Москва : РГАУ–МСХА им. К. А. Тимирязева, 2024. – 128 с. – URL: https://elib.timacad.ru/dl/full/s02122024Kompas_3D.pdf/info (дата обращения: 28.03.2026). – Текст : электронный.
8. Lu, A. 3D printing of biologics – what has been accomplished to date? / A. Lu, R. O. Williams III, M. Maniruzzaman // Drug Discovery Today. – 2024. – Vol. 29, No. 1. – Art. 103823. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359644623003392> (дата обращения: 28.03.2026). – Text : electronic.

9. Vanaei, S. An Overview on Materials and Techniques in 3D Bioprinting Toward Biomedical Application / S. Vanaei, M. S. Parizi, S. Vanaei, F. Salemizadehparizi, H. R. Vanaei // Engineered Regeneration. – 2021. – Vol. 2. – P. 1–18. – DOI: 10.1016/J.ENGREG.2020.12.001. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S266613812030013X> (дата обращения: 28.03.2026). – Text : electronic.

Лукьяновская Лиляна Викторовна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент института фармации, химии и биологии

E-mail: 1398403@bsuedu.ru

Рудич Дмитрий Олегович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент института фармации, химии и биологии

E-mail: 1832280@bsuedu.ru

Решетов Мирослав Андреевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент института фармации, химии и биологии

E-mail: 1832587@bsuedu.ru

УДК 004

*Научный руководитель:
Ильинская Елена Владимировна,
доцент кафедры прикладной информатики
и информационных технологий,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

**В.В. ЛЫСЫХ
V.V. LYSYKH**

АНАЛИЗ ИНВЕСТИЦИОННЫХ НАСТРОЕНИЙ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ: СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ СОЦСЕТИ «ПУЛЬС»

REAL-TIME ANALYSIS OF INVESTMENT SENTIMENT: DEVELOPMENT OF A MONITORING SYSTEM BASED ON DATA FROM THE «PULSE» SOCIAL NETWORK

В статье рассматривается процесс разработки информационно-аналитической системы (ИАС), предназначенной для автоматизированного сбора, хранения и аналитической обработки данных из специализированной социальной сети «Пульт» (Т-Инвестиции). Описана архитектура решения, включающая модуль веб-парсинга, систему хранения неструктурированных данных и блок визуализации. Особое внимание уделено реализации методов интеллектуального анализа текста, таких как частотный анализ слов, кластеризация активности пользователей и построение облака тегов. Обоснована практическая значимость системы как инструмента поддержки принятия инвестиционных решений на основе анализа «альтернативных данных» из цифровых сообществ.

Ключевые слова: информационно-аналитическая система, социальные сети, анализ данных, веб-скрапинг, «Пульт», Python, визуализация данных, альтернативные данные.

The article discusses the development of an information-analytical system (IAS) designed for automated collection, storage, and analytical processing of data from the specialized social network "Pulse" (T-Investments). The solution architecture is described, including a web parsing module, a system for storing unstructured data, and a visualization block. Special attention is paid to the implementation of text mining methods, such as word frequency analysis, user activity clustering, and tag cloud generation. The practical significance of the system as a tool to support investment decision-making based on the analysis of "alternative data" from digital communities is substantiated.

Keywords: information-analytical system, social networks, data analysis, web scraping, "Pulse", Python, data visualization, alternative data.

В условиях цифровой трансформации финансовых рынков социальные сети перестали быть исключительно средством коммуникации, превратившись в генераторы альтернативных данных, способных влиять на котировки и поведение инвесторов. Платформа «Пульт» от Т-Инвестиций является агрегатом мнений тысяч частных трейдеров и аналитиков, однако высокая скорость обновления и неструктурированный характер контента делают ручной мониторинг неэффективным. В связи с этим возникает объективная потребность в создании специализированного программного инструмента, позволяющего агрегировать разрозненные информационные потоки и выявлять скрытые закономерности в настроениях участников рынка.

Целью данной работы является разработка информационно-аналитической системы (ИАС), обеспечивающей полный цикл работы с данными: от их автоматизированного сбора в сети «Пульт» до многомерного анализа и визуализации результатов. Для достижения цели были решены задачи проектирования гибкой структуры хранения данных, реализации устойчивого к изменениям вёрстки парсера и внедрения аналитического ядра на базе языка Python.

Архитектура разработанной ИАС базируется на модульном подходе и включает три ключевых компонента:

1. Модуль сбора данных реализован с использованием библиотек «httpx» и «pandas». Поскольку прямое API для получения постов отсутствует, извлечение информации осуществляется путём эмуляции навигации по страницам ленты с заданным тикером актива. Для предотвращения дублирования и обеспечения инкрементальной загрузки применяется система контроля уникальных идентификаторов (ID) постов с сохранением истории в структурированные файлы формата CSV.

2. Аналитический модуль предоставляет пользователю девять видов отчетов. В основе обработки лежат методы статистического и лингвистического анализа. Система автоматически производит предобработку текста: токенизацию, удаление стоп-слов и специальных символов. Реализована визуализация временных рядов с построением скользящего среднего для выявления долгосрочных трендов активности по конкретному эмитенту. Для оценки семантического поля дискуссии применяется построение облака слов и частотный анализ, позволяющий мгновенно определить доминирующие темы («дивиденды», «отчетность», «ключевая ставка») без углубления в чтение тысяч сообщений.

3. Особую ценность представляет кластерный анализ, реализованный через построение тепловых карт активности по дням недели и часам суток. Разработанный алгоритм позволяет четко сегментировать пиковые часы принятия решений (утренние часы перед открытием торгов) и периоды информационного затишья. Пользовательский интерфейс реализован средствами библиотеки «Tkinter» с интеграцией «Matplotlib», что делает систему кроссплатформенной и не требующей глубоких технических знаний от конечного пользователя – аналитика или частного инвестора.

Практическая апробация системы на примере сбора данных по акциям Сбербанка (SBER) и Газпрома (GAZP) подтвердила ее работоспособность. Система успешно агрегировала несколько тысяч постов, выявив самые популярные слова за выбранный период и сделав кластерный анализ постов, что можно увидеть на рисунках 1 и 2.

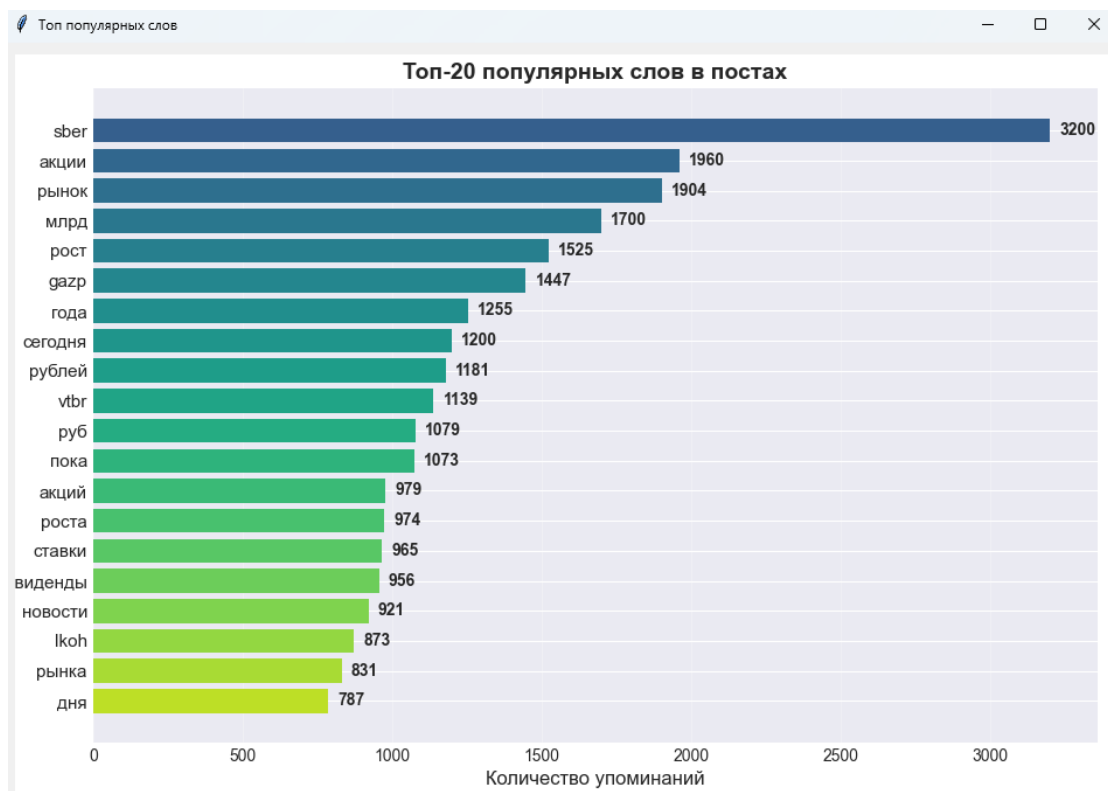


Рисунок 1 – Топ 20 популярных слов в постах за выбранный период

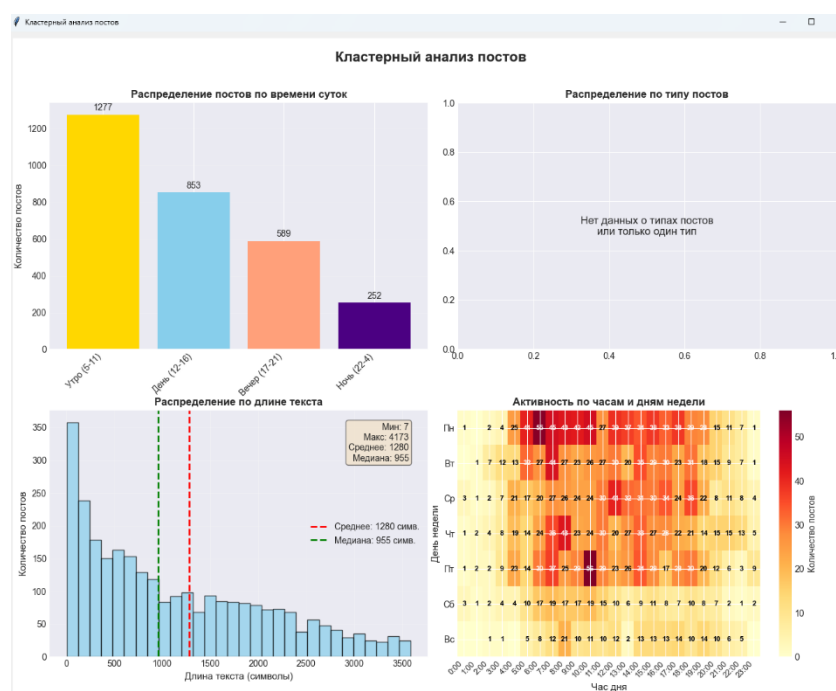


Рисунок 2 – Кластерный анализ

Таким образом, разработанная ИАС является действенным инструментом трансформации «информационного шума» социальных сетей в структурированные аналитические инсайты. В перспективе развитие системы предполагает интеграцию методов машинного обучения для автоматического определения тональности (Sentiment Analysis) и подключение потоковых биржевых данных для построения корреляционных моделей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Использование байесовских методов для анализа денежно-кредитной политики в России [Электронный ресурс] / Р. В. Ломиворотов – URL: http://pe.cemi.rssi.ru/pe_2015_2_41-63.pdf (дата обращения: 05.04.2026)
2. Tinkoff Pulse API Documentation» [Электронный ресурс] – URL: <https://developer.tbank.ru/docs/api/pulse> (дата обращения: 10.04.2026)
3. Python и анализ данных [Электронный ресурс] / Уэс Маккини – URL: <https://www.gstu.by/sites/default/files/files/resources/2021/09/makkini.pdf> (дата обращения: 11.04.2026)

Лысых Владислав Витальевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры прикладной информатики и информационных технологий

E-mail: 1560367@bsuedu.ru

УДК 004.02

*Научный руководитель:
Пузырев Никита Сергеевич,
ассистент кафедры информационных
и робототехнических систем,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

Н.Е. ЛЫЧЕВ
N.E. LYCHEV

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА АИС «АВТОМАСТЕРСКАЯ» DESIGN AND DEVELOPMENT OF AIS «CAR REPAIR SHOP»

В статье рассматривается процесс проектирования и разработки автоматизированной информационной системы (АИС) для автосервиса. Актуальность исследования обусловлена необходимостью оптимизации бизнес-процессов в сфере авторемонтных услуг через внедрение цифровых решений. В работе представлена методология создания веб-приложения, интегрирующего функционал интернет-магазина автозапчастей и системы онлайн-записи на обслуживание. Результатом работы является функционирующий прототип АИС, прошедший тестирование основных сценариев использования.

Ключевые слова: разработка, проектирование, информационная система, оптимизация.

This article examines the design and development of an automated information system (AIS) for an auto repair shop. The relevance of the study stems from the need to optimize business processes in the auto repair industry through the implementation of digital solutions. The paper presents a methodology for creating a web application integrating the functionality of an online auto parts store and an online service booking system. The result is a functioning AIS prototype that has been tested against key use cases.

Keywords: development, design, information system, optimization.

Современный этап цифровой трансформации бизнеса характеризуется активным внедрением информационных систем в различные секторы экономики, причем особую актуальность эти процессы приобретают в сфере услуг, где эффективность управления напрямую влияет на качество клиентского обслуживания и операционную результативность. Предприятия автосервисной отрасли сталкиваются с комплексными задачами управления заказами, складскими запасами, персоналом и клиентскими отношениями, что обуславливает необходимость разработки специализированных программных решений. Представленная автоматизированная информационная система «Автомастерская» представляет собой веб-приложение, разработанное с использованием библиотеки React для фронтенда и реляционной базы данных для хранения и обработки информации, предназначенное для комплексной автоматизации бизнес-процессов авторемонтного предприятия.

Анализ предметной области выявил необходимость автоматизации ключевых процессов: управления заявками на ремонт, контроля складских запасов запчастей, ведения клиентской базы, формирования отчетности и онлайн-взаимодействия с клиентами. На основе проведенного анализа были сформулированы функциональные требования, включающие модуль электронной коммерции для продажи запчастей, систему онлайн-записи на обслуживание и личные кабинеты для различных категорий пользователей.

В качестве основных инструментов моделирования использованы диаграмма последовательности, описывающая сценарий взаимодействия пользователя с системой при оформлении заказа на автозапчасти, и диаграмма развертывания, определяющая физическую архитектуру системы с включением узлов развертывания и соединений между ними по трехзвенной модели с четким разделением представления, бизнес-логики и слоя данных.

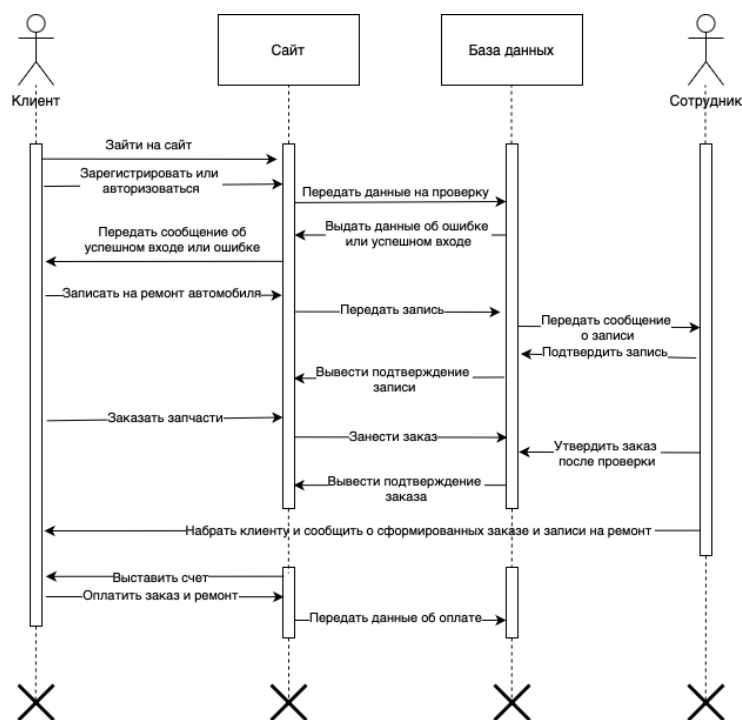


Рисунок 1 – UML- диаграмма последовательности

Диаграмма последовательности показывает, как происходит взаимодействие с сайтом. Начинается всё с устройство пользователя, где человек зайдя на сайт, может зайти в каталог и использовать сортировку, поиск или фильтрацию. Данные компоненты делают запрос у сервера в которой хранится вся информация.

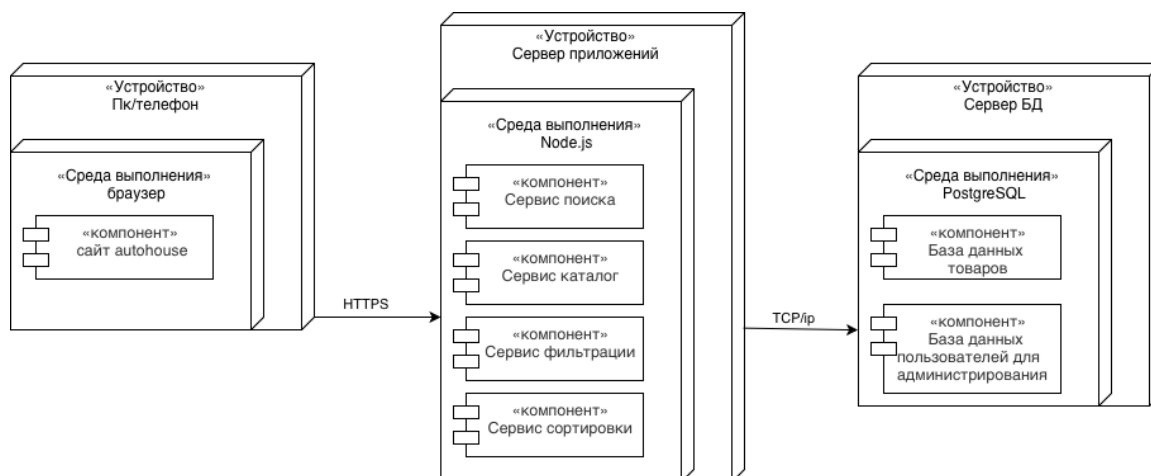


Рисунок 2 – UML-диаграмма последовательности

Разработка сайта началась с создания проекта на React, после чего были разработаны компоненты header и footer, содержащие JS и SCSS файлы, где JS-файлы размещают элементы на странице, а SCSS создает соответствующие стили; сайт содержит основную страницу и две вторичные, включая страницу каталога товаров, для создания которой была установлена среда MAMP с разворачиванием базы данных react_catalog, содержащей таблицу products с полями id, названия товара, описания, цены и ссылки на фотографию, хранящейся на сервере. Главная страница состоит из разделов с переходом в каталог и записью в автомастерскую, списка услуг, окна обратной связи и преимуществ, а тестирование сайта на корректность разработки

включало просмотр отображения всех страниц, проверку формы обратной связи на отправку сообщений о поступлении новой заявки на электронную почту и проверку каталога, что подтвердило корректность отображения главной страницы, отправки писем и отображения каталога.

В результате выполнения работы была достигнута поставленная цель – создание информационной системы, предоставляющей удобный интерфейс для управления каталогом услуг автомастерской, где проведен анализ предметной области, разработана архитектура и схема базы данных, реализована фронтенд-часть с использованием React, настроено взаимодействие фронтенда с серверной частью и базой данных, а также протестирована работоспособность системы и корректность выполнения основных функций; разработанная АИС демонстрирует эффективность выбранных технологий и может быть расширена за счет дополнительного функционала, такого как система записи клиентов, учет заказов или интеграция с платежными системами, успешно спроектирована и реализована в соответствии с современными требованиями к веб-приложениям.

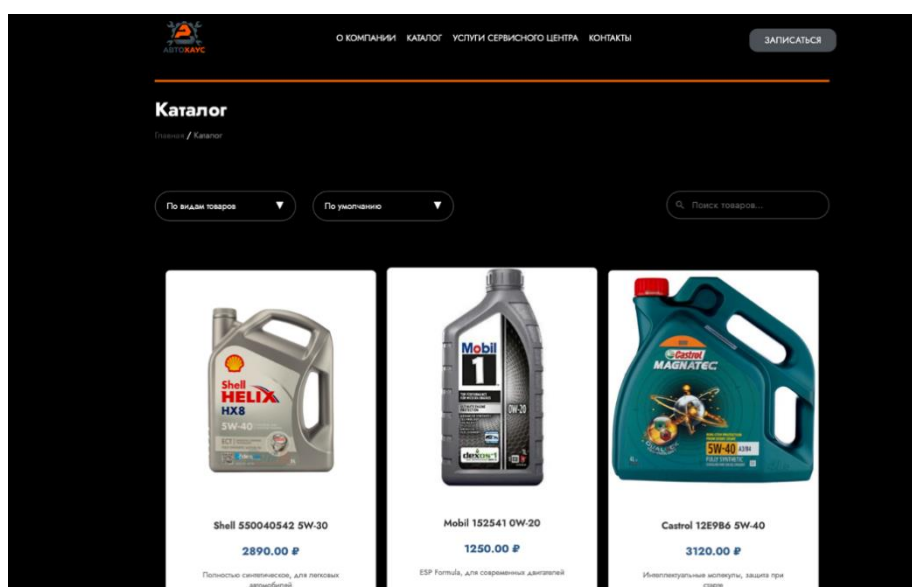


Рисунок 3 – Каталог товаров web-приложения

В результате проведенной работы разработан функционирующий прототип АИС «Автомастерская», включающий публичную часть с информацией о компании, интернет-магазин автозапчастей с возможностью фильтрации и поиска, систему онлайн-записи на обслуживание и административный интерфейс для сотрудников. Тестирование системы проводилось по сценариям ключевых пользовательских сценариев, включая навигацию по разделам сайта, просмотр и фильтрацию товаров в каталоге, отправку форм обратной связи и отображение контента на различных устройствах, при этом результаты подтвердили корректность работы основных функций системы. Сравнение с существующими решениями показывает преимущества разработанной системы в аспектах интеграции функций электронной коммерции и системы записи в едином интерфейсе, адаптивности для мобильных устройств и масштабируемости модульной архитектуры, хотя текущим ограничением реализации является отсутствие полноценной серверной части с системой аутентификации и интеграции с платежными системами.

Практическая значимость работы заключается в создании базового прототипа, который может быть расширен дополнительным функционалом: системой управления клиентскими отношениями (CRM), интеграцией с платежными сервисами, модулем аналитики и отчетности. Перспективы дальнейшего развития проекта включают реализацию полноценной серверной части с REST API, внедрение системы аутентификации и авторизации, разработку

мобильного приложения и интеграцию с внешними сервисами. Проведенное исследование подтверждает целесообразность использования веб-технологий для создания специализированных информационных систем в сфере услуг и демонстрирует практический подход к их проектированию и реализации, при этом разработанная автоматизированная информационная система «Автомастерская» демонстрирует эффективность применения современных веб-технологий для автоматизации бизнес-процессов в сфере автосервиса, где использование React в сочетании с современными подходами к проектированию пользовательских интерфейсов позволило создать удобное и функциональное решение для оптимизации управления авторемонтным предприятием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дакетт Дж. HTML и CSS. Разработка и дизайн веб-сайтов. [Текст] / Джон Дакетт. – Москва: Эксмо, 2019. – 480 с.
2. Макеев И. В. React в действии. Современные подходы к разработке. [Текст] / Игорь Макеев. – Санкт-Петербург: Питер, 2022. – 352 с.
3. Федотов А. Н. React.js. Профессиональная разработка веб-приложений. [Текст] / Алексей Федотов. – Москва: БХВ-Петербург, 2023. – 448 с.

Лычев Никита Евгеньевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: if_if@mail.ru

Научный руководитель:
Ключкина Виктория Александровна,
 ассистент кафедры информационных
 и робототехнических систем,
 НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)

Б.М. МАГАХУРА
 B.M. MAGAHURA

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ РЕГИСТРАТУРЫ МЕДИЦИНСКОГО ЦЕНТРА

FUNCTIONAL MODELING OF THE ACTIVITIES OF THE REGISTRATION DESK OF A MEDICAL CENTER

В данной статье представлено функциональное моделирование процесса регистрации в медицинском центре SOS с использованием модели IDEF0. Были построены и декомпозированы диаграммы «КАК ЕСТЬ» и «КАК ДОЛЖНО БЫТЬ». Модель «КАК ЕСТЬ» использовалась для анализа текущего операционного состояния процесса регистрации в медицинском центре SOS, а в модели «КАК ДОЛЖНО БЫТЬ» предполагается биометрическая идентификация пациентов и автоматизированная обработка данных пациентов. В статье показано, что внедрение медицинской информационной системы улучшает процесс регистрации пациентов, оптимизирует обработку медицинских записей и сокращает время ожидания.

Ключевые слова: IDEF0, функциональное моделирование, медицинская информационная система, регистратура, автоматизация, биометрия.

This paper presents a functional model of the registration process at the SOS medical center using the IDEF0 methodology. «AS-IS» and «TO-BE» diagrams were constructed and decomposed. The «AS-IS» model was used to analyze the current operational state of the registration process at the SOS medical center, while the «TO-BE» model involves biometric patient identification and automated patient data processing. The paper demonstrates that the implementation of a medical information system improves the patient registration process, streamlines medical records management, and reduces waiting times.

Keywords: IDEF0, functional modeling, medical information system, registration desk, automation, biometrics.

Согласно международным стандартам первичной медико-санитарной помощи, время регистрации не должно превышать 5 минут, однако анализ данных регистрации из медицинского центра «SOS» показывает, что время регистрации составляет 5-10 минут. Основная причина этого – ручной поиск записей пациентов и отсутствие централизованной базы данных.

Диаграмма IDEF0 описывает процесс «Деятельность регистратуры» как единый, фиктивный блок. Входными данными являются «жалобы пациента», «личные данные пациента» и «данные регистратора». Выходными данными являются «зарегистрированный талон» и «амбулаторная карта» пациента. Система управляется в соответствии со стандартами здравоохранения Республики Бурунди, а ее механизмами являются регистрационный агент, компьютер и программное обеспечение.

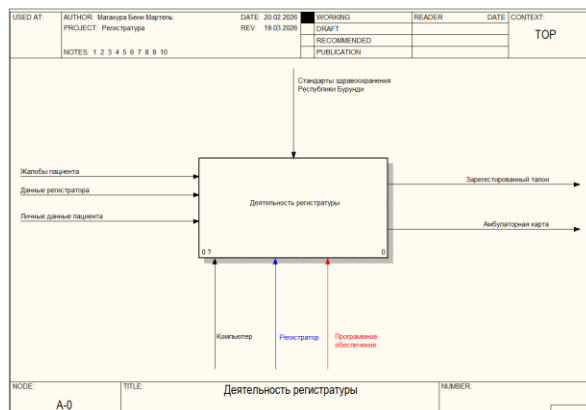


Рисунок 1 – Диаграмма IDEF0 «Деятельность регистратуры»

Декомпозиция функциональной диаграммы «Деятельность регистратуры» включает четыре подпроцесса: «Авторизация в системе», «Обработка данных в системе», «Оформление документов» и «Выдача информации». Эта декомпозиция показана на рисунке 2.

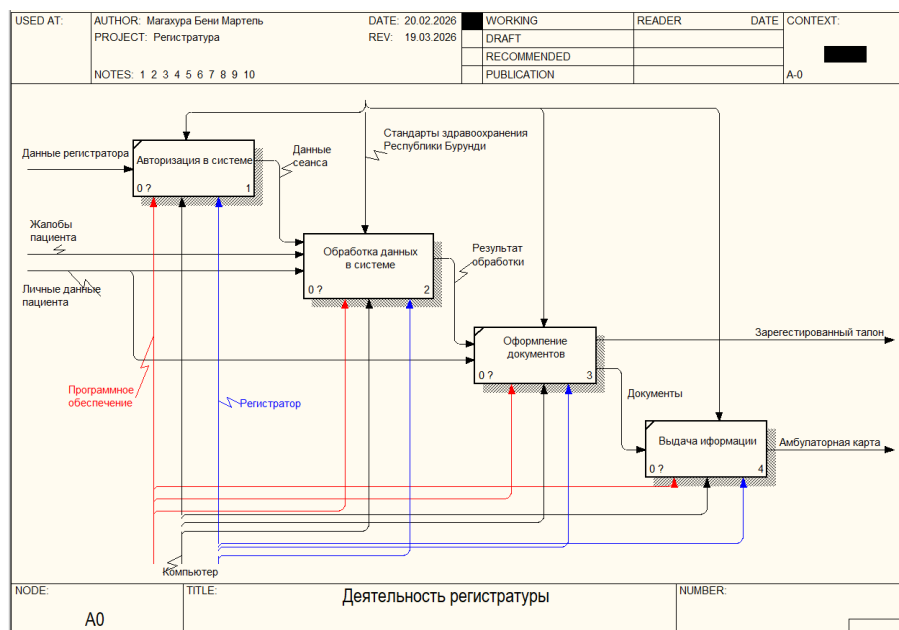


Рисунок 2 – Декомпозиция процесса «Деятельность регистратуры»

Декомпозиция подпроцесса «Обработка данных в системе» включает в себя «Ручной поиск пациента в системе», а также «Поиск свободного времени для записи на прием к врачу». Это приводит к длительному ожиданию. Декомпозиция «Обработка данных в системе» представлена на рисунке 3.

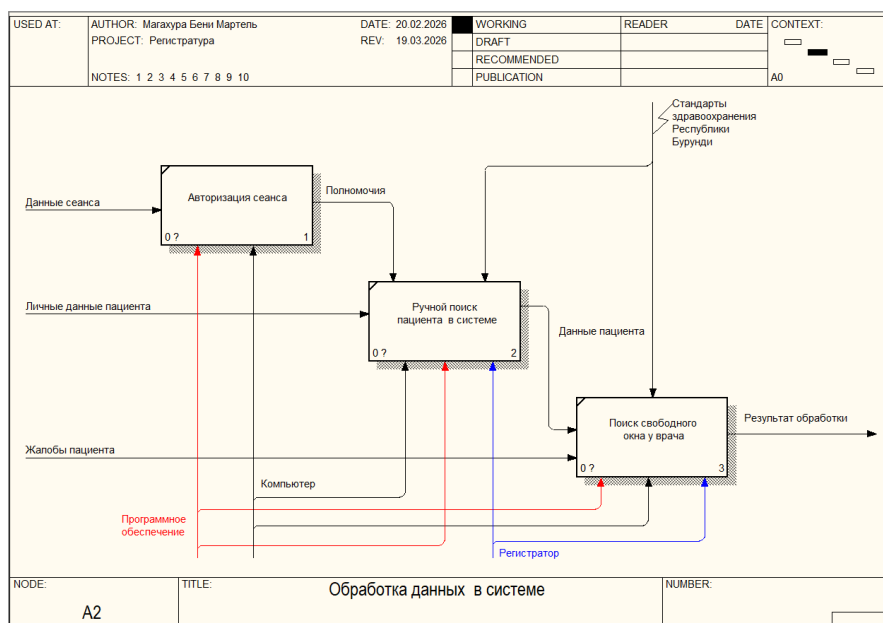


Рисунок 3 – Декомпозиция «Обработка данных в системе»

На основе выявленных проблем была разработана модель инновационного подхода к текущему процессу регистрации. В нее добавлен новый элемент: «Биометрия». Биометрическая идентификация пациента основана на чертах лица и автоматически получает доступ к данным из базы данных. Этот новый элемент позволит исключить ручной поиск, сократить дублирование ввода данных и время ожидания. Это современная медицинская информационная система, которая заменит существующее программное обеспечение. Модель показана на рисунке 4.

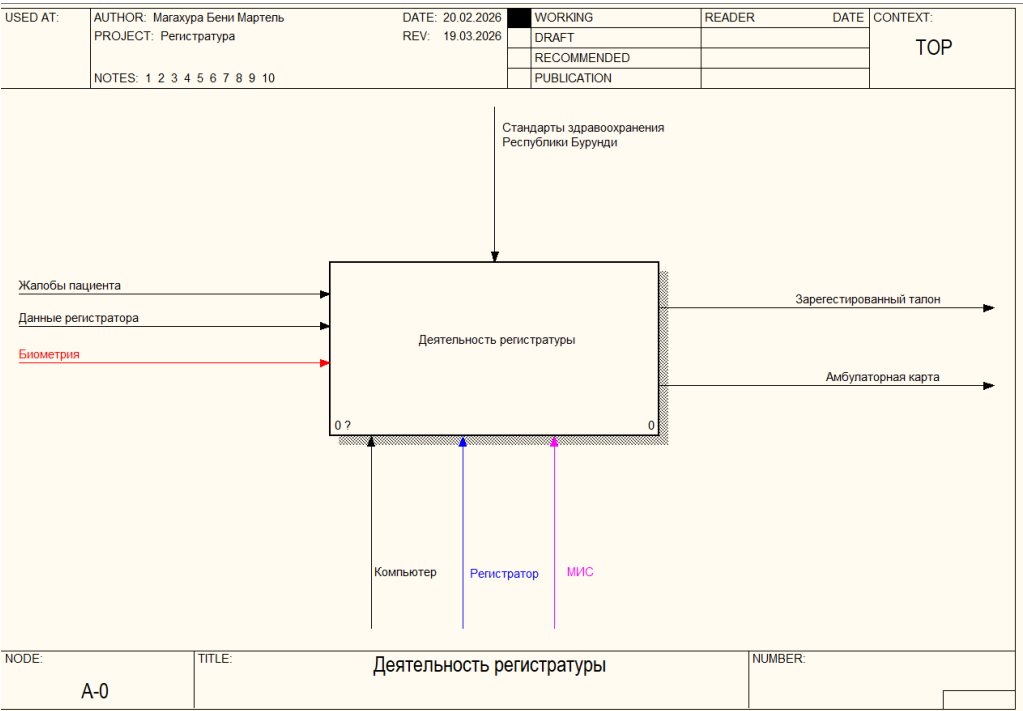


Рисунок 4 – Диаграмма IDEF0«КАК ДОЛЖНО БЫТЬ» для процесса «Деятельность регистратуры»

Декомпозиция процесса «Деятельность регистратуры» включает четыре подпроцесса модели «КАК ЕСТЬ», а биометрические данные передаются в «Обработка данных в системе». «Данные сеанса» и биометрические данные принимаются параллельно, что сокращает время обработки данных пациента. Эта декомпозиция представлена на рисунке 5.

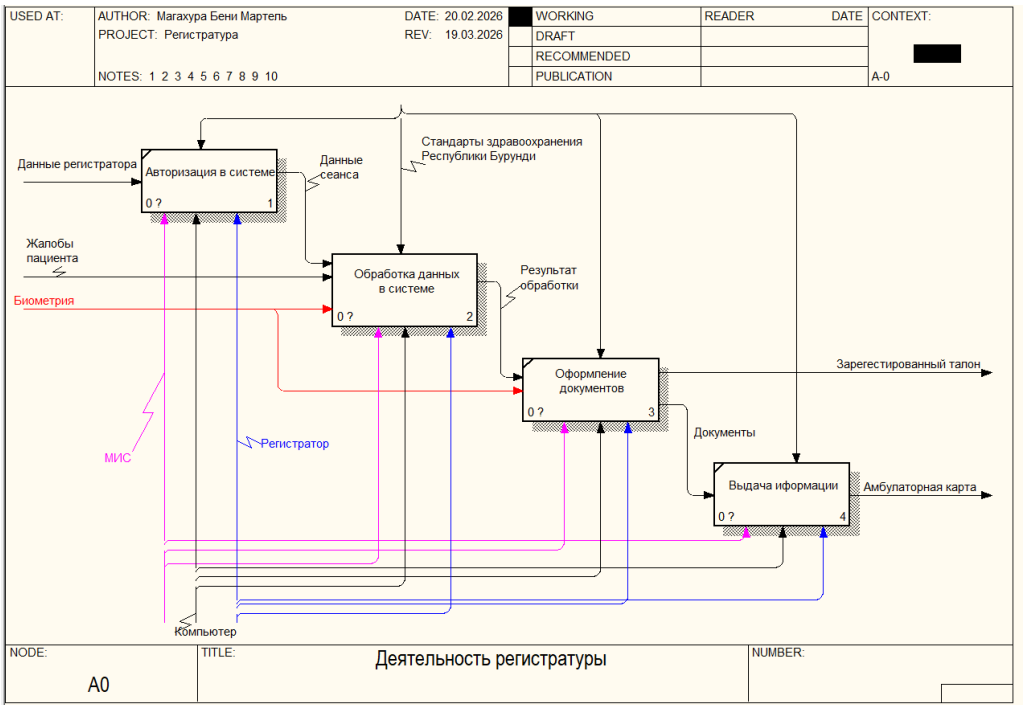


Рисунок 5 – Диаграмма IDEF0«КАК ДОЛЖНО БЫТЬ» декомпозиции процесса «Деятельность регистратуры»

При декомпозиции подпроцесса «Обработка данных в системе» ручной поиск заменяется автоматическим. Подробная структура показана на рисунке 6.

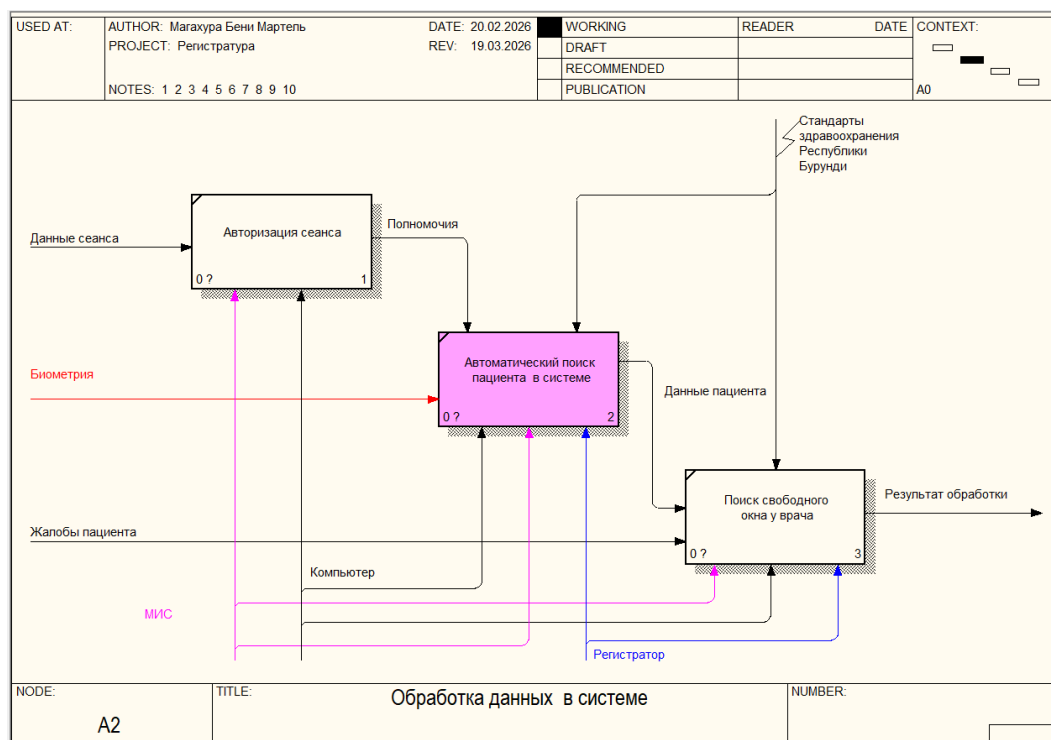


Рисунок 6 – Диаграмма IDEF0 «КАК ДОЛЖНО БЫТЬ» декомпозиции «Обработка данных в системе»

Таким образом, в данной статье представлены функциональные модели бизнес-процессов для регистратуры медицинского центра «SOS». Эти модели были построены с использованием нотации IDEF0. Модель «КАК ЕСТЬ» выявила проблемы, связанные с регистрацией, такие как потери времени и ошибки ввода данных. Модель «КАК ДОЛЖНО БЫТЬ» улучшает процесс за счет автоматизации обработки данных, получения данных о пациентах, биометрической идентификации и замены существующего программного обеспечения медицинской информационной системой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. World Health Organization. Quality of Care: A Process for Making Strategic Choices in Health Systems. – Geneva: Rafael Bengoa, Peter Key, Sheila Leatherman M. Rashad Fares Massoud, Pedro Saturno, 2006. – 50 p
2. Репин В. В., Бизнес-процессы. Моделирование, внедрение, управление. – М.: Манн, Иванов и Фербер, 2013. – 512 с.
3. IDEF0 Function Modeling Method. Federal Information Processing Standards Publication 183. – National Institute of Standards and Technology Gaithersburg, 1993. – 131 p.
4. Исаев, Г.Н. Проектирование информационных систем. Учебное пособие. – М.: Омега-Л, 2015. – 432с.

Мартель Магахура Бени

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: 1591958@bsuedu.ru

УДК 004.414.2

*Научный руководитель:
Пусная Ольга Петровна,
старший преподаватель кафедры
прикладной информатики и
информационных технологий,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

A.A. МЕДВЕДЕВ
A.A. MEDVEDEV

МЕТОДЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ И СТРУКТУРИРОВАНИЯ ЗНАНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ВЕБ-ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ НАУЧНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СТУДЕНТОВ И ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

METHODS FOR EXTRACTING AND STRUCTURING KNOWLEDGE IN THE DESIGN OF A WEB INFORMATION SYSTEM FOR ORGANIZING SCIENTIFIC INTERACTION BETWEEN STUDENTS AND TEACHERS

В данной статье авторы освещают проблему извлечения и структурирования знаний при проектировании веб-информационной системы, предназначенной для организации научного взаимодействия студентов и преподавателей. В работе выполнен анализ предметной области, определены входные и выходные данные системы, сформирован словарь терминов, выявлены связи между ключевыми понятиями и выделены метапонятия. На основе проведенного анализа построены пирамида знаний, концептуальная и функциональная модели предметной области. Предложенный подход позволяет формализовать знания о научном взаимодействии участников образовательного процесса и создать основу для разработки интеллектуальной рекомендательной подсистемы подбора научного руководителя и соавторов.

Ключевые слова: извлечение знаний, структурирование знаний, веб-информационная система, база знаний, рекомендательная система, научное взаимодействие, студенты, преподаватели.

This article discusses methods for extracting and structuring knowledge in the design of a web information system intended to organize scientific interaction between students and teachers. The subject area is analyzed the input and output data of the system are defined, a dictionary of terms is formed, relationships between key concepts are identified, and metaconcepts are выделены. Based on the analysis, a knowledge pyramid, as well as conceptual and functional models of the subject area, are constructed. The proposed approach makes it possible to formalize knowledge about scientific interaction between participants in the educational process and to create a foundation for the development of an intelligent recommendation subsystem for selecting a scientific advisor and co-authors.

Keywords: knowledge extraction, knowledge structuring, web information system, knowledge base, recommendation system, scientific interaction, students, teachers.

Разработка цифровых решений для поддержки учебной и исследовательской деятельности становится одной из заметных тенденций современного образования. Особенно это актуально для задач, связанных с поиском научного руководителя, подбором соавторов и организацией совместной работы студентов и преподавателей. Подобные процессы включают большое количество взаимосвязанных факторов: направление подготовки, научные интересы, опыт преподавателя, формат предполагаемой работы, уже имеющиеся публикации и текущую нагрузку участников. Поэтому при проектировании такой системы важным этапом выступает не только определение её функций, но и формальное описание самой предметной области. В рамках исследования рассматриваются методы извлечения и структурирования знаний, применяемые при создании веб-информационной системы, ориентированной на поддержку научного взаимодействия в университетской среде.

Исходным шагом стало выделение информационных потоков, с которыми будет работать система. Основу входных данных составляют сведения о студентах и преподавателях, а также сопутствующая информация, необходимая для анализа и последующего подбора. К наиболее значимым группам входных данных можно отнести:

- сведения о студентах;
- сведения о преподавателях;
- данные о тематике исследований;
- историю взаимодействий между пользователями;
- организационные ограничения, связанные с научной нагрузкой.

Для студентов значимыми являются персональные данные, направление подготовки, исследовательские интересы, желаемый тип научной работы, публикационная активность и средства связи. Для преподавателей существенными оказываются кафедральная принадлежность, научные направления, количество доступных мест для руководства, публикации и контактные данные. В качестве результатов обработки таких данных предполагается получение рекомендаций по выбору научного руководителя, подбору потенциальных соавторов, формированию исследовательских групп и определению наиболее подходящего сценария сотрудничества.

Для того чтобы обеспечить однозначное понимание предметной области, был сформирован терминологический словарь, включающий ключевые понятия, необходимые для описания структуры будущей системы. В него вошли категории, характеризующие участников взаимодействия, элементы пользовательского профиля, виды научной деятельности, механизмы коммуникации и компоненты интеллектуальной обработки данных. Среди центральных терминов можно выделить такие, как «пользователь», «студент», «преподаватель», «научный руководитель», «профиль пользователя», «заявка», «тема исследования», «публикация», «алгоритм подбора», «база знаний» и «рекомендательная система». Значение этих понятий рассматривалось не само по себе, а в контексте их роли в общей логике системы. Так, профиль пользователя представляет собой не просто набор анкетных характеристик, а источник параметров, на основе которых возможны поиск, фильтрация и интеллектуальное сопоставление участников научного взаимодействия.

После выделения основных терминов стало возможным перейти к рассмотрению не только отдельных понятий, но и характера их взаимодействия в рамках всей системы. Для этого важно установить, какие сущности являются центральными, какие выполняют вспомогательную функцию, а также каким образом между ними распределяются информационные и логические связи. Такой анализ позволяет выявить внутреннюю организацию предметной области и определить, какие элементы оказывают наибольшее влияние на процессы поиска, подбора и согласования научного сотрудничества. В результате становится возможным представить структуру знаний не в виде простого перечня характеристик, а как упорядоченную систему взаимосвязанных объектов и отношений.

Следующим этапом стал анализ связей между выделенными понятиями. Это позволило перейти от перечня терминов к более целостной модели предметной области. В результате были определены укрупнённые смысловые блоки, объединяющие родственные сущности: пользователи и роли, характеристики профиля, научная деятельность, процессы взаимодействия, рекомендательные механизмы и архитектурные компоненты системы. Внутри этих блоков выделяются устойчивые логические отношения. Например, профиль пользователя связан с научными интересами, компетенциями и публикациями; студент инициирует заявку на сотрудничество; преподаватель может выполнять функции научного руководителя; рекомендательная подсистема использует сведения о профилях и истории взаимодействия для формирования предложений. Указанные связи наглядно представлены на рисунке 1, где предметная область показана не как набор изолированных сущностей, а как система взаимосвязанных элементов.



211

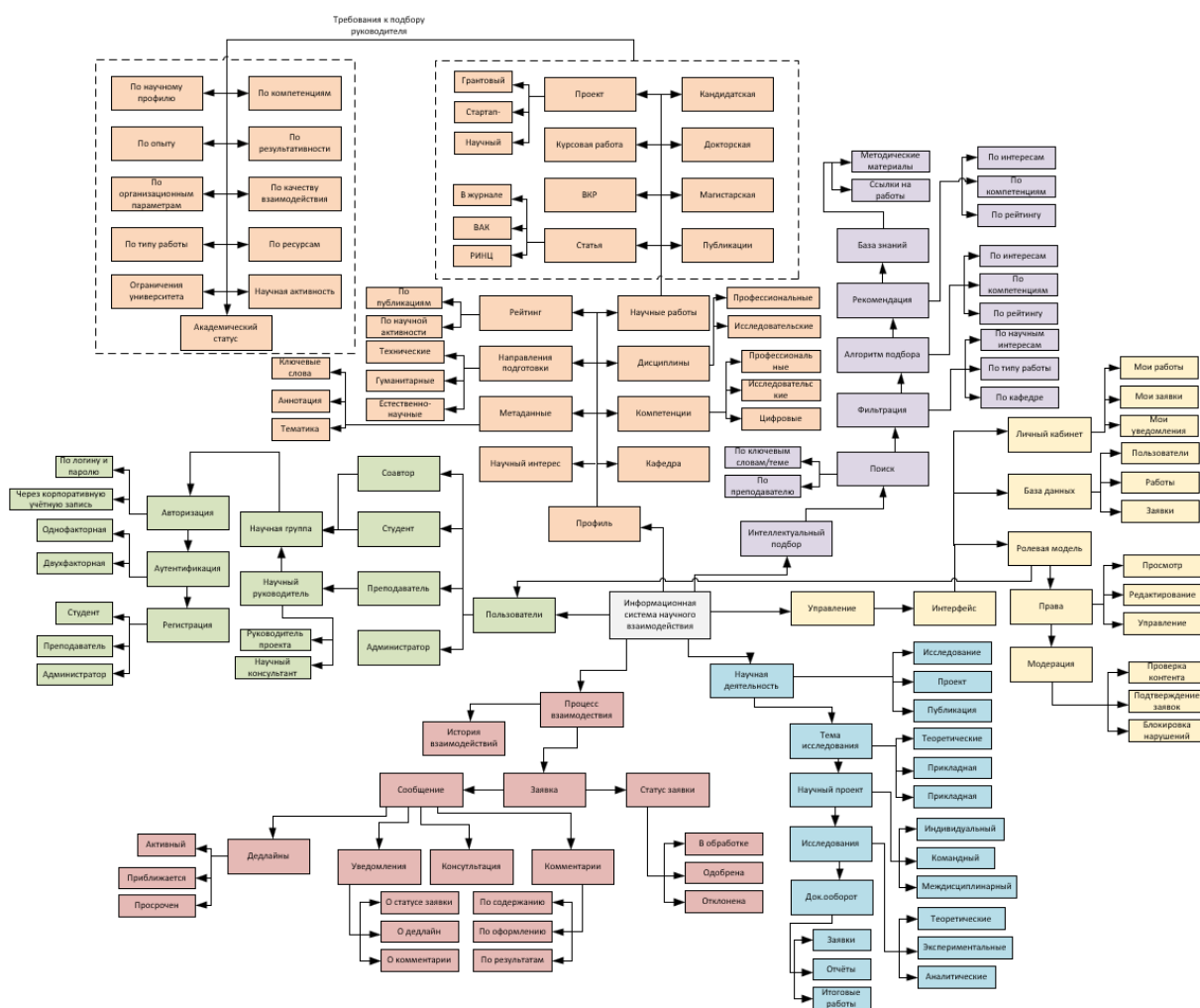


Рисунок 2 – Концептуальная модель

В ходе исследования разработано концептуальное представление предметной области для веб-информационной системы, поддерживающей научное взаимодействие в университетской среде. Предложенная модель обеспечивает формализацию предметной области и служит основой для последующей реализации системы подбора научного руководителя, соавторов и формирования исследовательских групп.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. – СПб.: Питер, 2019.
2. Зайцев А. Ф. Подход к преобразованию модели базы знаний предметной области на основе мультиграфа в реляционную модель базы данных // Системы управления, связи и безопасности. – 2024. – № 4. – С. 158–178.
3. Токтарова В. И., Казанцева О. Г. Интеграция рекомендательных систем на основе искусственного интеллекта в образовательный процесс вуза // Известия Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена. – 2024. – № 212. – С. 102–114.

Медведев Алексей Андреевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры прикладной информатики и информационных технологий

E-mail: 1723656@bsuedu.ru

*Научный руководитель:
Гончаров Дмитрий Викторович,
доцент кафедры информационных
и робототехнических систем,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

В.И. МОГУЛЕВА, И.И. ГОНЧАРОВА
V.I. MOGULEVA, I.I. GONCHAROVA

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ТУРИСТИЧЕСКОЙ ФИРМЫ DEVELOPMENT OF AN INFORMATION SYSTEM FOR A TOURIST FIRM

В современном мире с каждым годом растет количество людей, желающих путешествовать по миру. Туристические фирмы сталкиваются с высокой конкуренцией, поэтому им необходима персонализация сервисов, улучшение клиентского опыта и разнообразие информационной системы. Поэтому современные компьютерные технологии активно внедряются в сферу этого бизнеса, их применение становится неотъемлемым условием повышения конкурентоспособности любого туристского предприятия.

Ключевые слова: проектирование бизнес-процессов, туристическая фирма, автоматизация.

In today's world, the number of people who want to travel around the world is increasing every year. Travel agencies face high competition, which requires them to personalize their services, improve customer experience, and diversify their information systems. As a result, modern computer technologies are being actively integrated into the travel industry, and their use is becoming an essential factor in enhancing the competitiveness of any travel agency.

Keywords: business process design, travel agency, automation.

В современном мире с каждым годом растет количество людей, желающих путешествовать по миру. В связи с этим растет потребность в эффективной организации туристического бизнеса. Туристические фирмы сталкиваются с высокой конкуренцией, поэтому им необходима персонализация сервисов, улучшение клиентского опыта и разнообразие информационной системы. «Успех в этой отрасли напрямую зависит скорости передачи и обмена информацией, от ее актуальности, своевременного получения, адекватности и полноты» [4].

Одним из способов решения является внедрение информационной системы, которая позволит оптимизировать процессы бронирования, продажи туристических продуктов и обслуживания клиентов. Функционирование туристического рынка можно представить схемой на рисунке 1.

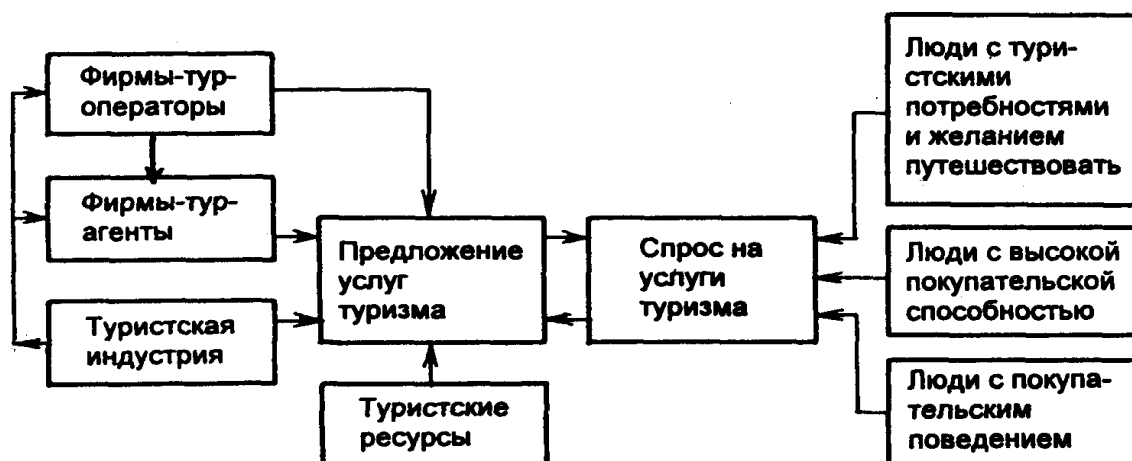


Рисунок 1 – Схема функционирования туристического рынка

Приведенная схема показывает, что спрос на услуги туризма обусловлен определенными предпосылками туристов как предъявителей спроса: людьми с туристскими потребностями и желанием путешествовать; людьми с высокой покупательной способностью, спрос которых направлен на самые престижные туры, оригинальные путешествия, высокий уровень туристского обслуживания (комфорт, особое внимание обслуживающего персонала, предоставление индивидуального гида-переводчика и автотранспорта и т.п.); людьми с покупательским поведением. Турист – покупатель услуг туризма. Покупательское поведение туриста касается всех тех природных, психологических, социальных и других причин, которые заставляют его реагировать определенным образом на рекламу. Это очень важный фактор эффективного функционирования туристского рынка. Он требует разделения туристского рынка на отдельные секторы, изучение которых помогает в достижении самого оптимального сочетания предложения и спроса на услуги туризма.

Основной деятельностью туристической фирмы является организация и продажа туристических услуг, включающих бронирование гостиниц, транспортных средств, экскурсионных программ и сопутствующих услуг. В настоящее время управление всеми процессами осуществляется вручную с использованием устаревших систем учета, что приводит к задержкам в обслуживании клиентов и ошибкам в данных. Основной канал сбыта туристического продукта

Основной целью разработки ИС для туристической фирмы является создание единой платформы, которая объединит все аспекты работы компании. Ключевые задачи включают:

- автоматизация процесса бронирования туров и услуг;
- управление клиентской базой и персонализация предложений;
- внедрение инструментов для анализа продаж и клиентского поведения.

В процессе работы с туристической фирмой участвует два актера, это: клиент и администратор. Для того, чтобы продемонстрировать их деятельность создана диаграмма вариантов использования UML, представленная на рисунке 2.

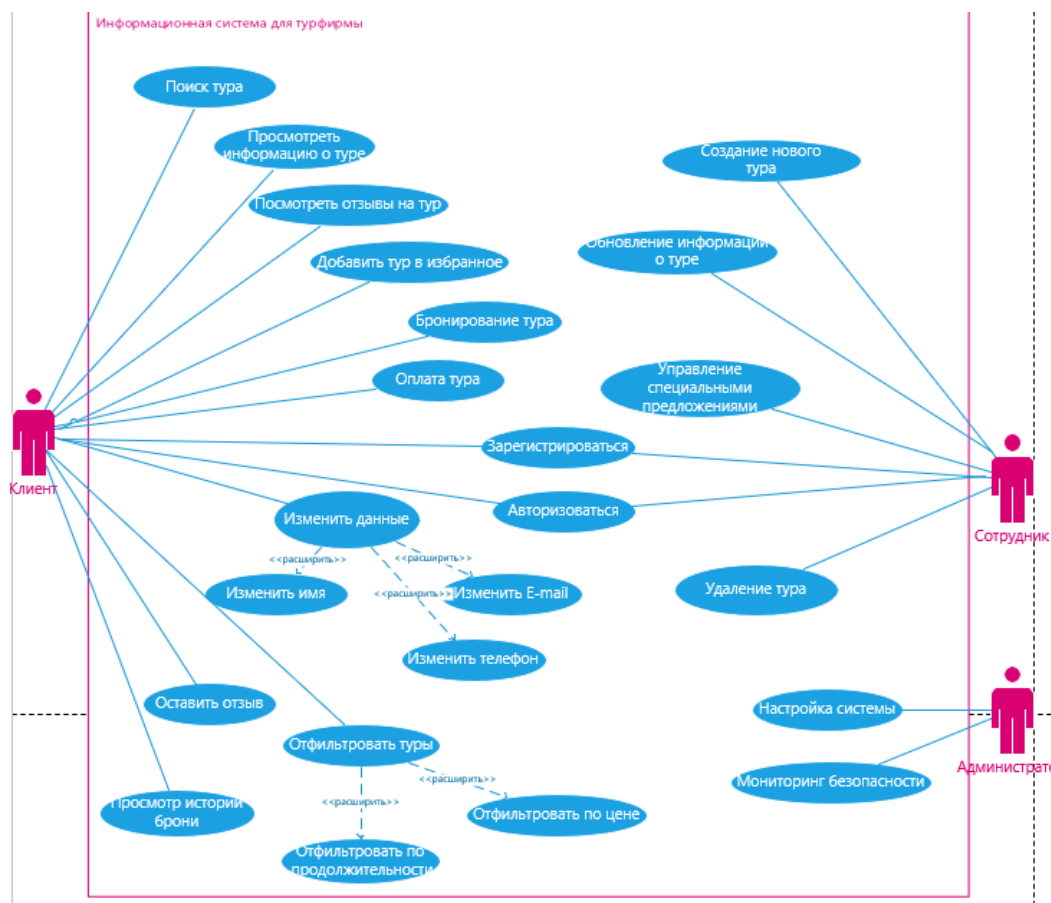


Рисунок 2 – Диаграмма вариантов использования

Данная диаграмма описывает какой функционал процесса и предстоящей разрабатываемой программы доступен каждой группе пользователей. Она демонстрирует связи между актерами и прецедентами, что позволяет всем участникам разработки и внешним пользователям обсуждать проектируемую систему [3].

В условиях насыщенного рынка туристических услуг, где конкурентная борьба достигает высокого уровня, интеграция передовых технологий становится критически важной. Уже сегодня значительная часть компаний активно применяет мобильные приложения и системы управления взаимоотношениями с клиентами (CRM) для оптимизации взаимодействия. Это диктует настоятельную потребность в создании инновационных информационных систем, которые позволят обеспечить существенное конкурентное преимущество.

Создание информационной системы для туристической компании – это многогранный проект, который требует тщательного изучения запросов пользователей и глубокого понимания особенностей туристического бизнеса. Его успешное внедрение позволит оптимизировать внутренние операции, повысить качество обслуживания клиентов, что в итоге приведет к росту продаж и укреплению рыночных позиций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Астапчук, В. А. Корпоративные информационные системы: требования при проектировании : учебное пособие для вузов / В. А. Астапчук, П. В. Терещенко. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2023. – 113 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-08546-4. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/514213>.
2. Богатырев, В. А. Надежность информационных систем : учебное пособие для среднего профессионального образования / В. А. Богатырев. – 2-е изд. – Москва : Издательство Юрайт, 2024. – 366 с. – (Профессиональное образование). – ISBN 978-5-534-18930-8. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/555113>
3. Волкова, В. Н. Моделирование систем и процессов : учебник для вузов / В. Н. Волкова [и др.] ; под редакцией В. Н. Волковой, В. Н. Козлова. – Москва : Издательство Юрайт, 2023. – 450 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-9916-7322-8. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/511077>.
4. Ветитнев, А. М. Информационно-коммуникационные технологии в туризме : учебник для среднего профессионального образования / А. М. Ветитнев, В. В. Коваленко, В. В. Коваленко. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2025. – 340 с. – (Профессиональное образование). – ISBN 978-5-534-08219-7. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/563008>.
5. Суворова, Г. М. Безопасный отдых и туризм : учебник для вузов / ответственный редактор Г. М. Суворова. – 3-е изд., испр. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2025. – 192 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-21430-7. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/571374>

Могулева Виктория Игоревна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент инжинирингово колледжа

E-mail: 1655339@bsuedu.ru

Гончарова Ирина Ивановна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Аспирант кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: goncharova_i@bsuedu.ru

УДК 004.4:658.87

*Научный руководитель:
Игитян Елена Владимировна,
доцент кафедры информационных
и робототехнических систем,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

И.С. МУРАШКО
I.S. MURASHKO

**РАЗРАБОТКА КОНФИГУРАЦИИ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ
РОЗНИЧНОЙ ТОРГОВЛИ И СКЛАДСКОГО УЧЕТА МАГАЗИНА
ОДЕЖДЫ НА ПЛАТФОРМЕ «1С:ПРЕДПРИЯТИЕ 8»**

**DEVELOPMENT OF A CONFIGURATION FOR AUTOMATING RETAIL
TRADE AND WAREHOUSE ACCOUNTING IN A CLOTHING STORE
ON THE «1С:ENTERPRISE 8» PLATFORM**

Основные аспекты, рассматриваемые в данной статье, включают этапы разработки конфигурации для автоматизированной системы в сфере розничной торговли. Данная работа направлена на создание эффективного способа автоматизации торговли и складского учета магазина одежды.

Ключевые слова: 1С Предприятие, розничная торговля, автоматизация, складской учет.

The main aspects covered in this article include the stages of developing a configuration for an automated system in the retail industry. This work aims to create an effective method for automating the trade and warehouse management of a clothing store.

Keywords: 1C Enterprise, retail, automation, warehouse management.

Розничная торговля – это продажа товаров или услуг конечным потребителям для их личного некоммерческого использования. Реализация происходит через специальные торговые точки: магазины, супермаркеты и интернет-магазины. Складской учет в сфере розничной торговли имеет свою специфику, и типовые решения под нее приходится серьезно дорабатывать [1]. Именно поэтому возникает необходимость создавать конфигурации с нуля, учитывающие особенности конкретной области продаж и бизнес-процессов конкретного предприятия.

Система программ «1С:Предприятие 8.3» включает в себя платформу и прикладные решения, разработанные на ее основе, для автоматизации деятельности организаций и частных лиц. Сама платформа не является программным продуктом для использования конечными пользователями, которые обычно работают с одним из многих прикладных решений (конфигураций), разработанных на данной платформе. Такой подход позволяет автоматизировать различные виды деятельности, используя единую технологическую платформу [2].

Для магазина одежды при создании собственной конфигурации нужно в первую очередь продумать хранение номенклатуры. Товар описывается не просто артикулом, а множеством характеристик, таких как состав изделия, коллекция, сезон и другие общие характеристики для вида номенклатуры. Для этого нужно создать справочник с необходимыми реквизитами для хранения сведений и характеристик, что показано на рисунке 1.

Данная запись хранит в себе наименование товара и все прилагаемые к нему характеристики в полях реквизитов формы. Помимо текстового описания запись хранит картинку товара, для понимания картины товара и штрих-код товара. Штрих-код генерируется дополнительной обработкой и присваивается каждому товару по отдельности. Запись товара имеет связь с регистром сведений «Цены» для описания себестоимости вещи, ссылка на которую расположена на командной панели [3]. Перейдя по ссылке, появится форма, хранящая стоимость товара.

Рисунок 1 – Запись сведений о товаре в справочнике «Номенклатура»

Помимо централизованного хранилища записей о товарах стоит задача в создании инструмента реализации товаров, именно в данном случае этим инструментом является документ «Продажа». Данный документ является одним из главных документов в сфере розничной торговли. Запись должна хранить в себе данные о продаваемом товаре, о клиенте и продавце, и других данных касательно продажи.

Рисунок 2 – Форма документа «Продажа»

На рисунке 2 представлена форма документа «Продажа», которая описывает покупку клиентом товара. Форма включает в себя автоматических расчет суммы исходя их цены товара и количества. Помимо расчета суммы учитывается остаток на выбранном складе исходя из данных наименования и описания товара. Перед оплатой подсчитывается общая сумма покупки, из которой вычитается скидка, если имеется. Существует бонусная программа, позволяющая копить и тратить бонусные баллы на снижение итоговой цены. Вызывается программа с помощью сторонней обработки, в которую автоматически заносятся сведения о бонусной карте клиента и количества бонусных баллов. Указав необходимое количество баллов и выполнения обработки – значение переместится в поле «Бонусные баллы», после чего выполнится перерасчет итоговой суммы. В случае отсутствия карты у клиента имеется возможность вызвать форму создания бонусной программы на имя клиента, что показано на рисунке 3.

← → ☆ Реферальная программа 000000001 от 24.03.2026

Создать программу Сохранить

Дата: 24.03.2026 13:07:31

Данные клиента для оформления карты

Клиент: Олегов Михаил Генадьевич

Номер бонусной карты: TGTEXYCKZWR781 Создать

Рисунок 3 – Создание документа бонусной программы на имя клиента

Форма генерирует уникальный номер из латинских букв и цифр с помощью генератора. На одного клиента можно создать только одну карту, так как после создания генератор карт блокируется. При проведении документа созданный номер присвоится к записи о клиенте в справочник «Клиенты», что показано на рисунке 4.

☆ Олегов Михаил Генадьевич (Клиент)

Занести сведения о клиенте Записать

Персональные данные Реферальная программа

Участие в реферальной программе магазина

Дата активации: 24.03.2026

Номер карты: TGTEXYCKZWR781 Количество баллов: 950

Рисунок 4 – Внесение номера карты к записи о клиенте после создания документа реферальной программы

Помимо всего этого необходимо хранить сведения товарных движений для учета остатков товаров. Для этого нужно создать связь между документом «Продажа» и регистром накопления «Товарные остатки». На рисунке 5 можно увидеть процесс проведения документа «Продажа», при котором будет создаваться запись с типом «Расход» в разрезе наименования и описания.

Товарные остатки

Установить период отображения

Период	Регистратор	Ном...	Товар	Склад	Набор свой...	Количество ↓
- 20.03.2026 10:58:24	ПРОДАЖА 0000...	1	Ann demeulemeester Damon Lo...	Основной	Черный, М	1,000

Рисунок 5 – Запись в регистре накопления «Товарные остатки»

Для оперативного перемещения между объектами конфигурации необходимо создать ссылки на журналы и кнопки на создание новых документов. Для этого в обработку помещаются все необходимые элементы и программно создаются действия на размещенные элементы. На рисунке 6 представлена готовая форма, которая размещается на главной странице для удобства навигации.

Начальная страница Обсуждения

Меню быстрого доступа (ср. 25.03.2026 11:10:09)

Организация: UNDERCOVER

Журналы документов

Журнал продаж Журнал поступлений

Журнал возвратов Журнал заказов на поставку товаров

Журнал оплат поставщикам

Создание документов

Создать документ продаж Создать заказ на поставку товаров

Справочники

Номенклатура Клиенты

Регистры сведений

Цены товаров

Отчеты

Меню отчетов

Остатки денежных средств

Выручка по операциям: 27 986,00 Р

Общие затраты: 39 980,00 Р

Выручка чистыми: -11 994,00 Р

Задачи

Задач на исполнение: 0

Задач просрочено: 0

Закупка товаров

Заказов на поставку: 0

Предварительная сумма: 0,00 Р

Отправления

Заказов к отправке: 0

Сумма отправлений: 0,00 Р

2026 Март < >

Пн Вт Ср Чт Пт Сб Вс

23 24 25 26 27 28 1

2 3 4 5 6 7 8

9 10 11 12 13 14 15

16 17 18 19 20 21 22

23 24 25 26 27 28 29

30 31 1 2 3 4 5

Сегодня, 25 марта 2026 г.

Рисунок 6 – Размещение формы быстрой навигации на начальной странице

Форма хранит в себе, помимо кнопок для перехода по объектам системы, краткий анализ денежных движений, сведения о задачах, поставках и отправлениях. На рисунке 7 в верхней части страницы можно увидеть гиперссылку для перехода на запись, хранящая в себе сведения об организации. Форма записи представляет основную информацию касательно организации в сфере розничной торговли.

UNDERCOVER: UNDERCOVER (Организация)

Занести сведения Сохранить Печать реквизитов

Сведения о компании (Организация) Логотип:

Сокращенное наименование: UNDERCOVER ?

Полное наименование: UNDERCOVER JUN TAKAHASHI TM ?

Отображение в программах: UNDERCOVER ?

ИНН: 8563274935 ? КПП: 835475374 ?

ОГРН: 4245263623625 ?

Дата регистрации: 06.10.1983 ?

Основной банковский счет

Банк: []

Счет: [] Не выдано

Местонахождение

Юридический адрес: []

Фактический адрес: []

Адреса совпадают: []

Контактные данные

Телефон: 3305242456 Факс: 44433

Электронная почта: undercover@x.com

Рисунок 7 – Сведения об организации

В заключении стоит подчеркнуть, что создание автоматизированной системы позволяет оптимизировать работу предприятия, независимо от масштабов бизнеса. Внедрения таких конфигураций существенно экономит время и дает аналитических потенциал в возможности контролирования всех торговых процессов в сфере розничной торговли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Как устроены аспекты сферы розничной торговли. // URL: <https://skillbox.ru/media/business/roznichnaya-torgovlya-kak-ona-ustroena-i-chto-o-ney-nuzhno-znat-predprinimatelyu/?ysclid=mn5qz3cbr4438209215>.
2. Разработка и реализация конфигурации "Магазин одежды «PULL and BEAR»" на платформе 1С. // URL: <https://files.student-it.ru/previewfile/56806/>.
3. Представление справочников 1С Предприятие 8. // URL: <https://1c.programs93.ru/articles/spravochniki-v-1s-predstavlenie-iz-rezhima-1s-predpriyatie-i-rezhima-konfigurator/>.

Мурашко Иван Сергеевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: 1645804@bsuedu.ru

УДК 378.147.88

Научный руководитель:
Нарожний Андрей Вячеславович,
Генеральный директор
ООО «Эксперт Чойс СиАйЭс»,
(Белгород, Россия)

С.М. НЕВЕНЧЕНКО, Д.А. ЗУБОВ, О.С. МИКУТИС
S.M. NEVENCHENKO, D.A. ZUBOV, O.S. MIKUTIS

РОЛЬ ПРОЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА В ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРАКТИКЕ СТУДЕНТОВ ИТ-СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

THE ROLE OF A PROJECT-ORIENTED APPROACH IN THE INDUSTRIAL INTERNSHIP OF IT STUDENTS

В статье рассматривается роль проектно-ориентированного подхода в организации производственной практики студентов ИТ-специальностей. Такой подход выступает связующим звеном между академическими знаниями, получаемыми студентами, и реальными профессиональными задачами. Особое внимание уделяется формированию не только «жёстких» навыков, но и универсальных «мягких» навыков: коммуникативных, навыков гибкого мышления и self-менеджмента. В статье описывается опыт организации практики, включающий внедрение отраслевых стандартов работы. Авторы приходят к выводу, что проектно-ориентированный подход в производственной практике способствует формированию у начинающих ИТ-специалистов осознанности, инициативности и ответственности, что, в свою очередь, повышает их готовность к самостоятельной профессиональной деятельности.

Ключевые слова: проектно-ориентированный подход, производственная практика, ИТ-специалисты, мягкие навыки, профессиональная подготовка.

The article examines the role of a project-oriented approach in organizing industrial internships for IT students. This approach serves as a link between the academic knowledge acquired by students and real professional tasks. Particular attention is paid to the development of not only "hard" skills but also universal "soft" skills: communication skills, flexible thinking skills, and self-management. The article describes the experience of organizing internships, including the introduction of industry work standards. The authors conclude that a project-oriented approach in industrial internships contributes to the formation of awareness, initiative, and responsibility among novice IT specialists, which, in turn, increases their readiness for independent professional activity.

Keywords: project-oriented approach, industrial internship, IT specialists, soft skills, professional training

Производственная практика студентов, на наш взгляд, представляет собой один из важнейших этапов подготовки компетентных специалистов, особенно если проходит в рамках проектно-ориентированного подхода. Это та деятельность, которая является связующим звеном между теорией, получаемой учащимся на занятиях, и практикой, необходимой для решения конкретных профессиональных задач. Знания и умения, черпаемые студентами от профессионалов отрасли, формируют фундамент для будущей трудовой деятельности начинающего специалиста. Время, отведённое под производственную практику, рассматривается как одна из немногих возможностей дать студентам актуальные практические навыки и инструменты для будущей профессиональной деятельности [1].

Для ИТ-сферы, как передовой отрасли бизнеса, особенно важны компетентные и образованные специалисты. Студенты высших и средних профессиональных образовательных учреждений получают базовые знания и навыки, которые становятся фундаментом для их профессионального развития. В число необходимых профессиональных умений и навыков, предъявляемых к специалисту, входят [4]:

- владение основными методологиями процессов разработки программного обеспечения;
- умение оптимизировать программный код с применением специализированных программных средств;

- способность осуществлять разработку программного обеспечения на современных языках программирования;
- владеть объектно-ориентированной разработкой.

Что касается необходимых знаний, то к ним, прежде всего, относятся:

- знание методологий разработки программного обеспечения; методов и технологий использования средств разработки для получения кода с заданной функциональностью и требуемым уровнем качества;
- основ объектно-ориентированной разработки; основных методов и средств эффективной разработки;
- особенностей программирования обмена с окружающей средой;
- знание языков программирования и соответствующего инструментария разработки программного обеспечения

Для полноценного усвоения и закрепления данных умений и знаний важна производственная практика, которую проходят студенты в отраслевых партнерах. Помимо рассмотренных выше «жестких» навыков особенно важную роль играют «мягкие» навыки. «Жесткие» навыки представляют собой, академические и профессиональные знания, которые необходимы человеку для выполнения конкретной профессиональной деятельности. «Мягкие» навыки, в свою очередь, являются универсальными и присущи специалистам любого профиля. При этом, как отмечается, именно «мягкие» навыки выступают необходимым условием для полноценной реализации навыков «жестких» [2].

В рамках практики, которую проводим для студентов учебных заведений, мы большое внимание уделяем развитию «мягких» навыков обучающихся, так как при их развитии молодым специалистам удастся быстрее и качественнее усваивать академические знания и формировать практические навыки. В научном поле выделяют следующие группы «мягких навыков» [3]:

- навыки, отвечающие за коммуникацию: навыки публичного выступления и самопрезентации; умение вести диалог и аргументировать свою позицию; умение работать в команде; умение принимать решения в новых незнакомых ситуациях;
- навыки, отвечающие за гибкость мышления: умение мыслить нестандартно, умение выходить за рамки очевидных решений, способность рассуждать вслух (оценивать ход собственных мыслей), декомпозиция сложных проблем на простые составляющие, пространственное и алгоритмическое мышление;
- навыки, отвечающие за самоорганизацию личности: навыки целеполагания; инициативность; эмоциональный интеллект и рефлексия; навыки тайм-менеджмента.

Для развития «мягких» навыков у студентов, проходящих практику, мы, прежде всего, делимся собственной экспертизой и помогаем студентам последовательно проработать каждую из описанных выше групп.

С самого старта взаимодействия мы прививаем студентам рабочие подходы, которые являются отраслевыми стандартами в сфере ИТ: регулярные встречи по планированию, контролю и внедрению задач (дейли-митинги, статусные и ретроспективные встречи, демонстрации и защиты, а также встречи с бизнес-владельцами). Такой подход позволяет эффективно развивать коммуникативные навыки, навыки самопрезентации и умение работать в команде.

Дополнительно мы обучаем практикантов работе с набором ключевых отраслевых инструментов для работы с задачами: task-трекерами, инструментами для проведения аналитики, вики-системами и т.д. Это структурирует рабочий процесс, развивает системность мышления и самоорганизацию.

Практика проходит в мини-командах, где студенты «примеряют» на себя разные роли – аналитика, разработчика, тестировщика, администратора проекта – в зависимости от выбранного направления. При таком подходе, как подтверждает опыт, растут навыки командной работы и способность находить решения в новых незнакомых ситуациях.

Все эти действия способствуют развитию межпредметных навыков и формируют у молодых специалистов важные для профессионального роста качества: осознанность, инициативность и ответственность.

Таким образом, можно сделать вывод, что проектно-ориентированный подход в производственной практике студентов, является неотъемлемым этапом воспитания новых поколений молодых специалистов на качественно новом уровне. Именно проектно-ориентированный подход позволяет не только закрепить академические знания и освоить «жесткие» навыки, но и сформировать универсальные «мягкие» навыки, которые выступают необходимым условием для полноценной реализации профессионального потенциала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксентов, В. А. Важность стажировки студентов ИТ-специальностей / В. А. Аксентов // Вестник науки. – 2023. – Т. 4, № 2(59). – С. 204-206.
2. Локтаева, Н. Н. Понятие «мягкие навыки» как педагогическая категория: сущность и содержание / Н. Н. Локтаева // Инновационные проекты и программы в образовании. – 2019. – № 4(64). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ponyatie-myagkie-navyki-kak-pedagogicheskaya-kategoriya-suschnost-i-soderzhanie> (дата обращения: 16.04.2026).
3. Сорокопуд, Ю. В. Soft skills («мягкие навыки») и их роль в подготовке современных специалистов / Ю. В. Сорокопуд, Е. Ю. Амчиславская, А. В. Ярославцева // МНКО. – 2021. – № 1(86). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/soft-skills-myagkie-navyki-i-ih-rol-v-podgotovke-sovremennyh-spetsialistov> (дата обращения: 17.04.2026).
4. Шаймарданова, Л. К. Специфика профессионального обучения студентов – будущих специалистов информационных технологий / Л. К. Шаймарданова // Уникальные исследования XXI века. – 2016. – № 9(21). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/spetsifika-professionalnogo-obucheniya-studentov-buduschih-spetsialistov-informatsionnyh-tehnologiy> (дата обращения: 16.04.2026).

Невенченко Савелий Михайлович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры возрастной и социально психологии

E-mail: nevenchenko.sm@expchoice.tech

Зубов Дмитрий Александрович

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, г. Белгород

Специалист кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем

E-mail: zubov.da@expchoice.tech

Микутис Ольга Сергеевна

ООО «Эксперт Чойс СиАйЭс»

Эксперт по работе с клиентами

E-mail: mikutis.os@expchoice.tech

УДК 004.912

Научный руководитель:
Ильинская Елена Владимировна,
*доцент кафедры прикладной информатики
и информационных технологий,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

Д.С. НЕСТЕРОВ, Р.Ю. ИЛЬИНСКИЙ
D.S. NESTEROV, R.Y. ILYINSKY

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА RETRIEVAL-AUGMENTED GENERATION
И СЕМАНТИЧЕСКИХ ВЕКТОРНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ
В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ГЕНЕРАЦИИ
РУССКОЯЗЫЧНЫХ НОВОСТНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**APPLICATION OF RETRIEVAL-AUGMENTED GENERATION
AND SEMANTIC VECTOR REPRESENTATIONS IN A SYSTEM
FOR AUTOMATIC GENERATION
OF RUSSIAN-LANGUAGE NEWS MATERIALS**

В статье рассматривается применение метода Retrieval-Augmented Generation (RAG) в сочетании с семантической векторизацией на основе модели Sentence-BERT для автоматической генерации русскоязычных новостных материалов. Представлена архитектура многоэтапного конвейера обработки новостных данных, описана схема интеграции RAG с языковой моделью GigaChat. Приведены результаты экспериментальной апробации по критериям оригинальности, релевантности и временной эффективности.

Ключевые слова: RAG, Sentence-BERT, генерация новостей, семантическая кластеризация, языковые модели, NLP, автоматизация.

The article examines the application of the Retrieval-Augmented Generation (RAG) method combined with semantic vectorization based on the Sentence-BERT model for automatic generation of Russian-language news materials. The architecture of a multi-stage news data processing pipeline is presented, and the integration scheme of RAG with the GigaChat language model is described. Experimental results are provided based on originality, relevance, and time efficiency criteria.

Keywords: RAG, Sentence-BERT, news generation, semantic clustering, language models, NLP; automation.

Объём русскоязычного новостного контента ежегодно увеличивается более чем на 25 % [1]. В условиях растущей конкуренции в информационной среде традиционная подготовка новостных статей авторами-экспертами требует от 30 до 120 минут на один материал [2]. Существующие системы автоматической генерации текстов, как правило, не ориентированы на русскоязычные источники, не интегрированы с механизмами автоматического сбора данных и не обеспечивают контроль фактической достоверности генерируемых материалов.

Одним из ключевых направлений преодоления ограничений генеративных моделей является метод Retrieval-Augmented Generation (RAG), предложенный Lewis и соавт. в 2020 году [3]. Настоящая статья посвящена разработке и экспериментальной апробации системы автоматической генерации русскоязычных новостных материалов на основе RAG и семантических векторных представлений.

Метод Retrieval-Augmented Generation и его применение в новостной генерации. RAG представляет собой архитектурный подход, объединяющий поиск релевантных документов из внешней базы знаний (Retrieval) с последующей генерацией текста языковой моделью (Generation). В отличие от «чистой» генерации, модель в RAG-архитектуре не опирается исключительно на знания, закодированные в её весах, а обращается к верифицированному внешнему контексту. Вероятность генерируемого текста у при данном запросе x определяется формулой [3]:

$$P(y | x) = \sum P(y | x, z) \cdot P(z | x),$$

где z – фрагмент, полученный из базы знаний. Исследования демонстрируют, что метод RAG снижает частоту галлюцинаций языковых моделей на 10–20 % на задачах, требующих фактических знаний [3]. Эта особенность имеет принципиально важное значение для новостной генерации, где достоверность информации является основным требованием.

В разработанной системе RAG реализован следующим образом. Для каждого тематического кластера новостей осуществляется поиск пяти наиболее семантически близких фрагментов из уже существующих обработанных материалов. Сходство вычисляется через косинусное расстояние между векторными представлениями. Обнаруженные во время вычислений фрагменты формируют контекст объёмом до 6 000 символов, который передаётся языковой модели GigaChat API вместе с запросами пользователя и извлеченными именованными сущностями. Данный алгоритм способен обеспечить фактическую связность генерируемого текста с существующими новостными источниками.

Семантическая векторизация русскоязычных текстов. Одним из важных компонентов RAG-системы выступает механизм семантического поиска, основанный на векторных представлениях текстов. В настоящей работе применяется модель cointegrated/rubert-tiny2 – компактная русскоязычная реализация Sentence-BERT [4] с размерностью векторного пространства 312. Используемая технология Sentence-BERT расширяет архитектуру BERT [5] путём обучения на задаче Natural Language Inference с использованием сиамских сетей для получения семантически значимых векторов предложений и документов.

Выбирая модель rubert-tiny2 было принято из трех факторов. Во-первых, данная модель демонстрирует высокую скорость кодирования на CPU, достигая примерно 700 текстов за 23 секунды, что является особенно важным значением для потоковой обработки новостных лент без GPU-инфраструктуры. Во-вторых, она, будучи компактной по размерам (~67 МБ), позволяет предзагружать модель непосредственно в Docker-образ и тем самым исключить задержку при первом запуске контейнера. В-третьих, модель имеет отличное преимущество в виде нативной русскоязычной специализацией, которая обеспечит корректное определение семантической близости текстов, написанных разными словами, но описывающих одно событие.

Принципиальное преимущество семантической векторизации перед хеш-методом (Bag-of-Words) состоит в способности улавливать смысловую близость текстов независимо от лексических совпадений. В частности, заголовки «ЦБ повысил ключевую ставку» и «Банк России увеличил процентную ставку» при хеш-векторизации попадают в разные кластеры (косинусное сходство ~0,12), тогда как Sentence-BERT корректно определяет их тематическую близость (сходство ~0,87) и объединяет в один кластер.

Архитектура многоэтапного конвейера обработки. Разработанная система реализует десятиэтапный конвейер, объединяющий в единой архитектуре четыре функциональных группы (рисунок 1).

Группа 1 – сбор и нормализация включает три этапа: загрузку активных новостных источников из базы данных, параллельный сбор материалов по RSS-каналам с последующим HTTP-извлечением полного текста статей (средний объём 2 476 символов на материал), нормализацию и дедупликацию по хешу заголовка.

Группа 2 – семантический анализ реализует обращение к Python ML-микросервису по двум эндпоинтам: POST /ner для извлечения именованных сущностей типов PER, ORG, LOC, DATE посредством библиотеки Natasha (NewsNERTagger), и POST /vectorize для получения семантических векторов размерностью 312 посредством rubert-tiny2.

Группа 3 – агрегация и генерация выполняет тематическую кластеризацию новостей на основе порогового косинусного сходства (порог 0,7), формирует RAG-контекст из пяти наиболее семантически близких исторических фрагментов и осуществляет генерацию статьи через GigaChat API с динамически формируемым промптом.

Группа 4 – контроль качества реализует двухуровневую проверку: OriginalityStage отклоняет материалы с косинусным сходством выше 0,90 с уже опубликованными статьями, RelevanceStage – материалы с оценкой семантического соответствия запросу ниже 0,30.

Система реализована на языке Go 1.23 (конвейер, Telegram-интерфейс, REST API) с выделенным Python ML-микросервисом на базе FastAPI 0.109.0. Все компоненты контейнеризированы и запускаются единственной командой `docker compose up -d`. Зависимости при старте настроены через health check: Go Worker запускается только после успешной проверки работоспособности PostgreSQL, Redis и Python ML Service.

Результаты экспериментальной апробации. Апробация системы проводилась на выборке из 10 тематических запросов, охватывающих различные новостные домены (технологии, финансы, политика, экономика, наука и другие). В качестве источников использовались пять русскоязычных изданий: РБК, Ведомости, Коммерсантъ, Навг, Интерфакс. Метрики собирались из структурированных логов Docker-контейнера.

Статья признавалась валидной при одновременном выполнении трёх формальных критериев: оригинальность (косинусное сходство с источниками $\text{sim} < 0,90$), релевантность ($\text{score} > 0,30$), полнота (длина текста более 200 символов). Данные критерии проверяются автоматически без участия эксперта, что обеспечивает воспроизводимость результатов.

Результаты апробации представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели качества генерируемых материалов

Показатель	Метрика	Значение	Порог
Надёжность	Доля запросов без ошибок	100%	–
Оригинальность	Косинусное сходство с источниками	0,74 (среднее)	$< 0,90$
Релевантность	Семантическое сходство с запросом	0,61 (среднее)	$> 0,30$
Полнота	Средняя длина статьи	2 476 символов	> 200

Среднее косинусное сходство сгенерированных статей с источниками (0,74) существенно ниже порога отклонения (0,90), что подтверждает: система формирует новый текст на основе источников, а не воспроизводит их содержание. Среднее значение *relevance score* (0,61) вдвое превышает минимально допустимый уровень, свидетельствуя о высоком тематическом соответствии результатов запросам пользователей.

Переход от хеш-векторизации (размерность 128) к семантической (Sentence-BERT, размерность 312) увеличил среднее внутрикластерное косинусное сходство с 0,35 до 0,78, что говорит о существенном повышении качества тематической агрегации новостей.

Таблица 2 – Сравнение временных затрат

Параметр	Ручная подготовка	Разработанная система
Источник оценки	Reuters Institute Digital Report, 2023	Системные логи Docker
Время подготовки	30–120 минут	32–35 секунд
Количество источников	1–3 (по усмотрению)	5 (автоматически)
Коэффициент ускорения	–	$\times 50\text{--}200$

Наибольшую долю времени цикла (65,7%) занимает семантический анализ в Python ML-сервисе (NER + векторизация 700+ текстов за ~23 секунды на CPU). При наличии GPU данный показатель сократится пропорционально числу CUDA-ядер. Этапы кластеризации (~38 мс) и RAG-поиска (~29 мс) практически не влияют на общее время цикла.

Таким образом, предложенная система обеспечивает автоматическое создание оригинальных, релевантных и фактически обоснованных русскоязычных новостных материалов при сокращении времени подготовки в 50–200 раз по сравнению с ручным трудом журналиста [2]. Ключевыми факторами эффективности являются: применение RAG-архитектуры для снижения галлюцинаций и обеспечения фактической связности текста с

реальными источниками; использование русскоязычной модели Sentence-BERT (rubert-tiny2) для семантической кластеризации и поиска контекста без GPU-зависимости; двухуровневый автоматический контроль качества по измеримым критериям оригинальности и релевантности. Модульная микросервисная архитектура системы допускает замену языковой модели, модели векторизации и источников новостей без изменения конвейера в целом, что обеспечивает её применимость в корпоративных редакциях СМИ и закрытых контурах государственных структур.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Международный союз электросвязи. Измерение цифрового развития: факты и цифры 2023. – Женева : МСЭ, 2023. – URL: <https://www.itu.int> (дата обращения: 10.03.2026).
2. Reuters Institute for the Study of Journalism. Digital News Report 2023. – Oxford : University of Oxford, 2023. – 160 p.
3. Lewis, P. Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks / P. Lewis, E. Perez, A. Piktus [и др.] // Advances in Neural Information Processing Systems. – 2020. – Vol. 33. – P. 9459–9474.
4. Reimers, N. Sentence-BERT: Sentence Embeddings using Siamese BERT-Networks / N. Reimers, I. Gurevych // Proceedings of the 2019 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing. – 2019. – P. 3982–3992.
5. Devlin, J. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding / J. Devlin, M. Chang, K. Lee, K. Toutanova // Proceedings of NAACL-HLT. – 2019. – P. 4171–4186.
6. Vaswani, A. Attention Is All You Need / A. Vaswani, N. Shazeer, N. Parmar [и др.] // Advances in Neural Information Processing Systems. – 2017. – Vol. 30. – P. 5998–6008.
7. Yalunin, N. Natasha: Slow Careful Tuning of NLP Pipeline for Russian Language [Электронный ресурс] / N. Yalunin. – URL: <https://github.com/natasha/natasha> (дата обращения: 10.03.2026).

Нестеров Дмитрий Сергеевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)
Студент кафедры прикладной информатики и информационных технологий
E-mail: 1469462@bsuedu.ru

Ильинский Роман Юрьевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)
Студент кафедры информационных и робототехнических систем
E-mail: 441346@bsuedu.ru

*Научный руководитель:
Ильинская Елена Владимировна,
доцент кафедры прикладной информатики
и информационных технологий
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

Л.С ОЛЕЙНИКОВА
L.S. OLEYNIKOVA

МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ КАК ЭЛЕМЕНТ ЦИФРОВОЙ ЭКОСИСТЕМЫ СОВРЕМЕННОГО ВУЗА

MOBILE APPLICATION AS A COMPONENT OF THE DIGITAL ECOSYSTEM OF A MODERN UNIVERSITY

В статье рассматривается роль мобильного приложения как ключевого элемента цифровой экосистемы современного вуза. Анализируются основные функции и возможности мобильных решений, обеспечивающих доступ к образовательным ресурсам, коммуникацию и административные сервисы. Особое внимание уделяется преимуществам внедрения мобильных приложений, включая повышение доступности образования, оптимизации управления и рост вовлеченности студентов. Обозначены основные проблемы и перспективы развития мобильных технологий в системе высшего образования в условиях цифровой трансформации.

Ключевые слова: мобильное приложение, цифровая экосистема вуза, цифровизация образования, образовательные технологии, университет, информационные системы, электронное обучение.

The article examines the role of a mobile application as a key element of the digital ecosystem of a modern university. It analyzes the main functions and capabilities of mobile solutions that provide access to educational resources, communication, and administrative services. Special attention is given to the advantages of implementing mobile applications, including increased accessibility to education, optimized management, and increased student engagement. The article also highlights the main challenges and prospects for the development of mobile technologies in the higher education system in the context of digital transformation.

Keywords: mobile application, university digital ecosystem, digitalization of education, educational technologies, university, information systems, and e-learning.

Цифровая трансформация высшего образования становится ключевым фактором развития университетов в XXI веке. Современный вуз уже невозможно представить без развитой цифровой инфраструктуры, объединяющей образовательные, административные и коммуникационные процессы. Одним из центральных элементов такой инфраструктуры является мобильное приложение, которое обеспечивает доступ к ключевым сервисам университета в любое время.

Цифровая экосистема вуза – совокупность взаимосвязанных информационных систем, сервисов и платформ, обеспечивающих поддержку образовательного процесса, научной деятельности, управления и взаимодействия всех участников образовательной среды. В цифровую экосистему вуза входят:

- системы управления обучением;
- электронные библиотеки;
- корпоративные порталы;
- системы электронного документооборота;
- сервисы коммуникации;
- аналитические платформы.

Главная задача экосистемы – создать единое цифровое пространство, в котором студент, преподаватель и администрация могут эффективно взаимодействовать.

Мобильное приложение является «точкой входа» в цифровую экосистему вуза. Оно объединяет различные сервисы в одном интерфейсе и делает их доступными через смартфон, поскольку это наиболее распространённое устройство среди студентов.

Основные функции мобильного приложения:

1) Доступ к образовательным ресурсам: студенты могут просматривать расписание, учебные материалы, задания и оценки. Интеграция с системами управления обучением позволяет выполнять задания и отслеживать прогресс в обучении.

2) Коммуникация: приложение обеспечивает оперативное взаимодействие между студентами, преподавателями и администрацией через чаты, уведомления и объявления.

3) Административные сервисы: подача заявлений, получение справок, запись на курсы – всё это может быть реализовано в мобильном формате.

4) Персонализация: современные приложения используют данные пользователя для формирования индивидуального интерфейса: персональное расписание, рекомендации курсов, напоминания о крайних сроках.

5) Интеграция с внешними сервисами: мобильное приложение может быть связано с системами доступа (электронный пропуск), что расширяет его функциональность.

Внедрение мобильного приложения в цифровую экосистему вуза имеет преимущества:

- повышение доступности образования: доступ к ресурсам 24/7;
- улучшение коммуникации: быстрый обмен информацией;
- снижение административной нагрузки: автоматизация процессов;
- рост вовлеченности студентов: интерактивности и удобство;
- сбор и анализ данных: возможность принимать управленческие решения на основе аналитики.

Несмотря на очевидные преимущества, внедрение мобильных приложений сопровождается трудностями:

- обеспечение информационной безопасности и защиты персональных данных;
- необходимость интеграции с существующими системами;
- затраты на разработку и поддержку;
- необходимость адаптации пользователей к новым технологиям.

В будущем мобильные приложения вузов будут развиваться в таких направлениях, как:

- использование искусственного интеллекта для персонализации обучения;
- внедрения технологий дополненной и виртуальной реальностей;
- развитие адаптивных образовательных траекторий;
- интеграция с международными образовательными платформами.

Мобильное приложение является важной составляющей цифровой экосистемы современного вуза. Оно обеспечивает удобный доступ к образовательным и административным сервисам, улучшает коммуникацию и способствует повышению качеству образования. В условиях цифровой трансформации именно такие инструменты становятся основой конкурентоспособности университетов и их способности адаптироваться к требованиям времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неборский Е.В. Цифровая экосистема как средство цифровой трансформации университета [Электронный ресурс] /Е.В. Неборский – URL: <https://mir-pauki.com/PDF/02PDMN421.pdf> (дата обращения: 01.04.2026)

2. Концепция «Единая цифровая образовательная экосистема» [Электронный ресурс] – URL: <https://ibs.ru/media/kontseptsiya-edinaya-tsifrovaya-obrazovatel'naya-ekosistema> (дата обращения: 11.04.2026)

3. Ижунинов М.А. Перспективы использования мобильных приложений в образовании [Электронный ресурс] // «Молодой учёный»/М.А. Ижунинов – URL: <https://moluch.ru/archive/318/72489> (дата обращения: 10.04.2026)

Олейникова Людмила Сергеевна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры прикладной информатики и информационных технологий

E-mail: 1617054@bsu.edu.ru

УДК 681.3.15

*Научный руководитель:
Нестерова Елена Викторовна,
доцент кафедры информационных
и робототехнических систем,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

Е.А. ОЛЕКСИЙЧУК
Е.А. OLEKSIYCHUK

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ФОРМИРОВАНИЯ ТРЕНИРОВОЧНОГО ПРОЦЕССА ФУТБОЛИСТОВ

AUTOMATED SYSTEM FOR FORMING FOOTBALL PLAYERS' TRAINING PROCESS

В статье представлен обзор современных научных подходов, цифровых инструментов и алгоритмических решений, применяемых для автоматизации формирования тренировочного процесса футболистов. Объектом исследования является тренировочный процесс в футболе, предметом – цифровые и интеллектуальные системы планирования тренировок. Целью статьи является анализ существующих исследований в области спортивной информатики, машинного обучения и автоматизации спортивной подготовки, а также определение перспективных направлений разработки автоматизированных систем для повышения эффективности управления тренировочными нагрузками. Методология опирается на системный анализ, методы сравнительного обзора, структурно-функциональный подход и исследование зарубежных и отечественных научных источников. В результате выявлены ключевые компоненты автоматизированных систем: сбор данных, мониторинг состояния спортсмена, моделирование нагрузок, алгоритмы адаптивного планирования, системы поддержки принятия решений. Сформулированы направления развития и обсуждены проблемные аспекты цифровой трансформации спортивной подготовки.

Ключевые слова: футбол, тренировочный процесс, автоматизация, цифровые технологии, спортивная аналитика, машинное обучение, мониторинг нагрузки, система поддержки принятия решений.

The article provides an overview of modern scientific approaches, digital tools and algorithmic solutions used to automate the formation of the football players' training process. The object of the research is the training process in football, the subject is digital and intelligent training planning systems. The purpose of the article is to analyze existing research in the field of sports informatics, machine learning and automation of sports training, as well as to identify promising areas for the development of automated systems to improve the effectiveness of training load management. The methodology is based on system analysis, comparative review methods, a structural and functional approach, and research on foreign and domestic scientific sources. As a result, the key components of automated systems were identified: data collection, monitoring of the athlete's condition, load modeling, adaptive planning algorithms, and decision support systems. The directions of development are formulated and problematic aspects of the digital transformation of sports training are discussed.

Keywords: football, training process, automation, digital technologies, sports analytics, machine learning, load monitoring, decision support system.

В настоящее время футбол существует в условиях, которые обязывают тренеров применять сложные методы для планирования занятий. Спортивные состязания проходят чаще и становятся интенсивнее. Для подготовки команд остается меньше времени между сезонами. Игроки совершают на поле много разных движений. Из-за этих факторов специалисты чаще используют цифровые программы, которые управляют процессом подготовки.

Спортивная сфера переходит на электронные форматы работы. В деятельность внедряют автоматизированные системы аналитики. Применяются устройства, которые измеряют показатели тела футболиста. К работе привлекают методы машинного обучения. На практике используется искусственный интеллект. Эти инструменты делают расчет нагрузок более точным. По этой причине снижается вероятность травм у игроков. С помощью таких технологий тренировка подстраивается под личные данные футболиста.

Существует много научных трудов, которые изучают отдельные части спортивного анализа. Но программы для создания тренировок создаются частями. По этой причине научные взгляды на данный вопрос еще не упорядочены. Тема важна, так как методы спортивной науки нужно соединить в одну структуру. Для этого требуется связь с информационными технологиями. И данные физиологии должны войти в общий механизм управления занятиями.

Исследования в области автоматизации подготовки футболистов можно разделить на несколько ключевых направлений:

1. Системы мониторинга функционального состояния футболистов.

В работах С.В. Платонова, А.П. Исаева показано, что контроль за физиологическим состоянием спортсмена является базовой частью индивидуализации тренировочного процесса. Современные системы – GPS-трекеры Catapult, Polar Team – обеспечивают сбор данных о перемещениях, ускорениях, объёме и интенсивности тренировочной нагрузки.

Зарубежные исследования подтверждают, что объективный контроль нагрузки снижает риск перетренированности и оптимизирует планирование.

2. Применение машинного обучения и искусственного интеллекта.

С 2015 года наблюдается рост исследований по прогнозированию состояния футболиста, определению оптимальных тренировочных воздействий и управлению нагрузкой с применением ИИ. Модели основаны на нейронных сетях (LSTM для анализа временных рядов нагрузки), решающих деревьях для прогноза травматизма.

3. Информационные системы планирования и поддержки принятия решений.

В отечественной литературе отмечены разработки систем спортивной аналитики, но большинство из них ориентированы на анализ соревнований, а не тренировок.

Зарубежные проекты – CoachAI, Hudl – интегрируют тренировочные данные, видеонаблюдение и модели анализа техники, но не реализуют полноценного автоматизированного формирования плана тренировки.

4. Технологии анализа техники и тактики.

Видеоанализ (Hudl, Instat, Wyscout) и компьютерное зрение используются для:

- анализа действий с мячом,
- оценки кинематики движения,
- выявления ошибок выполнения технических элементов.

Исследования С.Carling, T.Reilly подчеркивают важность автоматизированного анализа техники, однако современные средства в основном остаются экспертными, а не автоматизированными.

5. Модели периодизации и оптимизации тренировочных нагрузок.

Классические подходы дают общую теоретическую основу периодизации, однако не предусматривают цифровой адаптации. Современные работы предлагают математические модели управления нагрузкой, включая:

- дифференциальные модели «нагрузка–восстановление–готовность»;
- стохастические модели адаптации;
- динамические модели оптимизации нагрузки.

Но их применение в автоматизированном виде ограничено.

Исходя из анализа литературы, автоматизированная система формирования тренировочного процесса должна включать следующие модули.

1. Модуль сбора и интеграции данных.

Система должна объединять следующую информацию:

- физиологические данные (ЧСС, ритм и т.д.),
- нагрузочные метрики (GPS, ускорения, количество спринтов),
- параметры восстановления (сон, ЧСС восстановление),
- игровые метрики (передачи, расстояние пробега),
- видеоданные (оценка техники).

Главная задача – формирование единого цифрового профиля футболиста.

2. Модуль анализа состояния и прогнозирования.

Используются методы:

- временных рядов для оценки динамики нагрузки,
- нейронных сетей для прогноза работоспособности,
- моделей риска травм.

Система должна автоматически классифицировать состояние игрока: «готов», «умеренно рискованное состояние», «высокий риск».

3. Модуль автоматизированного формирования тренировочного плана.

Включает алгоритмы:

- адаптивного планирования нагрузки;
- генерации тренировочных задач на основе целей;
- индивидуализации по позиции, физическому профилю;
- оптимизации тренировочного микро- и мезоцикла.

Система может использовать правила:

- если спортсмен в зоне высокого риска → снижение объема нагрузки;
- если замечен дефицит нагрузки → добавление специальных упражнений для поддержания формы;
- если предстоит матч высокой интенсивности → корректировка нагрузок недельного цикла.

4. Модуль анализа эффективности и обратной связи.

Система должна автоматизировать:

- оценку выполнения плана,
- сравнение тренировочных воздействий и результата,
- формирование рекомендаций по корректировке цикла.

5. Проблемные аспекты и ограничения.

- отсутствие единых стандартов данных в спорте;
- ограниченное качество датчиков у детских и любительских команд;
- низкий уровень цифровой грамотности тренеров;
- недостаток отечественных комплексных решений.

6. Перспективы развития и архитектура автоматизированных систем.

Одним из ключевых направлений дальнейшего развития автоматизированных систем формирования тренировочного процесса является переход от разрозненных аналитических инструментов к комплексным интеллектуальным платформам, функционирующим в режиме реального времени. Такая система должна обладать модульной архитектурой, обеспечивающей гибкость внедрения и масштабируемость в зависимости от уровня команды (профессиональный, полупрофессиональный, любительский).

Архитектурно система может быть представлена в виде многоуровневой структуры:

- уровень сбора данных (датчики, носимые устройства, видеофиксация);
- уровень хранения и обработки (облачные базы данных, ETL-процессы);
- уровень аналитики (алгоритмы машинного обучения, статистические модели);
- уровень принятия решений (интеллектуальные рекомендательные системы);
- пользовательский интерфейс (панели тренера, мобильные приложения игроков).

Особое значение приобретает интеграция технологий интернета вещей (IoT), позволяющая обеспечить непрерывный поток данных о состоянии спортсмена. В сочетании с облачными вычислениями это создает условия для оперативной обработки больших массивов данных (Big Data) и построения персонализированных моделей подготовки.

Важным направлением является развитие объяснимого искусственного интеллекта (Explainable AI), поскольку тренер должен понимать, на основании каких факторов система предлагает те или иные решения. Прозрачность алгоритмов повышает доверие к системе и облегчает её внедрение в тренировочный процесс.

В дополнение к другим методам полезно создавать цифровых двойников спортсменов. Эти виртуальные модели показывают, как работают функциональные и физические состояния игрока в текущий момент. С их помощью специалисты имитируют нагрузки во время тренировок. Так врачи и тренеры узнают ответные реакции организма, без риска для здоровья футболиста.

7. Практическая значимость и области применения

Автоматизированные системы работают в разных ситуациях. Они подходят для людей с разным опытом игры. В профессиональных клубах такие инструменты делают план занятий более четким. За счет этого команда показывает одинаково высокие показатели в течение долгого времени. Для учеников футбольных академий данные технологии важны, так как они обеспечивают рост мастерства на протяжении многих лет. При этом тренеры следят, чтобы упражнения соответствовали возрасту футболиста. Если футболист получил травму, системы помогают контролировать процесс восстановления. По этой причине возвращение к сложным упражнениям происходит без резких перепадов. Если человек тренируется один, программа адаптирует задания под его конкретные физиологические параметры.

На практике основная польза состоит в том, что снижается зависимость от субъективных решений тренера. Вместо догадок эксперты используют информацию, которую собирают датчики. Из-за этого график работ становится понятным и имеет под собой доказательства.

Помимо этого, внедрение таких систем позволяет:

- лучше контролировать уровень нагрузок и тем самым снижать риск травм;
- делать тренировочный процесс более эффективным за счёт точной настройки параметров;
- равномернее распределять нагрузку на протяжении всего сезона;
- быстрее обрабатывать информацию и формировать отчёты по проделанной работе.

8. Интеграция с образовательной и научной средой

Отдельного внимания заслуживает возможность интеграции автоматизированных систем с образовательными платформами и научными ресурсами. Это открывает доступ к современным исследованиям и позволяет использовать их результаты непосредственно в практике планирования тренировок.

Кроме того, такие системы могут накапливать значительные объёмы данных, которые впоследствии используются для анализа и научных исследований. При наличии единых стандартов хранения и обмена информацией становится возможным создание крупных баз данных – как на национальном, так и на международном уровне. Это, в свою очередь, расширяет возможности для более глубокого изучения процессов спортивной подготовки.

В целом развитие автоматизированных систем в футболе напрямую связано с внедрением современных цифровых технологий, совершенствованием алгоритмов анализа данных и общим ростом уровня цифровизации в спорте.

Проведённый обзор показывает, что разработка автоматизированных систем формирования тренировочного процесса является востребованным и перспективным направлением. Современные технологии мониторинга, методы анализа данных и инструменты искусственного интеллекта уже создают основу для построения систем, способных учитывать индивидуальные особенности каждого спортсмена.

Такая система должна объединять разнородные данные – от показателей нагрузки и функционального состояния до технико-тактических характеристик – и на их основе формировать гибкие тренировочные планы, адаптированные под текущие задачи и состояние игрока.

При этом, несмотря на наличие отдельных решений, говорить о широком внедрении полноценных комплексных систем пока преждевременно. В дальнейшем особое внимание следует уделить разработке моделей прогнозирования состояния футболистов, созданию алгоритмов автоматической генерации тренировочных программ, а также унификации спортивных данных и развитию соответствующего программного обеспечения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Платонов, В. Н. Система подготовки спортсменов в олимпийском спорте: общая теория и её практические приложения / В. Н. Платонов. – Киев : Олимпийская литература, 2015. – 808 с. – Текст : непосредственный.
2. Матвеев, Л. П. Теория и методика физической культуры / Л. П. Матвеев. – Москва : Физкультура и спорт, 2010. – 544 с. – Текст : непосредственный.
3. Сомова, А. Е. Цифровизация физической культуры и спорта / А. Е. Сомова. – Самара : Физическое воспитание и образование, 2022. – 6 с. – Текст : непосредственный.
4. Соловьев, И. Ю. Теоретические и практические аспекты реализации средств информационных технологий в подготовке футболистов / И. Ю. Соловьев, А. С. Казаринов, И. Ш. Мутаева. – Елабуга : Казанский (Приволжский) федеральный университет, 2024. – С. 604–610. – Текст : непосредственный.
5. Порядин, А. Е. Компьютерная технология тренировки технических приемов в спортивных играх / А. Е. Порядин, И. Г. Сидоркина, В. В. Роженцов. – Текст : непосредственный // Вестник Чувашского университета. – 2016. – № 3. – С. 209–216.
6. Carling, C. Handbook of soccer match analysis / C. Carling, A. Williams, T. Reilly. – London : Routledge, 2005. – 184 p. – Text : unmediated.
7. Bompa, T. O. Periodization: theory and methodology of training / T. O. Bompa, G. G. Haff. – 6th ed. – Champaign, IL : Human Kinetics, 2019. – 368 p. – Text : unmediated.
8. Hughes, M. Notational analysis of sport: systems for better coaching and performance in sport / M. Hughes, I. Franks. – 3rd ed. – London : Routledge, 2017. – 320 p. – Text : unmediated.
9. Буйлин, Ю. Ф. Теоретическая подготовка юных спортсменов : учебное пособие для тренеров ДЮСШ / Ю. Ф. Буйлин, Ю. Ф. Курамшин. – Москва : Советский спорт, 2011. – 98 с. – Текст : непосредственный.
10. Козловский, В. И. Подготовка футболистов : учебное пособие для тренеров / В. И. Козловский. – Москва : Физкультура и спорт, 2010. – 231 с. – Текст : непосредственный.

Олексийчук Евгений Анатольевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: 1855098@bsuedu.ru

УДК 004.89:378.1

Научный руководитель:
Зайцева Татьяна Валентиновна,
доцент кафедры прикладной информатики
и информационных технологий,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)

М.Ю. ПАМАНИН
M.YU. PAMANIN

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЕЙМИФИКАЦИОННЫХ ПЛАТФОРМ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF GAMIFICATION PLATFORMS IN THE EDUCATIONAL PROCESS

В данной статье рассматривается влияние игровых механик на результаты тестирования студентов. На основе датасета Kahoot (2910 записей) по дисциплине «Железнодорожная инженерия» проведён сравнительный анализ традиционного и геймифицированного форматов. Методология включает описательную статистику, корреляционный и регрессионный анализ на языке Python. Выявлено, что геймификация повышает медианную долю правильных ответов с 67% до 75%, сокращает время реакции и снижает вариативность результатов. Корреляция между скоростью и точностью подтверждает гипотезу об уверенности в знаниях. Результаты демонстрируют потенциал игровых платформ для повышения эффективности обучения.

Ключевые слова: геймификация, анализ данных, образовательные технологии, Kahoot, успеваемость, Python

This paper examines the impact of game mechanics on student testing outcomes. Based on a Kahoot dataset (2910 records) for the "Railway Engineering" course, a comparative analysis of traditional and gamified formats was conducted. The methodology includes descriptive statistics, correlation, and regression analysis using Python. It was found that gamification increases the median share of correct answers from 67% to 75%, reduces response time, and lowers result variability. The correlation between speed and accuracy confirms the hypothesis of knowledge confidence. The results demonstrate the potential of gaming platforms to enhance learning efficiency.

Keywords: gamification, data analysis, educational technologies, Kahoot, academic performance, Python

В условиях цифровой трансформации образования возрастает актуальность внедрения инновационных методов, способных повысить вовлечённость студентов и эффективность усвоения материала. Геймификация – применение игровых механик в неигровых контекстах – трансформирует контроль знаний в интерактивный процесс, однако вопрос объективной оценки её педагогической эффективности остаётся дискуссионным. Целью работы является сравнительный анализ традиционного и геймифицированного форматов тестирования на основе датасета образовательной платформы Kahoot. Датасет представлен на рисунке 1.

В качестве источника данных использован датасет Gamified Assessment Dataset in Railway Engineering through Kahoot, содержащий 5005 записей ответов студентов Университета Кантабрии. Каждая строка соответствует одному ответу участника на вопрос викторины. На этапе предобработки на языке Python с использованием библиотек pandas и numpy из выборки удалены пропущенные значения и отфильтрованы темы, не имеющие парных сравнений между форматами. Итоговая релевантная выборка составила 2910 наблюдений. В датасете представлены идентификаторы участников, тексты вопросов, варианты ответов, бинарные флаги правильности, начисленные баллы, отведённое и фактическое время ответа.

Описательная статистика подтвердила высокий общий уровень усвоения материала: средняя доля правильных ответов составила 66%, медианное время ответа – 10,55 секунд. Высокая вариабельность баллов за ответ (от 0 до 1957) обусловлена механикой платформы, где скорость реакции напрямую влияет на награду. Среднее время ответа (43% от лимита) свидетельствует об уверенности респондентов в своих знаниях. Описательная статистика представлена на рисунке 2.

Описательная статистика числовых признаков						
	Правильно (числ.)	Очки за ответ	Время ответа (сек)	Время ответа (%)	Макс. время (сек)	Общий счёт
count	2910.00	2910.00	2910.00	2910.00	2910.00	2910.00
mean	0.66	564.67	10.55	43.02	24.83	3537.71
std	0.47	440.98	8.08	27.52	9.09	2529.75
min	0.00	0.00	0.45	1.55	20.00	0.00
25%	0.00	0.00	4.90	20.81	20.00	1659.50
50%	1.00	727.00	8.63	36.25	20.00	3160.00
75%	1.00	879.75	14.65	62.08	30.00	4942.00
max	1.00	1957.00	84.77	102.41	90.00	13778.00

В результате проведения сравнительного анализа групп было выявлено положительное влияние геймификационных механик на правильность ответов: медианная доля правильных ответов увеличивается до 75%, также разброс сокращается на 0,32, это говорит о более стабильных результатах. Показатели времени также улучшаются. Пик времени ответа смещается с 10сек. до 5 сек., а «хвост» графика становится короче. Сравнительный анализ представлен на рисунке 3.

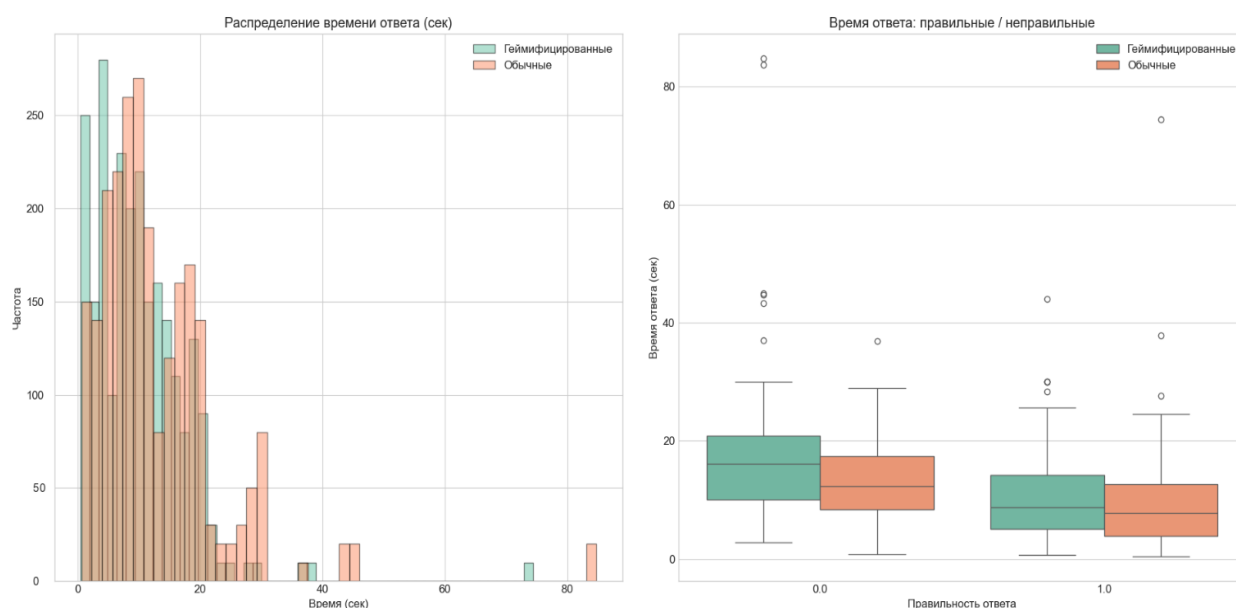


Рисунок 3 – Анализ ответов

Анализ ответов по темам также показал в основном положительных эффект. В 7 из 8 тем точность повышается. Как видно из графика, наибольшее изменения были в темах, имевших изначально низкий показатель усвоения (в среднем 17 п.п.). Исключение в Теме 8, где показатель снизился на 13%. Такой результат связан с избыточной нагрузкой на когнитивные функции для узкоспециализированного материала. Анализ ответов по темам представлен на рисунке 4.

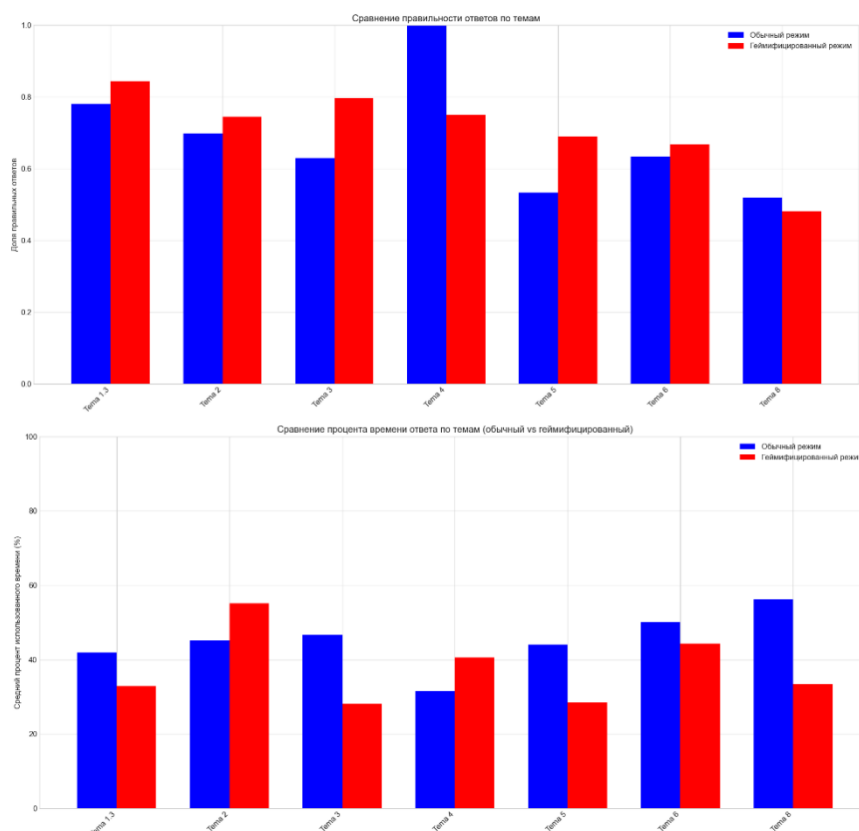


Рисунок 4 – Анализ ответов по темам

В результате корреляционного анализа были подтверждена устойчивость базовых связей. Отрицательная корреляция между временем ответа и правильностью составила $-0,29$, что говорит о том, что быстрые ответы чаще оказываются верными, что интерпретируется как

проявление уверенности в знаниях. В тестировании с использованием геймификационных механик влияние временного лимита на результат снижено на 36%. Корреляционный анализ представлен на рисунке 5.

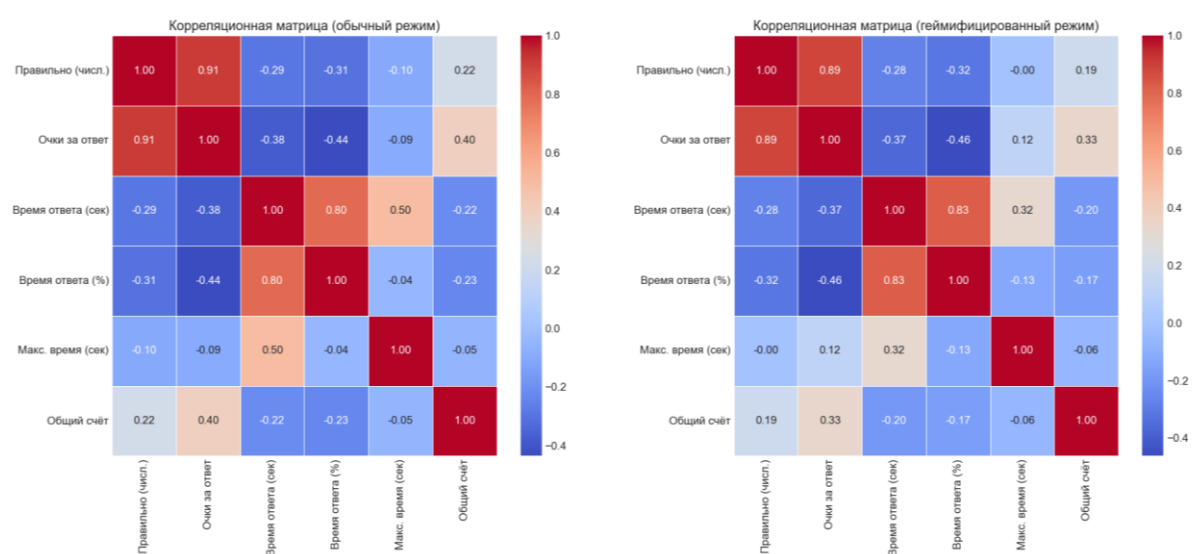


Рисунок 5 – Корреляционный анализ

Регрессионный анализ показал положительную линейную зависимость правильностью ответов в обычном режиме и в режиме с использованием геймификационных механик, это говорит о том, что использование геймификационных механик не нарушает общего паттерна успеваемости, а выравнивает результаты среди участников со средним уровнем подготовки. Проведение кластерного анализа в рамках данного исследования был признан нецелесообразным из-за недостаточной полноты данных для формирования устойчивых групп.

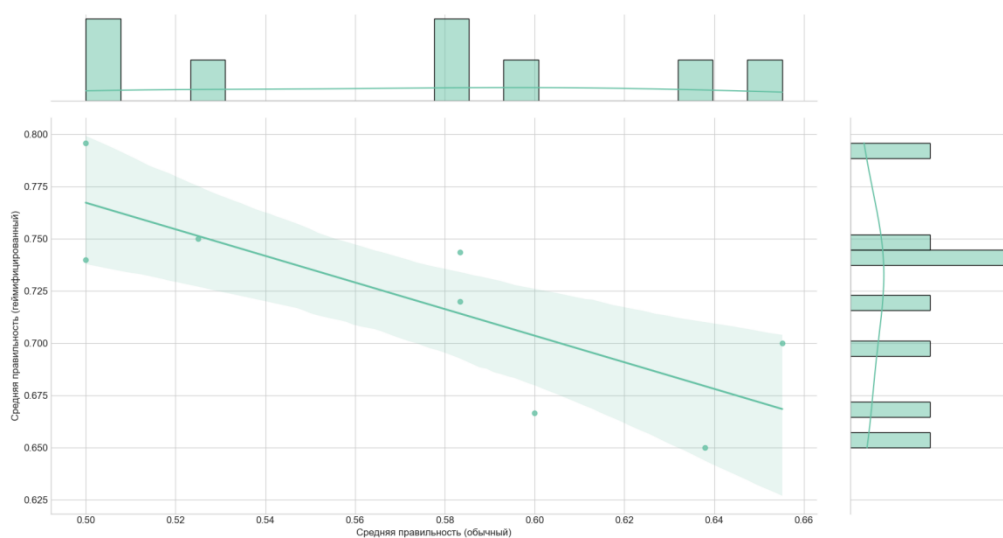


Рисунок 6 – Регрессионный анализ

Таким образом, геймификация образовательного процесса на платформе Kahoot оказывает в целом положительное влияние на эффективность обучения, способствуя повышению точности ответов, сокращению времени реакции и стандартизации результатов. Эффект является контекстуально зависимым: для отдельных тем игровые элементы могут создавать дополнительные когнитивные нагрузки. Практическая значимость работы заключается в возможности применения полученных выводов для калибровки временных

лимитов, проектирования адаптивных образовательных траекторий и дифференцированного внедрения игровых элементов в зависимости от сложности учебного материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Переверзева, Е. В. Геймификация как педагогическая технология активизации учебной мотивации студентов вуза / Е. В. Переверзева, С. Д. Липатова // Педагогическое образование в России. – 2020. – № 3. – С. 45–52.
2. Родригес А. Gamified Assessment Dataset in Railway Engineering through Kahoot [Электронный ресурс] // Mendeley Data. – 2025. – DOI: 0.17632/yz526krd9t.2.
3. Маккинни, У. Python и анализ данных. Основы Python / У. Маккинни ; пер. с англ. – 2-е изд. – Москва : ДМК Пресс, 2020. – 480 с.
4. ВандерПлас, Дж. Python для сложных задач: наука о данных и машинное обучение / Дж. ВандерПлас ; пер. с англ. – Санкт-Петербург : Питер, 2021. – 576 с.
5. Кузнецов, А. В. Методы многомерного статистического анализа: учебное пособие / А. В. Кузнецов. – Томск: Томский государственный университет, 2022. – 182 с.

Паманин Максим Юрьевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры прикладной информатики и информационных технологий

E-mail: pamanmakc@mail.ru

*Научный руководитель:
Титов Алексей Иванович,
доцент кафедры информационных
и робототехнических систем,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

М.В. ПЕТРЕНКО
M.V. PETRENKO

КЛЮЧЕВЫЕ ФАКТОРЫ ВНЕДРЕНИЯ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ ПОЛИКЛИНИКИ

KEY FACTORS IN IMPLEMENTING A WEB APPLICATION TO OPTIMIZE THE WORK OF A POLYCLINIC

В статье рассматривается актуальность внедрения современных веб-технологий в процессы управления медицинским учреждением. Обсуждаются ключевые функциональные возможности приложения, такие как автоматизация записи пациентов, ведение электронных медицинских карт и оптимизация нагрузки на персонал. Обосновывается выбор стека технологий для обеспечения надежности и безопасности данных.

Ключевые слова: веб-приложение, автоматизация, поликлиника, информационные системы в медицине, оптимизация процессов.

This article examines the relevance of implementing modern web technologies into healthcare facility management processes. Key application features, such as automated patient registration, electronic medical record management, and staff workload optimization, are discussed. The choice of technology stack to ensure data reliability and security is justified.

Keywords: web application, automation, clinic, medical information systems, process optimization.

В условиях стремительной цифровизации здравоохранения повышение эффективности работы амбулаторно-поликлинического звена становится приоритетной задачей. Традиционные методы управления очередями и бумажный документооборот часто приводят к временным задержкам и ошибкам в данных. Разработка специализированного веб-приложения позволяет централизовать информационные потоки и сделать медицинские услуги более доступными для пациентов.

В рамках разработки системы были выделены две ключевые задачи. Рассмотрим их более подробно.

Автоматизация регистратуры и записи. Основной «болевым точкой» является процесс записи на прием. Веб-приложение должно обеспечивать:

- интерактивное расписание врачей в реальном времени;
- возможность удаленной записи самого себя пациентом без участия регистратора.

Ведение электронных медицинских карт (ЭМК). Переход от бумажных носителей к цифровым позволяет решить такие важные вопросы, как:

- обеспечение мгновенного доступа врача к истории болезни;
- исключение потери и дублирования данных [1].

Качество веб-приложения для поликлиники определяется совокупностью характеристик, обеспечивающих точность медицинских данных и бесперебойность лечебного процесса [2, 3]. Согласно международным стандартам, выделяются критические группы требований. Далее охарактеризуем каждую из них.

Функциональная пригодность и точность. Система должна обеспечивать полное соответствие бизнес-процессам медучреждения:

- корректность алгоритмов записи: исключение конфликтов в расписании («двойная запись») и автоматический учет временных слотов для различных типов приема (первичный, повторный, диагностика);

- целостность данных: гарантия того, что информация в электронной медицинской карте (ЭМК) не будет утеряна или искажена при передаче между модулями системы.

Надежность, отказоустойчивость и эффективность производительности. В медицине простой системы может привести к срыву приема пациентов. Поэтому должны выполняться следующие критерии:

- доступность: коэффициент доступности системы должен составлять не менее 99.9%;

- восстанавливаемость: способность веб-приложения к быстрому восстановлению данных из резервных копий в случае сбоя сервера или потери связи с БД;

- время отклика: загрузка страницы расписания или медкарты не должна превышать 1.5–2 секунд, чтобы не затягивать время приема;

- масштабируемость: возможность системы сохранять производительность при резком росте количества обращений (например, в периоды массовой вакцинации).

Безопасность и защищенность. Специфика медицинских данных требует особого подхода, при котором обязательно учитываются:

- конфиденциальность: разграничение прав доступа на основе ролей (врач видит только своих пациентов, регистратор – только расписание, администратор – системные логи);

- прослеживаемость: логирование любых изменений в медицинских записях (кто, когда и какое назначение изменил) для разбора спорных ситуаций [6].

Наряду с решением функциональных задач, критически важным вопросом является обеспечение безопасности. Поэтому процесс сертификации веб-приложения для поликлиники является обязательным этапом, подтверждающим готовность системы к работе с конфиденциальной информацией и её техническую надежность.

Поскольку веб-приложение оперирует ФИО, адресами и сведениями о состоянии здоровья, оно должно пройти сертификацию на соответствие требованиям Федерального закона № 152-ФЗ «О персональных данных» [4, 7], т.е. должны быть обеспечены следующие аспекты:

- уровни защищенности: определение необходимого уровня защищенности персональных данных (УЗ-1 или УЗ-2 для медицинских данных);

- средства защиты: использование сертифицированных средств защиты информации (СЗИ), прошедших проверку в системах ФСТЭК и ФСБ России.

Для обеспечения стабильной работы веб-приложения также необходимо придерживаться международных и национальных стандартов, а именно:

- ISO/IEC 27001: стандарт по управлению информационной безопасностью, подтверждающий наличие процессов контроля рисков;

- ГОСТ Р ИСО/МЭК 25010: модель качества программного обеспечения, включающая оценку функциональной пригодности, эффективности и удобства использования [5, 8].

Ключевым этапом процесса сертификации для российского медицинского программного обеспечения является проверка на совместимость с Единой государственной информационной системой в сфере здравоохранения (ЕГИСЗ), т.е.:

- валидация протоколов: проверка корректности передачи данных по защищенным каналам связи (ViPNet и др.);

- синхронизация: соответствие форматов данных справочникам НСИ (нормативно-справочной информации) Минздрава РФ [5, 6].

Несмотря на технологические преимущества, внедрение веб-приложений в медицинскую среду сопряжено с рядом рисков. Недостаточный контроль качества на этапах проектирования и эксплуатации может привести к критическим последствиям. Поэтому необходимо понимать и предвидеть следующие основные типичные программные и системные ошибки:

- ошибки синхронизации данных: возникают при конфликтах между локальной базой данных поликлиники и веб-интерфейсом (например, если два пациента одновременно записываются на один и тот же временной слот);

- уязвимости в системе безопасности: использование упрощенных методов аутентификации может привести к утечке персональных данных и врачебной тайны, что влечет за собой юридическую ответственность;

- низкая отказоустойчивость: отсутствие оптимизации серверной части может вызвать «падение» приложения в периоды пиковых нагрузок (утром при открытии записи или в сезон эпидемий). потерям пользователям.

Типичные программные и системные ошибки тесно связаны с недостатками с точки зрения пользователя, а именно:

- перегруженность интерфейса: избыток медицинских терминов или сложная навигация затрудняют работу персонала и отталкивают пациентов пожилого возраста;

- отсутствие обратной связи: некорректная обработка ошибок (например, пустое белое окно вместо сообщения «Проверьте соединение») вызывает недоверие к системе.

Если перечисленные недостатки не учитывать на этапе проектирования, они перерастают в системные риски. Перечислим методы минимизации рисков, позволяющие этого избежать:

- метод FMEA (анализ видов и последствий отказов): позволяет оценить критичность каждой возможной ошибки еще на этапе разработки архитектуры;

- регулярный аудит кода: поиск «узких мест» в производительности запросов к базе данных;

- А/В тестирование интерфейсов: проверка удобства записи на прием на реальных группах пользователей.

Подводя итог исследованию, можно констатировать, что переход поликлиник на модель веб-ориентированного управления – это не просто технологический тренд, а фундамент стабильного функционирования медучреждения в условиях высокого потока пациентов. Разработанный программный продукт подтверждает, что при грамотной автоматизации регистратуры и врачебных модулей удастся радикально снизить риск «человеческого фактора» при формировании сетки расписания.

В ходе работы нами было установлено, что критической точкой является не столько функционал записи, сколько архитектурная готовность системы к внештатным сценариям – от резких скачков трафика до попыток несанкционированного доступа к базе персональных данных. Применение методологий контроля качества, описанных в статье, позволяет трансформировать приложение из обычного интерфейса в легитимный инструмент, соответствующий жестким регламентам ФСТЭК и Минздрава РФ.

Перспективы развития проекта мы видим в интеграции модулей предиктивной аналитики, которые на основе накопленных данных смогут прогнозировать «пики» посещаемости, тем самым завершая цикл полной оптимизации работы современной поликлиники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О порядке ведения медицинской документации в форме электронных документов : Приказ Министерства здравоохранения РФ от 07.09.2020 № 947н. – Текст : электронный // Гарант : (сайт). – URL: www.garant.ru (дата обращения: 13.04.2026).

2. Гулиев, Я. И. Информационные системы в здравоохранении / Я. И. Гулиев. – Москва : Лаборатория знаний, 2020. – 350 с. – ISBN 978-5-00101-260-3. – Текст : непосредственный.

3. Дьяков, И. А. Оптимизация бизнес-процессов медицинских организаций на основе внедрения информационных систем / И. А. Дьяков, А. В. Морозов // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2021. – Т. 20, № 1. – С. 54-61. – Текст : непосредственный.

4. Зарубина, Т. В. Управление качеством медицинской помощи: роль информационных технологий / Т. В. Зарубина // Социальные аспекты здоровья населения. – 2022. – № 1. – С. 12-20. – Текст : непосредственный.

5. Кузнецов, П. П. Информационные технологии в управлении здравоохранением / П. П. Кузнецов, В. Г. Кудрина. – Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2019. – 256 с. – ISBN 978-5-9704-5011-6. – Текст : непосредственный.

6. Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации : Федеральный закон от 21.11.2011 № 323-ФЗ. – Текст : электронный // КонсультантПлюс : (сайт). – URL: www.consultant.ru (дата обращения: 13.04.2026).

7. О персональных данных : Федеральный закон от 27.07.2006 № 152-ФЗ. – Текст : электронный // КонсультантПлюс : (сайт). – URL: www.consultant.ru (дата обращения: 13.04.2026).

8. ISO/IEC 25010:2011 Системная и программная инженерия. Требования к качеству и оценка систем и программного обеспечения (SQuaRE). Модели качества систем и программных продуктов. – Текст : электронный // docs.cntd.ru. – URL: cntd.ru (дата обращения: 13.04.2026).

Петренко Михаил Викторович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: 1645729@bsuedu.ru

УДК 004.45:656.073

*Научный руководитель:
Подпругина Ирина Вячеславовна,
старший преподаватель кафедры
прикладной информатики
и информационных технологий,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

В.Р. ПОГОРЕЛОВ, А.И. ПОДПРУГИН
V.P. POGORELOV, A.I. PODPRUGIN

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНОГО КЛУБА

DEVELOPMENT OF AN INFORMATION SYSTEM FOR A COMPUTER CLUB

В статье рассматривается вопрос автоматизации процессов управления компьютерным клубом на основе информационной системы с разграничением прав доступа. Проведён анализ существующих решений, выявлены их недостатки. Разработана многопользовательская информационная система, поддерживающая пять ролей пользователей: администратор, оператор, клиент, бухгалтер и системный администратор. Система реализована на платформе .NET с использованием технологий Windows Presentation Foundation для построения пользовательского интерфейса и ADO.NET для взаимодействия с базой данных Microsoft SQL Server. Приведены структурная схема системы, описание архитектуры, основные алгоритмы работы. Выполнена оценка эффективности внедрения разработанной системы.

Ключевые слова: информационная система, компьютерный клуб, автоматизация, Windows Presentation Foundation, .NET, ADO.NET, SQL Server, разграничение прав доступа, учёт рабочего времени.

The article discusses the issue of automating computer club management processes based on an information system with access rights separation. An analysis of existing solutions has been conducted, and their shortcomings have been identified. A multi-user information system has been developed that supports five user roles: administrator, operator, client, accountant, and system administrator. The system is implemented on the .NET platform using Windows Presentation Foundation technologies for building the user interface and ADO.NET for interacting with the Microsoft SQL Server database. A structural diagram of the system, an architecture description, and the main algorithms of operation are provided. The effectiveness of the developed system has been evaluated.

Keywords: information system, computer club, automation, Windows Presentation Foundation, .NET, ADO.NET, SQL Server, access rights management, working time tracking.

В современных условиях рынок услуг компьютерных клубов характеризуется высокой конкуренцией и необходимостью оперативной обработки большого объёма информации, связанной с бронированием компьютеров, учётом рабочего времени клиентов, ведением финансовой отчётности и контролем работы персонала. Традиционные методы управления с использованием бумажных журналов и разрозненных электронных таблиц не позволяют эффективно решать задачи координации между операторами, администраторами и бухгалтерией [1]. Существующие на рынке программные продукты либо ориентированы на крупные киберспортивные арены с высокой стоимостью внедрения, либо предоставляют ограниченный набор функций [2]. В связи с этим актуальной является задача разработки доступной информационной системы для компьютерного клуба, адаптированной под потребности малого и среднего бизнеса.

Целью работы является разработка информационной системы для компьютерного клуба, обеспечивающей автоматизацию основных бизнес-процессов и разграничение прав доступа между участниками клубного процесса.

При выполнении работы использованы методы системного анализа, объектно-ориентированного проектирования, теории баз данных. В качестве среды разработки выбрана Microsoft Visual Studio 2022. Пользовательский интерфейс реализован на платформе WPF

(Windows Presentation Foundation) с использованием языка разметки XAML. Для взаимодействия с базой данных использована технология ADO.NET. В качестве системы управления базами данных выбран Microsoft SQL Server [3, 4].

Разработанная информационная система имеет клиент-серверную архитектуру и включает следующие компоненты: клиентское приложение (WPF-приложение), сервер базы данных (Microsoft SQL Server) и шлюз для передачи данных [5, 6]. Система поддерживает четыре основные роли пользователей, каждой из которых соответствует определённый набор функций:

- администратор – управление залами, компьютерами, играми, тарифами, сотрудниками; просмотр и редактирование всех бронирований и сеансов; формирование отчётов; просмотр списка клиентов и их балансов;
- заказчик – просмотр свободных компьютеров, бронирование, просмотр своих активных и завершённых сеансов, пополнение баланса, просмотр истории платежей.

Структурная схема информационной системы представлена на рисунке 1.

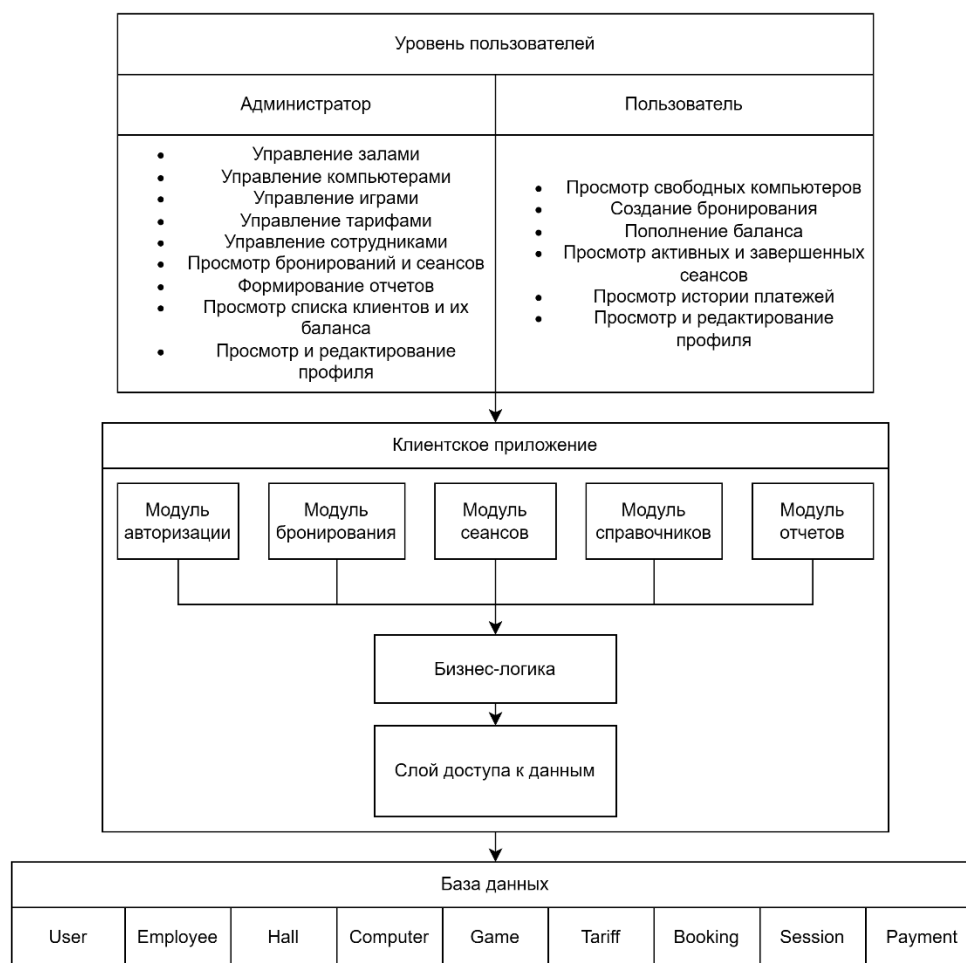


Рисунок 1 – Структурная схема информационной системы

В ходе работы спроектирована реляционная база данных, содержащая следующие основные таблицы: User (пользователи), Employee (сотрудники), Hall (залы), Computer (компьютеры), Game (игры), Tariff (тарифы), Booking (бронирования), Session (сеансы), Payment (платежи). Связи между таблицами организованы с использованием внешних ключей, обеспечена целостность данных на уровне базы данных [7, 8]. Схема базы данных приведена на рисунке 2.

Пользовательский интерфейс разработан с использованием WPF, что позволило реализовать современный и интуитивно понятный интерфейс с разделением на вкладки в зависимости от роли пользователя. Для обработки запросов к базе данных разработан

статический класс DatabaseHelper, содержащий методы для авторизации, работы с бронированиями, управления сеансами, получения справочной информации и формирования отчётов [9, 10]. Все SQL-запросы являются параметризованными, что обеспечивает защиту от инъекций. Хранение данных пользователей реализовано в статическом классе UserService.

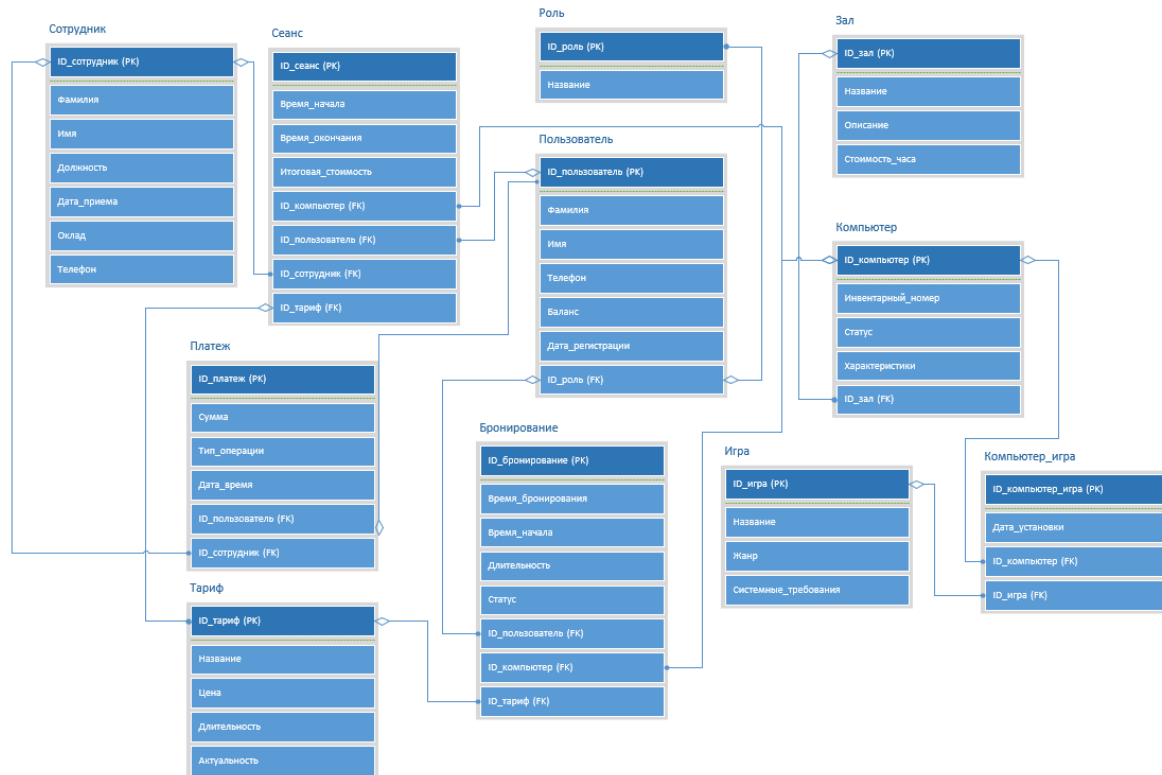


Рисунок 2 – Схема базы данных

Алгоритм авторизации пользователя включает следующие этапы:

- получение логина и пароля от пользователя;
- выполнение параметризованного запроса к таблице User с проверкой учётных данных и получением роли;
- при успешной авторизации – заполнение статического класса UserService и открытие главного окна с соответствующим набором функций.

Алгоритм создания бронирования представлен на рисунке 3.

Разработанная информационная система обеспечивает выполнение следующих функций:

- авторизация пользователей с проверкой учётных данных;
- просмотр свободных компьютеров и бронирование на выбранное время;
- управление игровыми сеансами;
- пополнение баланса клиента и просмотр истории платежей;
- ведение справочников;
- формирование финансовых отчетов по сеансам и платежам;
- управление установкой игр на компьютеры.

В системе реализованы следующие меры защиты информации:

- параметризованные SQL-запросы для предотвращения инъекций;
- маскирование вводимого пароля с использованием элемента PasswordBox;
- разграничение прав доступа на уровне интерфейса.

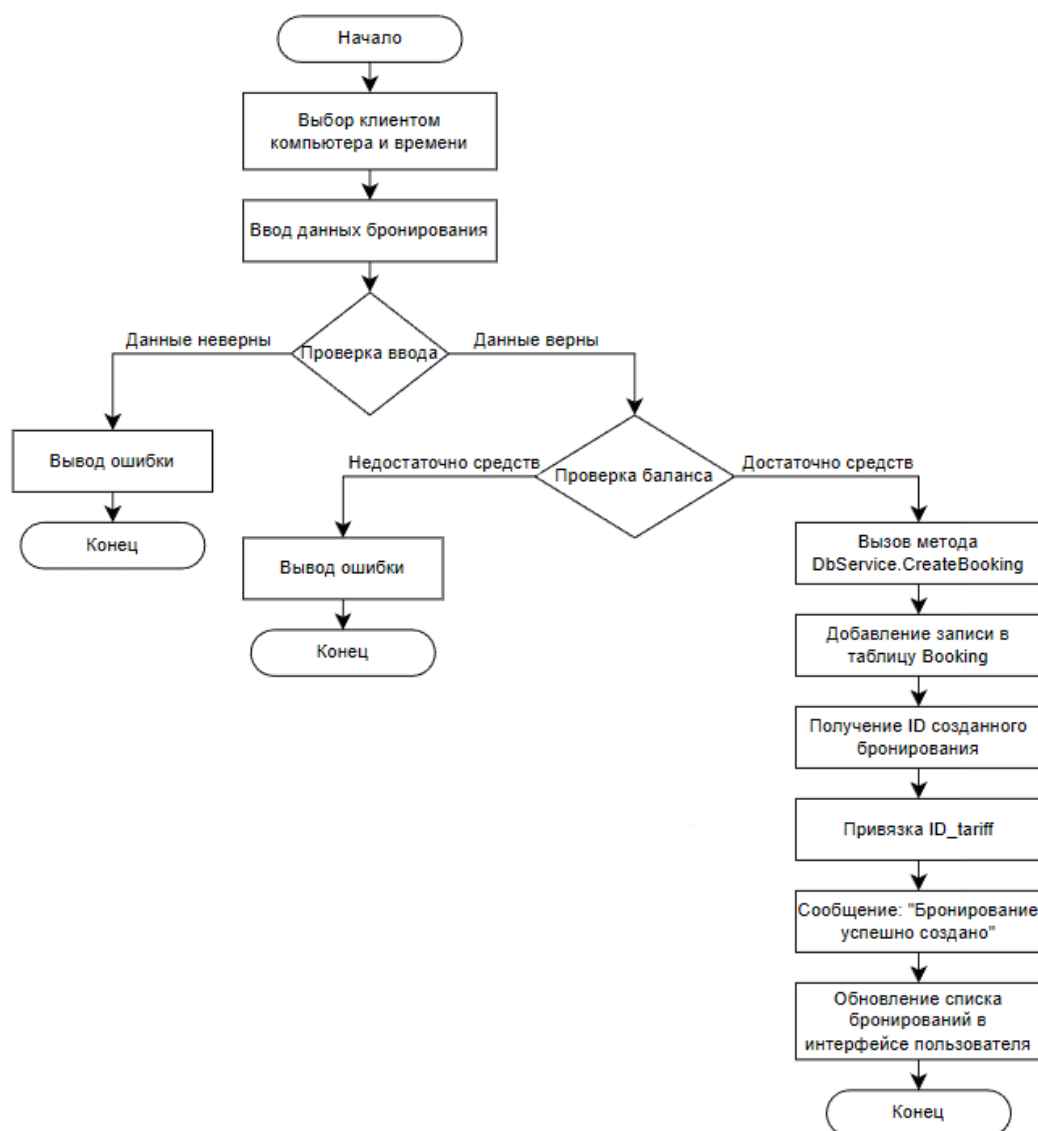


Рисунок 3 – Алгоритм создания заказа

Разработанная информационная система прошла функциональное тестирование. Проверена корректность авторизации для пользователей с различными ролями, выполнения операций создания и редактирования заказов, формирования отчётов. Система показала стабильную работу при одновременном подключении нескольких пользователей. В таблице 1 приведено сравнение разработанной системы с существующими аналогами.

Таблица 1 – Сравнительный анализ информационных систем для компьютерного клуба

Критерий	Разработанная система	«CyberArena»	«GameCenter Manager»	«ICafeManager»
Стоимость внедрения	Низкая	Средняя	Высокая	Высокая
Поддержка малого бизнеса	+++	++	+	—
Разграничение ролей	+++	++	+++	++
Управление компьютерами и залами	+++	+	+	++
Личный кабинет клиента с балансом	+++	+	++	++
Управление тарифами и играми	+++	++	++	+

В результате выполнения работы разработана информационная система для компьютерного клуба, включающая клиентское приложение и базу данных. Система поддерживает две роли пользователей (администратор и клиент), обеспечивает полный цикл управления бронированием, игровыми сеансами, финансовыми операциями и ведения справочной информации. Применение параметризованных запросов и разграничения прав доступа гарантирует безопасность данных. Система готова к внедрению в деятельность малых и средних компьютерных клубов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агальцов, В. П. Базы данных : учебник : в 2 т. / В. П. Агальцов. – Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2020. – 416 с. – Текст : непосредственный.
2. Вигерс, К. Разработка требований к программному обеспечению / К. Вигерс, Дж. Битти. – 3-е изд. – Москва : Русская редакция, 2019. – 736 с. – Текст : непосредственный.
3. Гамма, Э. Приёмы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования / Э. Гамма, Р. Хелм, Р. Джонсон, Дж. Влиссидес. – Санкт-Петербург : Питер, 2020. – 544 с. – Текст : непосредственный.
4. Дейт, К. Дж. Введение в системы баз данных / К. Дж. Дейт. – 8-е изд. – Москва : Вильямс, 2018. – 1328 с. – Текст : непосредственный.

Погорелов Вадим Романович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры информационных систем и программирование

E-mail: 1685404@bsuedu.ru

Подпругин Александр Ильич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Ассистент кафедры прикладной информатики и информационных технологий

E-mail: podprugin@bsuedu.ru

УДК 004.942

*Научный руководитель:
Шамраева Елена Олеговна,
доцент кафедры информационных
и робототехнических систем,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

Ю.Е. ПОЛОВНЕВА
J.E. POLOVNEVA

**СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ВЕРИФИКАЦИИ
И ВАЛИДАЦИИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ**
**MODERN APPROACHES TO VERIFICATION
AND VALIDATION OF COMPLEX SYSTEMS
USING DIGITAL TWINS**

В данной статье освещается проблема современных подходов к верификации и валидации сложных систем с использованием цифровых двойников.

Ключевые слова: верификация, валидация, цифровой двойник, сложные системы, MIL, SIL, PIL, HIL, континуальная верификация, прогнозная валидация, модельно-ориентированное проектирование

This article highlights the problem of modern approaches to verification and validation of complex systems using digital twins.

Keywords: verification, validation, digital twin, complex systems, MIL, SIL, PIL, HIL, continuous verification, predictive validation, model-based design

Современные подходы к верификации и валидации сложных систем с использованием цифровых двойников объединяют стандартизированные методы, технологические инструменты и итеративный процесс проверки соответствия модели реальному объекту или процессу.

Верификация и валидация (V&V) цифровых двойников – это процессы, которые являются ключевыми для обеспечения качества и точности цифровых моделей. *Верификация* – проверка достоверности и точности методики, а *валидация* – подтверждение того, что методика работает правильно в конкретных условиях, что она дает достоверные результаты и ее можно использовать [1].

Традиционный V-образный цикл разработки – это методология разработки ПО, представляющая собой усовершенствованную каскадную модель (Waterfall), где каждому этапу проектирования соответствует свой этап тестирования [2]. Он требует, чтобы верификация и валидация проводились на физическом прототипе на поздних этапах, что приводит к феномену «позднего обнаружения дефектов». Это критическая проблема в разработке ПО и инженерии. Заключается она в том, что ошибки, допущенные на ранних этапах, обнаруживаются лишь на поздних этапах. Это приводит к значительным затратам на исправление дефектов [3].

Цифровой двойник – это динамическая двунаправленная связь между физическим объектом и его виртуальным представлением, обновляемая в реальном времени или с заданным шагом. Именно эта двунаправленность перестраивает V&V.

Цифровой двойник для V&V. Уровни зрелости цифрового двойника

Для целей верификации и валидации выделяют три уровня по классификации, которые представлены в таблице 1 [4].

Таблица 1 – Уровни для целей верификации и валидации

Уровень	Название	Возможности для V&V	Пример
L1	Цифровой прототип	Статическая геометрия, физика «вне времени». Верификация только геометрических и базовых допущений	Конечно-элементарная модель нагружения крыла
L2	Цифровая тень	Односторонний поток данных: от физики к модели. Модель калибруется по телеметрии, но не влияет обратно. Валидация гипотез о поведении системы	Модель тепловых полей батареи, подстроенная под данные с термопар
L3	Полноценный цифровой двойник	Двунаправленный поток. Модель используется для прогноза, анализа и замкнутого управления. Верификация и валидация в реальном времени	Система предсказательного обслуживания турбины: модель получает данные с датчиков и предсказывает остаточный ресурс, корректирует режим работы

Отличие V&V с цифровым двойником

Верификация отвечает за соответствия спецификациям, а валидация – за соответствие потребностям. С цифровым двойником данные границы размываются. Здесь уже идет речь о континуальной верификации и прогнозной валидации. *Континуальная верификация* – подход, при котором процесс проверки осуществляется непрерывно, на всех этапах жизненного цикла разработки и производства. Ее цель – обеспечить стабильность и предсказуемость процесса, своевременно выявлять отклонения от требований и минимизировать риски [5]. *Прогнозная валидация* же – это подход, при котором оценка соответствия системы, процесса или методики производится с учётом предполагаемого будущего использования или результатов. Цель – убедиться, что система, процесс или методика пригодны для предполагаемого применения, соответствуют поставленным задачам и могут давать достоверные результаты в ожидаемых условиях [6].

Конвейер верификации: MIL, SIL, PIL, NIL

Model-in-the-Loop (MIL) – модель в контуре

Верификация алгоритмов управления и логики на абстрактной математической модели. Реализуется имитационная модель системы управления и управляемой модели объекта управления. Основной целью является тестирование и проверка математической модели. На данном этапе цифровой двойник заменяет всю физическую систему.

Проверяется корректность алгоритмов, отсутствие алгебраических петель, устойчивость по Ляпунову, выполнение временных ограничений (время реакции датчика на событие)

Software-in-the-Loop (SIL) – программа в контуре

Математическая модель физической системы остается, но блок управления заменяется реальным кодом (C/C++, Python), скомпилированным для среды разработчика (Windows, Linux). При этом происходит наследование: выполнение сгенерированного и откомпилированного кода происходит в имитационной модели. На данном этапе цифровой двойник заменяет физическую систему и среду.

Проверяются численные различия между моделью алгоритма (MIL) и реализацией кода (SIL). Ошибки квантования, переполнения фиксированной точки, несоответствие типов данных.

Processor-in-the-Loop (PIL) – процессор в контуре

Код выполняется на реальном целевом процессоре, но физическая система – все еще цифровой двойник. Этот этап предназначен для оценки параметров эффективности разрабатываемой системы управления на уже конкретном, выбранном для проекта целевом

процессоре. Производится загрузка сгенерированного программного кода на целевую отладочную плату. На данном этапе цифровой двойник заменяет цифровую среду и исполнительные механизмы.

Проверяются тайминги прерываний, задержки ввода-вывода, влияние кэш-памяти, многозадачности.

Hardware-in-the-Loop (HIL) – аппаратное обеспечение в контуре

На данном этапе выполняется эмуляция датчиков и исполнительных механизмов в режиме реального времени для целевой платформы до того, как к контроллеру будут подключены реальные датчики и исполнительные механизмы. Цифровой двойник теперь играет роль окружающей среды и подключается через аналогово-цифровые интерфейсы.

Проверяется электромагнитная совместимость на уровне сигналов, целостность шин, реакция на обрывы и короткие замыкания [7].

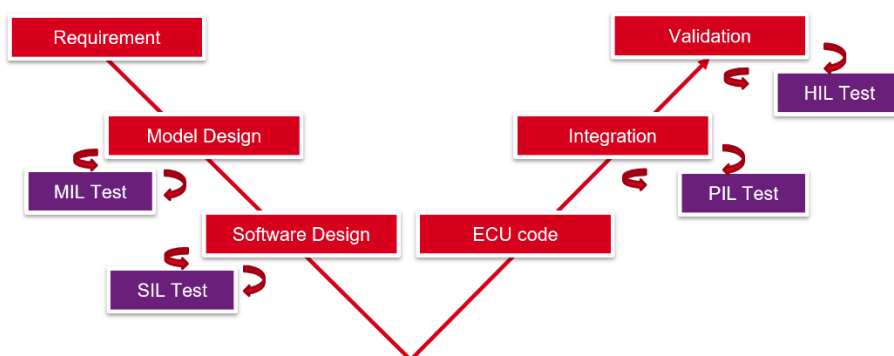


Рисунок 1 – Схема конвейера верификации: MIL, SIL, PIL, HIL

Проблемы и ограничения современных подходов

1. Сложность и разнообразие моделей и систем требуют разработки универсальных подходов к валидации и верификации [8];
2. Вычислительная сложность – высокоточный цифровой двойник может работать медленнее реального времени в 100 раз;
3. Если цифровой двойник подключен к реальной системе, то атака на двойника может быть перенесена на физический объект

Цифровой двойник меняет исходную концептуальную схему верификации и валидации от «тестируй потом» к «верифицируй всегда». Современный инжиниринг сложных систем невозможен без каскада конвейера верификаций (MIL → SIL → PIL → HIL), где цифровая модель выступает как полигон, стенд и экспертная система одновременно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чем валидация отличается от верификации? – Текст : электронный // СНТА (современная научно-технологическая академия) : [сайт]. – URL: <https://www.snta.ru/press-center/chem-validatsiya-otlichaetsya-ot-verifikatsii/> (дата обращения: 02.04.2026).
2. Большаков, Н. Жизненный цикл разработки ПО: основные этапы и модели / Н. Большаков. – Текст : электронный // Calltouch Blog : [сайт]. – URL: <https://www.calltouch.ru/blog/zhiznennyj-czikl-razrabotki-po-osnovnye-etapy-i-modeli/> (дата обращения: 04.04.2026).
3. Основы инженерии качества программных систем / Ф. И. Андон, Г. И. Коваль, Т. М. Коротун [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – Киев : Академперіодика, 2007. – 672 с. – Текст : непосредственный.
4. Денисенко, М. Help Desk, Service Desk и уровни технической поддержки / М. Денисенко. – Текст : электронный // клеверенс : [сайт]. – URL: <https://snoska.moluch.ru/> (дата обращения: 10.04.2026).

5. Рекомендация Коллегии ЕЭК от 26.09.2017 № 19 "О Руководстве по валидации процесса производства лекарственных препаратов для медицинского применения" от 25.09.2017 № 19

6. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. Общие принципы и требования к органам по валидации и верификации экологической информации : Национальный стандарт Российской Федерации : ГОСТ Р ИСО № 14065-2022 : [Приказ от 25.10.2022 №1187-ст] – Москва : Российский институт стандартизации, 2022 – 28 с. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200193813> (дата обращения: 10.04.2026) – Текст : электронный.

7. Оськин, Д. А. Модельно-ориентированный подход для автоматизации генерации программного С-кода для встраиваемых систем из модели Matlab/Simulink / Д. А. Оськин, О. С. Громашева, М. Е. Дьяченко. – Текст : непосредственный // Современные наукоемкие технологии. – 2018. – № 10. – С. 92-97..

8. Кузьмин, А.Д. Анализ требований к валидации и верификации цифровых двойников / А. Д. Кузьмин. – Текст : непосредственный // Международный научный журнал "Вестник науки". – 2024. – № 3(72) Т.4. – С. 340-343.

Половнева Юлия Евгеньевна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: 1952001@bsuedu.ru

УДК 004.9

*Научный руководитель
Гуль Светлана Владимировна
доцент кафедры информационных
и робототехнических систем,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

Д.О. ПОНОМАРЕВА
D.O. PONOMAREVA

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯ «ФИТНЕС-КЛУБ»

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED INFORMATION SYSTEM FOR DATA PROCESSING OF THE «FITNESS CLUB» ENTERPRISE

В статье рассматривается процесс проектирования и разработки автоматизированной информационной системы (АИС) для фитнес-клуба на базе отечественной платформы «1С:Предприятие 8». Цель работы – создание конфигурации, позволяющей оптимизировать ключевые бизнес-процессы: управление клиентской базой, учет посещений, формирование финансовой отчетности и планирование расписания занятий. Приводится описание архитектуры системы, выбранных технологических решений и функциональных модулей. Система направлена на повышение эффективности административной работы и качества обслуживания клиентов с учетом специфики фитнес-индустрии.

Ключевые слова: информационная система, фитнес-клуб, автоматизация, 1С:Предприятие 8, конфигурация, бизнес-процессы.

The article discusses the process of designing and developing an automated information system (AIS) for a fitness club based on the domestic "1C:Enterprise 8" platform. The aim of the work is to create a configuration that optimizes key business processes: client database management, attendance tracking, financial reporting, and class schedule planning. The description of the system architecture, selected technological solutions and functional modules is provided. The system is aimed at increasing the efficiency of administrative work and the quality of customer service, taking into account the specifics of the fitness industry.

Keywords: information system, fitness club, automation, 1C:Enterprise 8, configuration, business processes.

Современный рынок фитнес-услуг отличается высокой конкуренцией, поэтому предприятиям нужны эффективные инструменты управления [3]. При ручной обработке данных о клиентах, абонементных, тренерах и расписании возникают ошибки, теряется время и страдает качество сервиса. Так что автоматизация этих процессов – задача актуальная. К тому же сейчас важно использовать отечественное ПО, и платформа «1С:Предприятие 8» подходит хорошо: она гибкая, надежная и позволяет адаптировать систему под конкретный бизнес [1].

Основными объектами управления в фитнес-клубе можно считать клиентов (персональные данные, тип абонемента, срок действия, история посещений), тренеров и инструкторов (специализация, расписание, расчет зарплаты), групповые занятия (тип, время, зал, тренер, список записавшихся), а также финансовые операции (оплата абонементов, разовых посещений, доп.услуг).

При ручном управлении я выделила несколько проблем. Во-первых, дублируются данные клиентов. Во-вторых, легко ошибиться в расчете остатка посещений по абонементу. В-третьих, сложно формировать актуальное расписание. И в-четвертых, подготовка ежедневной и ежемесячной финансовой отчетности отнимает много времени.

Цель разработки – создать специализированную конфигурацию на платформе «1С:Предприятие 8», которая обеспечит комплексный учет, оперативный доступ ко всей информации и формирование отчетности.

Система сделана на платформе «1С:Предприятие 8.3» с трехуровневой архитектурой «клиент-сервер-БД» [1,4]. Клиентский уровень – это тонкий клиент и веб-клиент, через

которые персонал работает с интерфейсом. Формы, списки и отчеты сделаны так, чтобы было понятно специалистам, уже знакомым с 1С. Бизнес-логика реализована в конфигурации на встроенном языке 1С. Все процессы фитнес-клуба описаны через справочники, документы, регистры и отчеты. На уровне данных используется СУБД (PostgreSQL или IBM Db2), а платформа сама управляет структурой хранения.

Основные объекты метаданных конфигурации приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные объекты метаданных

Тип объекта метаданных	Имя объекта	Ключевое назначение в системе
Справочник	Клиенты	Хранение персональных данных, контактов и привязки к абонементам клиентов
Справочник	Тренеры	Хранение персональных данных тренеров
Справочник	Типы абонементов	Определение параметров абонементов: цена, срок действия, количество посещений, тип (время/пакет)
Справочник	Залы	Список доступных залов, информация о вместимости и оборудовании: зеркала, кондиционер
Документ	Регистрация посещения	Фиксация факта посещения, автоматическая проверка действующего абонемента и списание посещения
Документ	Продажа абонементов	Оформление продажи, привязка абонемента к клиенту, проведение для отражения в регистрах
Документ	Заморозка абонементов	Фиксация заморозки абонементов на срок, устанавливаемый клиентом
Регистр накопления	Посещение	Хранение остатков посещений по пакетным абонементам и истории всех визитов для аналитики
Отчет	Анализ посещаемости	Формирование аналитических отчетов по популярности услуг, времени посещений и загрузке залов

Разработанная конфигурация включает следующие ключевые модули, реализованные как взаимосвязанные объекты метаданных:

- модуль управления клиентами и абонементом на основе справочника «Клиенты» и документа «Продажа абонемента» (система автоматически контролирует срок действия и остаток посещений, блокируя регистрацию при нарушении условий);
- модуль оперативного учета посещений, реализованный обработкой «Посещения» (при реализации данного объекта конфигурации происходит учет в регистре накопления «Посещения»);
- модуль планирования расписания при использовании документа «Назначение занятия» и регистра сведений «Расписание» (предоставляет возможность бронирования мест клиентами через связанные механизмы);
- модуль финансового учета и отчетности: документ «Оплата» формирует движения по регистру «Движения денежных средств»; в системе реализованы как оперативные отчеты для администратора, так и регламентированные отчеты для бухгалтерии (оборотная ведомость, анализ доходов), сформированные с использованием системы компоновки данных (СКД) «1С».

Разрабатываемая конфигурация на платформе «1С:Предприятие 8» обладает рядом характеристик, которые позволяют прогнозировать следующие улучшения в работе фитнес-клуба:

- повышение точности и скорости операций, автоматизация документооборота (регистрация посещений, продажа абонементов) позволит исключить ошибки ручного ввода и сократить время обслуживания одного клиента на административной стойке с 2–3 минут до 30–60 секунд;

- автоматический контроль бизнес-правил, то есть система будет в реальном времени проверять срок действия и остаток посещений по абонементам, блокируя возможность регистрации при их отсутствии (это полностью исключит финансовые потери от неучтенных посещений);

- централизация и доступность данных о клиентах, продажах, расписании и финансах, которые будут храниться в единой базе, что обеспечит их согласованность и мгновенный доступ для авторизованных сотрудников из любой точки, где есть клиент «1С» (включая веб-доступ);

- удобный аналитический инструментарий при помощи встроенной системы компоновки данных (СКД) платформа «1С» позволит быстро формировать произвольные отчеты для анализа ключевых показателей (KPI): динамика выручки, посещаемость по времени и дням недели, популярность услуг, загрузка тренеров, средний чек;

- снижение операционных рисков, за счет наличия электронного документооборота и разграничения прав доступа повысит внутренний контроль и обеспечит сохранность информации.

Таким образом, разрабатываемая автоматизированная информационная система на платформе «1С:Предприятие 8» удовлетворяет поставленным требованиям. Она обеспечивает надежный оперативный и управленческий учет, соответствует трендам импортозамещения и обладает значительным потенциалом для масштабирования и интеграции. Дальнейшее развитие системы может быть направлено на внедрение модуля расчета заработной платы тренеров и интеграции с системами контроля доступа (СКУД) для автоматической фиксации посещений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Радченко, М. Г. 1С:Предприятие 8.3. Практическое пособие разработчика [Текст] / М. Г. Радченко. – Москва : 1С-Паблишинг, 2023. – 879 с.
2. Проектирование баз данных [Текст] : учебное пособие / К. А. Смирнов. – Москва : ИНФРА-М, 2023. – 256 с.
3. Информационные системы в экономике [Текст] / Е. Ю. Хрусталева. – Москва : КноРус, 2022. – 320 с.
4. Официальный сайт технологической платформы «1С:Предприятие 8» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://v8.1c.ru/> (дата обращения: 07.12.2025). – Загл. с экрана.
5. ГОСТ Р 7.0.100-2018. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления [Текст]. – Введ. 2019-07-01. – Москва : Стандартинформ, 2019. – 81 с.

Пономарева Дарья Олеговна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: 1645828@bsuedu.ru

Научный руководитель:
Беляева Ирина Николаевна,
доцент кафедры математики,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)

Э.В. ПРОВОТОРОВ, Р.В. КОРОТЕНКО
E.V. PROVOTOROV, R.V. KOROTENKO

ИНТЕГРАЦИЯ КЛИЕНТСКОГО РЕНДЕРИНГА LATEX И СЕРВЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ВЕБ-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

INTEGRATION OF CLIENT-SIDE LATEX RENDERING AND SERVER-SIDE IMAGE PROCESSING IN WEB BASED EDUCATIONAL SYSTEMS

В статье рассматриваются технологии отображения математических формул и обработки изображений в веб-ориентированных образовательных системах. Обосновывается выбор клиентского рендеринга формул в синтаксисе LaTeX посредством библиотеки KaTeX. Описываются подходы к приёму, проверке и оптимизации изображений на стороне сервера, включая конвертацию в современный формат WebP. Рассматриваются вопросы безопасности загрузок и ограничения частоты запросов. Приводятся оценки эффективности описанных решений с точки зрения производительности и защищённости.

Ключевые слова: образовательные веб-системы, медиаконтент, LaTeX, KaTeX, WebP, обработка изображений, rate limiting, безопасность загрузок.

This paper examines technologies for displaying mathematical formulas and handling images in web-based educational systems. The choice of client-side LaTeX rendering via the KaTeX library is justified. Approaches to server-side image reception, validation and optimisation, including conversion to the WebP format, are described. Security aspects of file uploads and request rate limiting are discussed. The effectiveness of the described solutions in terms of performance and security is evaluated.

Keywords: educational web systems, media content, LaTeX, KaTeX, WebP, image processing, rate limiting, file upload security.

Современные образовательные платформы предъявляют особые требования к отображению учебного контента. Задания по математике, физике и смежным дисциплинам неизбежно содержат формулы, а наглядность изложения обеспечивается иллюстрациями. Стандартный HTML здесь откровенно не справляется: элемент `<math>` поддерживается браузерами неравномерно, а ручная вёрстка формул тегами – крайне трудоёмка. Разработчики учебных систем вынуждены использовать специализированные решения, желательно такие, которые не превращают инфраструктуру приложения в лабиринт зависимостей.

Язык разметки LaTeX давно стал стандартом записи математических выражений в академической среде. Для его отображения в браузере применяются две основные библиотеки: MathJax и KaTeX. MathJax появилась раньше и покрывает более широкий набор команд, однако за это приходится платить скоростью – при десятках формул на странице задержка рендеринга становится заметной. KaTeX, созданная в Khan Academy, изначально проектировалась как быстрое решение [3]; в тестах на страницах с большим количеством формул разрыв оказывается весьма ощутимым. Для задач уровня высшей школы набора команд KaTeX вполне хватает, поэтому выбор в её пользу выглядит обоснованным.

Существенное достоинство клиентского рендеринга состоит в том, что он не требует никаких серверных компонентов. Достаточно подключить библиотеку к странице – и она самостоятельно находит LaTeX-выражения в тексте и преобразует их в читаемые формулы. Не нужно устанавливать TeX на сервер и не нужен отдельный микросервис для генерации SVG. В приложениях с динамической подгрузкой контента библиотеку вызывают повторно

после каждого обновления DOM – стандартная практика для одностраничных веб-приложений.

С изображениями картина сложнее. Когда преподаватель вставляет иллюстрацию прямо из буфера обмена в браузерный редактор, браузер передаёт её в кодировке base64 – то есть встраивает бинарные данные в разметку в виде текстовой строки. Для прототипа это удобно, но в реальной системе такой подход плохо масштабируется: base64-строка примерно на треть длиннее исходного файла, и браузер не может её закешировать отдельно от страницы [2]. Поэтому при сохранении материала сервер декодирует base64-данные, записывает файл на диск и заменяет строку в тексте обычным URL.

Однако принять файл – это ещё не всё, его нужно принять безопасно. Расширение легко подделать: ничто не мешает переименовать исполняемый скрипт в photo.jpg. Правильная проверка опирается на фактическое содержимое файла (сигнатуру байт), а не на его имя. Помимо этого стоит ограничить список допустимых форматов и максимальный размер загружаемого файла, а имя при сохранении генерировать на сервере – иначе возможны атаки с обходом путей [1]. Казалось бы, очевидные меры, но именно они чаще всего упускаются в учебных проектах.

После того как файл принят и проверен, имеет смысл его оптимизировать. Формат WebP обеспечивает заметно меньший размер по сравнению с JPEG и PNG при сопоставимом визуальном качестве [4]. Автоматическая конвертация в WebP прямо при загрузке – дешёвая серверная операция, эффект от которой пользователи замечают сразу: страницы открываются быстрее. SVG-файлы при этом трогать смысла нет – они и без того компактны, а растеризация уничтожила бы их масштабируемость.

Когда изображений в системе накапливается много, встаёт вопрос их учёта. Удобный подход – завести в базе данных отдельную таблицу, где для каждого файла фиксируется: к какому материалу он относится, в каком месте используется (иллюстрация к условию, вставка в текст) и в каком порядке должен отображаться. Структура базы при этом не меняется при добавлении новых файлов к одному заданию, а каскадное удаление не оставляет «осиротевших» записей. Правда, сами файлы на диске каскадом не удаляются – об этом легко забыть. Периодическая сверка хранилища с таблицей метаданных решает эту проблему.

Загрузка файлов – удобная мишень для нагрузочных атак, поэтому даже при наличии авторизации имеет смысл ограничивать частоту запросов. Алгоритм скользящего окна считает число операций за последние N секунд и точнее фиксированного интервала: у последнего есть неприятный эффект удвоения лимита на границе периодов. При превышении порога сервер возвращает код 429 и заголовок Retry-After, чтобы клиент знал, когда можно повторить попытку. Это одновременно защищает сервер и даёт пользователю понятную обратную связь.

В совокупности описанные решения покрывают основные технические потребности учебной платформы, не усложняя архитектуру излишне. Каждый подход отвечает за свой участок: клиентский рендеринг снимает нагрузку с сервера, серверная валидация закрывает очевидные векторы атак, WebP-конвертация экономит трафик, а rate limiting предотвращает злоупотребления. Дальнейшее развитие системы логично строить в сторону облачного хранилища с CDN и дедупликации файлов по хешу содержимого.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. File Upload Cheat Sheet / OWASP Foundation. – Текст : электронный. – URL: https://cheatsheetseries.owasp.org/cheatsheets/File_Upload_Cheat_Sheet.html (дата обращения: 01.04.2026).
2. Image to Base64 / Base64 guru. – Текст: электронный – URL: <https://base64.guru/> (дата обращения: 01.04.2026).
3. Провоторов Э. В., Коротенко Р. В., Беляева И. Н. MathJax и KaTeX: выбор оптимального инструмента рендеринга формул для веб-платформ подготовки к ЕГЭ по

математике // Электронное информационное пространство для науки, образования, культуры. – 2024. – С. 235-239. – EDN AEDUVC.

4. Формат изображения для Интернета / Google for developers. – Текст : электронный. – URL: <https://developers.google.com/speed/webp?hl=ru> (дата обращения: 01.04.2026).

Провоторов Эдуард Витальевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры информатики, естественнонаучных дисциплин и методик преподавания

E-mail: edprovotoro@gmail.com

Коротенко Роман Вячеславович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры информатики, естественнонаучных дисциплин и методик преподавания

E-mail: k.roman.vyacheslavovich@gmail.com

УДК 004.89

Научный руководитель:
Нестерова Елена Викторовна,
*доцент кафедры информационных
и робототехнических систем,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

Д.А. ПУЗАНОВ
D.A. PUZANOV

**РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ
ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И АНАЛИЗА
ПОЧВЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ**
**DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED INFORMATION SYSTEM
FOR SOIL MONITORING AND ANALYSIS
USING MACHINE LEARNING**

В статье рассмотрена разработка автоматизированной информационной системы мониторинга и анализа почвы на основе технологий Интернета вещей (IoT) и методов машинного обучения. Проведен обзор российских исследований по применению моделей машинного обучения для прогнозирования ключевых параметров почвы (влажность, pH, содержание NPK). Выделены преимущества моделей Random Forest (RF), Support Vector Machines (SVM), многослойного перцептрона (MLP) и Extreme Gradient Boosting (XGBoost) в задачах точного земледелия. На основе сравнительного анализа российских авторов обоснован выбор модели XGBoost в качестве основной. Предложена архитектура системы, обеспечивающая сбор данных в реальном времени, обработку и визуализацию результатов.

Ключевые слова: машинное обучение, мониторинг почвы, точное земледелие, XGBoost, Internet of Things, прогнозирование влажности почвы, анализ питательных веществ NPK.

In the article the development of an automated information system for soil monitoring and analysis based on Internet of Things (IoT) technologies and machine learning methods is considered. A review of Russian studies on the application of machine learning models for predicting key soil parameters (moisture, pH, NPK content) is carried out. The advantages of Random Forest (RF), Support Vector Machines (SVM), multilayer perceptron (MLP) and Extreme Gradient Boosting (XGBoost) models in precision agriculture tasks are highlighted. On the basis of comparative analysis by Russian authors the choice of the XGBoost model as the main one is substantiated. The architecture of the system providing real-time data collection, processing and visualization of results is proposed.

Keywords: machine learning, soil monitoring, precision agriculture, XGBoost, Internet of Things, soil moisture prediction, NPK nutrient analysis.

Разработка автоматизированных систем мониторинга почвы является актуальной задачей точного земледелия в Российской Федерации, поскольку традиционные лабораторные методы анализа отличаются высокой трудоемкостью и ограниченной пространственно-временной разрешающей способностью. Интеграция IoT-сенсоров с методами машинного обучения позволяет осуществлять непрерывный сбор данных о влажности, температуре, pH, электропроводности и содержании макроэлементов (азот, фосфор, калий), а также прогнозировать изменения этих параметров с высокой точностью.

Российские исследования подтверждают эффективность контролируемых моделей машинного обучения для решения задач анализа почвы. Среди наиболее часто применяемых моделей выделяют Random Forest (RF), Support Vector Machines (SVM), многослойный перцептрон (MLP) и Extreme Gradient Boosting (XGBoost).

Модель Random Forest отличается высокой устойчивостью к шуму и пропускам в данных, которые часто встречаются при полевых измерениях с помощью IoT-сенсоров. Она обеспечивает интерпретацию результатов благодаря расчету важности признаков и достигает точности $R^2 = 0,92-0,98$ при прогнозировании урожайности и параметров почвы

на основе данных систем обработки. Основными преимуществами данной модели являются возможность параллельной обработки, снижение риска переобучения за счет бэггинга, а также способность эффективно работать с разнородными агрономическими данными.

SVM модель хорошо проявляет себя при работе с небольшими выборками и высокомерными данными, однако, из-за этого показывают точность ниже, по сравнению с подобными моделями, $R^2 = 0,3-0,81$, что значительно увеличивает разброс результатов в зависимости от структуры исходных данных.

MLP модель способна хорошо аппроксимировать сложные нелинейные зависимости, но уступает ансамблевым методам по точности, которая равняется 0,78-0,8 и требует существенно больших вычислительных ресурсов.

В сравнительных исследованиях российских ученых модели градиентного бустинга, в частности XGBoost, демонстрируют наилучшее сочетание точности, скорости и устойчивости. XGBoost строит последовательность деревьев решений с коррекцией ошибок предыдущих и включает встроенную регуляризацию (L1 и L2), что минимизирует переобучение на зашумленных сенсорных данных. По результатам тестов на агрономических данных XGBoost достигает R^2 до 0,98 и $RMSE < 0,33$, превосходя RF по стабильности и скорости на больших объемах данных.

Таблица 1 – Сравнение моделей машинного обучения для анализа почвы (по данным российских исследований)

Модель	Точность (R^2)	RMSE / MAPE	Преимущества	Недостатки
Random Forest	0,92–0,98	$< 0,33 / < 9 \%$	Устойчивость к шуму, интерпретируемость	Медленнее на очень больших данных
SVM	0,30–0,81	0,52–0,96 / 14–59 %	Эффективна на малых выборках	Высокая вариабельность
MLP	0,78–0,80	0,54–0,56 / $\approx 17,6 \%$	Аппроксимация нелинейных зависимостей	Высокие вычислительные затраты
XGBoost	0,92–0,98	$< 0,33 / < 9 \%$	Регуляризация, высокая скорость	Требует настройки гиперпараметров

В качестве основной модели для предлагаемой автоматизированной информационной системы выбрана XGBoost. Выбор обусловлен ее преимуществами перед альтернативными подходами: (1) встроенная регуляризация снижает переобучение на полевых данных; (2) высокая скорость обучения и инференса на табличных данных IoT-сенсоров; (3) превосходство по метрикам точности и стабильности в сравнении с RF, SVM и MLP по результатам российских исследований.

Архитектура системы включает три уровня: (1) уровень сбора данных (IoT-сенсоры влажности, pH, электропроводности, температуры, NPK); (2) уровень обработки (облачное хранилище, предобработка, обучение и инференс XGBoost); (3) уровень представления (веб-дашборд с рекомендациями по орошению и внесению удобрений).

Предложенная система обеспечивает оперативный анализ почвы в реальном времени, минимизирует затраты на ручной отбор проб и повышает точность агротехнических решений на основе данных российских полевых экспериментов.



Рисунок 1 – Архитектура автоматизированной информационной системы мониторинга почвы

Таким образом, интеграция XGBoost в автоматизированную информационную систему мониторинга почвы позволяет достичь высокой точности прогнозирования при минимальных вычислительных затратах, что делает ее оптимальным выбором для практического внедрения в точном земледелии Российской Федерации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каличкин В. К., Федоров Д. С., Максимович К. Ю., Шпак В. А. Сравнение предиктивной способности моделей машинного обучения с использованием различной структуры данных // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – № 8. – С. 395–396.
2. Блохина С. Ю., Матвеев Д. А. Мониторинг основных агрохимических параметров плодородия почв в интеллектуальном земледелии // Земледелие. – 2025. – № 8. – С. 9–15.
3. Маухетдинов Е. Ф. Применение методов машинного обучения для построения карт распределения загрязняющих веществ в компонентах урбанизированной среды : дис. ... магистра / Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина. – Екатеринбург, 2025. – 59 с.
4. Каличкин В. К., Федоров Д. С., Максимович К. Ю., Риксен В. С. Машинное обучение при прогнозировании продуктивности севооборотов // Агроинженерия. – 2025. – № 1. – С. 45–52.
5. Кизимова Т. А., Риксен В. С., Шпак В. А., Максимович К. Ю., Галимов Р. Р. Использование методов машинного обучения для прогнозирования нитратного азота в почве // АгроЭкоИнфо. – 2022. – № 5. – С. 1–10.
6. Чинилин А. В. Цифровое картографирование свойств почв методом регрессионного кригинга на примере Лесной опытной дачи РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева // Почвоведение. – 2018. – № 10. – С. 1245–1256.
7. Павлова А. И. Агроэкологическая типизация сельскохозяйственных земель с применением методов машинного обучения, ГИС и ДДЗЗ // InterCarto. InterGIS. – 2023. – Т. 29, № 1. – С. 123–135.

Пузанов Данил Александрович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: if_if@mail.ru

УДК 004.5

*Научный руководитель:
Гончаров Дмитрий Викторович,
доцент кафедры информационных
и робототехнических систем,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

Е.А. ПУШКИН, И.П. ШИНКАРЕВ, И.И. ГОНЧАРОВА
E.A. PUSHKIN, I.P. SHINKAREV, I.I. GONCHAROVA

РАЗРАБОТКА РАСШИРЕНИЯ ДЛЯ МАСШТАБИРОВАНИЯ ВЕБ-КОНТЕНТА

DEVELOPMENT OF AN EXPANSION FOR WEB CONTENT SCALING

В статье рассматривается разработка браузерного расширения, предназначенного для увеличения и масштабирования веб-контента. Описаны структура и архитектура программного решения, принципы его функционирования и особенности реализации. Проведен анализ существующих подходов к масштабированию веб-страниц. Рассматриваются вопросы повышения доступности информации и удобства взаимодействия пользователя с веб-интерфейсами.

Ключевые слова: браузерное расширение, веб-разработка, пользовательский интерфейс, масштабирование, доступность, JavaScript.

This article discusses the development of a browser extension designed for zooming and scaling web content. The structure and architecture of the software solution, as well as the principles of its operation, are described. The paper analyzes existing approaches to web page scaling and highlights the advantages of the proposed solution. Special attention is paid to improving user interaction with web interfaces and increasing accessibility for users with visual impairments.

Keywords: browser extension, web development, user interface, scaling, accessibility, JavaScript.

В условиях стремительного развития информационных технологий и увеличения объема цифровой информации возрастает значимость удобного взаимодействия пользователя с веб-ресурсами. Современные веб-сайты содержат большое количество визуальных элементов, текстовой информации и интерактивных компонентов, что требует от пользователя высокой концентрации внимания и хорошего восприятия визуальных данных.

Одной из проблем, с которой сталкиваются пользователи, является сложность работы с мелкими элементами интерфейса. Это особенно актуально при использовании устройств с небольшими экранами или при наличии ограничений по зрению. В таких условиях стандартные средства масштабирования, предоставляемые браузерами, не всегда обеспечивают достаточную точность и удобство.

В связи с этим возникает необходимость разработки дополнительных инструментов, позволяющих гибко управлять отображением информации на веб-страницах. Одним из таких решений является создание браузерного расширения, обеспечивающего локальное увеличение отдельных областей страницы.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения доступности веб-контента и улучшения пользовательского опыта. Согласно современным требованиям к разработке интерфейсов, особое внимание уделяется принципам доступности (accessibility), которые направлены на обеспечение равных возможностей для всех категорий пользователей.

Существующие решения, такие как встроенное масштабирование браузера, имеют ряд недостатков:

- увеличение всей страницы, а не отдельной области;
- потеря структуры и удобства навигации;
- отсутствие гибкой настройки параметров увеличения;
- необходимость выполнения дополнительных действий пользователем.

Разработка специализированного расширения позволяет устранить указанные недостатки за счет реализации локального увеличения, которое не нарушает структуру страницы и обеспечивает более точное взаимодействие с элементами интерфейса.

Цель данной работы – создать браузерное расширение, которое позволит удобно и эффективно увеличивать содержимое веб-страниц.

Были поставлены следующие задачи:

- изучить существующие способы масштабирования;
- продумать архитектуру будущего решения;
- разработать удобный пользовательский интерфейс;
- реализовать алгоритм увеличения нужной области страницы;
- провести тестирование и оценить, насколько хорошо работает система.

Сегодня в браузерах уже есть встроенные инструменты масштабирования, например, изменение общего масштаба страницы (zoom). Но у такого подхода есть недостаток: увеличивается сразу весь интерфейс, из-за чего может нарушаться структура страницы и ухудшаться удобство работы с ней.

Поэтому в качестве альтернативы часто используют специальные программы и расширения, которые предлагают более гибкие способы увеличения контента.

Однако многие из них имеют ограниченный функционал или сложный интерфейс, что снижает их эффективность.

Таким образом, существует необходимость разработки простого и удобного инструмента, обеспечивающего локальное увеличение контента без потери структуры страницы.

Разработанное браузерное расширение включает в себя несколько основных компонентов:

- *manifest.json* – основной конфигурационный файл, определяющий структуру расширения и его разрешения;
- *background.js* – фоновый скрипт, выполняющий служебные функции;
- *content.js* – скрипт, взаимодействующий с содержимым веб-страницы;
- *popup.html* и *popup.js* – элементы пользовательского интерфейса;
- *CSS-файлы* – обеспечивают визуальное оформление.

Пользовательский интерфейс расширения представлен на рисунке 1.

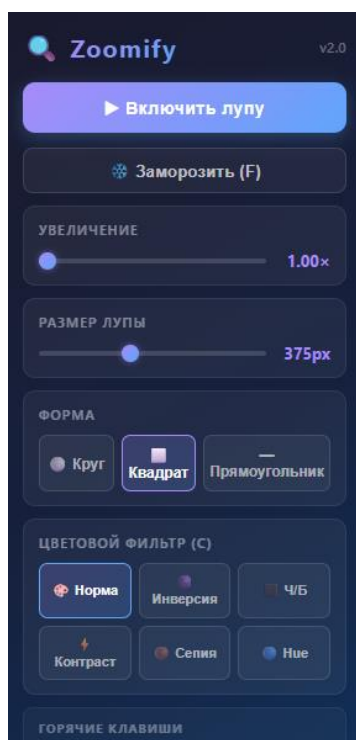


Рисунок 1 – Пользовательский интерфейс браузерного расширения

Взаимодействие между компонентами осуществляется посредством событийной модели. Пользовательские действия передаются от интерфейса к скриптам, которые обрабатывают их и изменяют состояние страницы.

Работа расширения основана на обработке событий перемещения курсора и динамическом изменении отображения элементов страницы.

Основные этапы работы:

- активация расширения пользователем;
- отслеживание положения курсора;
- определение координат выбранной области;
- формирование увеличенного изображения;
- отображение результата на экране.

Пример работы расширения представлен на рисунке 2.

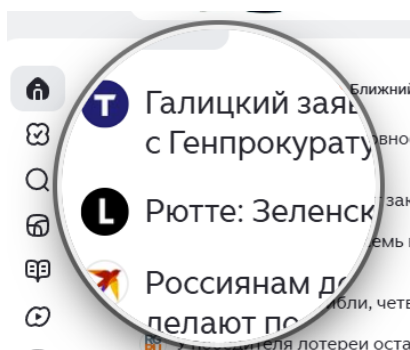


Рисунок 2 – Пример увеличения области веб-страницы

Для определения области увеличения используются координаты курсора (x, y). Масштабирование реализуется с помощью CSS-преобразований, позволяющих изменять размеры элементов без изменения их структуры.

Разработка расширения выполнена с использованием языка программирования JavaScript, а также технологий HTML и CSS.

В основе реализации лежит работа с DOM (Document Object Model), которая позволяет динамически изменять структуру и отображение веб-страницы.

При перемещении курсора вычисляется область интереса, после чего создается элемент, отображающий увеличенную версию выбранного участка. Для повышения производительности используются оптимизированные методы обработки событий.

В результате разработки было создано функциональное браузерное расширение, обеспечивающее локальное увеличение веб-контента.

К основным преимуществам решения можно отнести:

- удобство использования;
- высокая скорость работы;
- независимость от структуры сайта;
- возможность адаптации под различные задачи;
- повышение доступности информации.

Работа расширения в процессе использования представлена на рисунке 3.

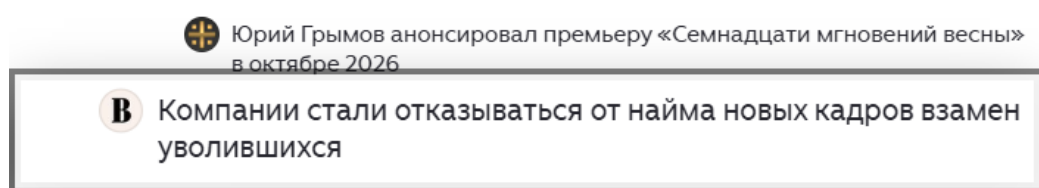


Рисунок 3 – Работа расширения при использовании

В ходе выполнения работы было разработано браузерное расширение для увеличения и масштабирования веб-контента. Проведен анализ существующих решений, разработана архитектура системы и реализован алгоритм работы.

Полученные результаты подтверждают эффективность предложенного подхода. Разработанное расширение может быть использовано для повышения удобства работы с веб-ресурсами, а также в качестве вспомогательного инструмента для пользователей с ограниченными возможностями зрения.

В дальнейшем возможно развитие проекта путем добавления новых функций, таких как настройка уровня масштабирования, выбор режимов отображения и интеграция с другими инструментами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коваленко, С. В. Разработка кроссбраузерного расширения для автоматического управления скоростью воспроизведения видео //Актуальные научные исследования в современном мире. – 2018. – №. 11-2. – С. 55-59.
2. Ковачевич, М. Г., Гаркуша, О. В. Разработка системы для анализа и применения техники romodogo //Прикладная математика: современные проблемы математики, информатики и моделирования. – 2023. – С. 332-335.
3. Зеленский, А. А. Разработка монитора безопасности от деструктивных влияний веб-сайтов и социальных сетей Интернета //Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии. – 2021. – Т. 19. – №. 1. – С. 48-60.
4. Белов, Д. Е., Шалин, А. Ф. Разработка модуля авторизации пользователей и разграничения прав доступа к данным //Сельскохозяйственный журнал. – 2013. – Т. 2. – №. 6 (1). – С. 325-338.
5. Дороничева, А. В., Бурков, С. М., Савин, С. З. Кросс-браузерные веб-технологии для задач распознавания малококонтрастных объектов на медицинских изображениях // Информационные технологии XXI века. – 2017. – С. 378-389.

Пушкин Егор Александрович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент инжинирингового колледжа

E-mail: 1845020@bsuedu.ru

Шинкарев Иван Павлович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент инжинирингового колледжа

E-mail: 1818826@bsuedu.ru

Гончарова Ирина Ивановна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Аспирант кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: goncharova_i@bsuedu.ru

УДК 004.056.5:519.25

Научный руководитель:
Игрунова Светлана Васильевна,
доцент кафедры
математического моделирования,
ВГУ (Воронеж, Россия)

В.М. РОГОЖИНА, В.А. КЛЮЧКИНА, А.А. ПАК
V.M. ROGOZHINA, V.A. KLYUCHKINA, A.A. PAK

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ СГЛАЖИВАНИЯ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ НА ПРИМЕРЕ ДИНАМИКИ КРИТИЧЕСКИХ УЯЗВИМОСТЕЙ

A COMPARATIVE ANALYSIS OF TIME SERIES SMOOTHING METHODS USING THE EXAMPLE OF CRITICAL VULNERABILITIES DYNAMICS

В статье рассматриваются три метода выявления основной тенденции временного ряда: укрупнение интервалов, метод наименьших квадратов (МНК) и скользящая средняя. Анализ выполнен на данных о количестве критических уязвимостей (CVSS 9.0–10.0) за 1999–2025 гг. Показаны преимущества и недостатки каждого метода, проведено сравнение линейной и полиномиальной регрессионных моделей по метрикам MSE и R^2 . Результаты могут быть использованы для выбора подходящего метода сглаживания при планировании ресурсов информационной безопасности.

Ключевые слова: временные ряды, анализ данных, тренд, критические уязвимости, метод укрупнения интервалов, метод наименьших квадратов, скользящая средняя, кибербезопасность, информационная безопасность.

This article examines three methods for identifying the main trend in a time series: interval aggregation, ordinary least squares (OLS), and moving average. The analysis is based on data on the number of critical vulnerabilities (CVSS 9.0–10.0) for 1999–2025. The advantages and disadvantages of each method are demonstrated, and a comparison of linear and polynomial regression models using MSE and R^2 metrics is provided. The results can be used to select an appropriate smoothing method for information security resource planning.

Keywords: time series, data analysis, trend, critical vulnerabilities, interval aggregation method, least squares method, moving average, cybersecurity, information security.

Количество критических уязвимостей (CVSS 9.0–10.0) неуклонно растёт, однако реальные данные содержат случайные скачки и спады, которые мешают увидеть общую тенденцию. Для сглаживания таких рядов применяют разные методы. В этой работе рассмотрены три популярных подхода: укрупнение интервалов, метод наименьших квадратов (МНК) и скользящая средняя. Они выбраны потому, что каждый по-своему решает задачу сглаживания, легко реализуется и часто используется в задачах информационной безопасности. Целью данного исследования является сравнение этих методов на реальных данных о критических уязвимостях и оценить их сильные и слабые стороны.

Исходные данные

Исходный временной ряд количества критических уязвимостей содержит 27 годовых значений (1999–2025). Значение 2025 года скорректировано по данным NVD (National Vulnerability Database) с 3136 до 7049, что устраняет аномалию неполноты первичного источника CVE. Визуально ряд характеризуется медленным ростом до 2015 года, затем – резким ускорением с локальными спадами (2021, 2024) и рекордным значением 2025 года.

Все вычисления и визуализация выполнены в среде Python с использованием библиотек pandas (для обработки данных), numpy (для математических операций), matplotlib и seaborn (для построения графиков), а также scikit-learn (для расчёта метрик MSE и R^2) [1].



Рисунок 1 – Динамика критических уязвимостей

Метод укрупнения интервалов

Метод укрупнения интервалов – один из простейших способов сглаживания временных рядов, позволяющий выявить основную тенденцию развития (тренд) исследуемого явления. Суть метода заключается в объединении исходных данных в более крупные временные промежутки и расчёте для них суммы или среднего арифметического. Это позволяет сгладить случайные колебания и выявить основную тенденцию.

На основе визуального анализа динамики были выбраны пять периодов с учётом точек изменения тренда: 1999–2005, 2006–2011, 2012–2015, 2016–2019, 2020–2025. Для каждого периода рассчитано среднегодовое количество критических уязвимостей, что представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты укрупнения интервалов

Период	Среднее за год
1999–2005	187
2006–2011	915
2012–2015	971
2016–2019	2958
2020–2025	4813

Метод укрупнения интервалов выявил устойчивый рост критических уязвимостей. Именно расчёт среднегодовых значений показал, что период 2012–2015 гг. является плато: среднее изменилось с 915 до 971 (рост всего на 6% за 4 года), что указывает на временную стабилизацию перед резким скачком.

Метод наименьших квадратов (МНК)

Для количественного описания тренда построены линейная и полиномиальная (2-й степени) регрессионные модели. Коэффициенты найдены методом наименьших квадратов (функция `polyfit` библиотеки NumPy).

Полученные уравнения представлены в формуле 1 (линейная модель) и формуле 2 (полиномиальная модель):

$$Y = 217.845 \cdot X - 436400.41 \quad (1)$$

$$Y = 12.2795 \cdot X^2 - 49194.93 \cdot X + 49272106.29 \quad (2)$$

Оценка качества выполнена по метрикам MSE и R^2 (табл. 2).

Таблица 2 – Сравнение регрессионных моделей

Модель	MSE	R^2
Линейная	668761	0.8115
Полиномиальная	226621	0.9361

MSE (Mean Squared Error, среднеквадратичная ошибка) – это показатель того, насколько сильно ошибается модель.

R^2 (коэффициент детерминации) показывает, насколько точно модель предсказывает результат. Чем ближе к 1, тем лучше модель описывает данные [2].

Как показано на рисунке 2, полиномиальная модель визуально точнее повторяет динамику исходных данных, что подтверждается числовыми метриками из таблицы 2.

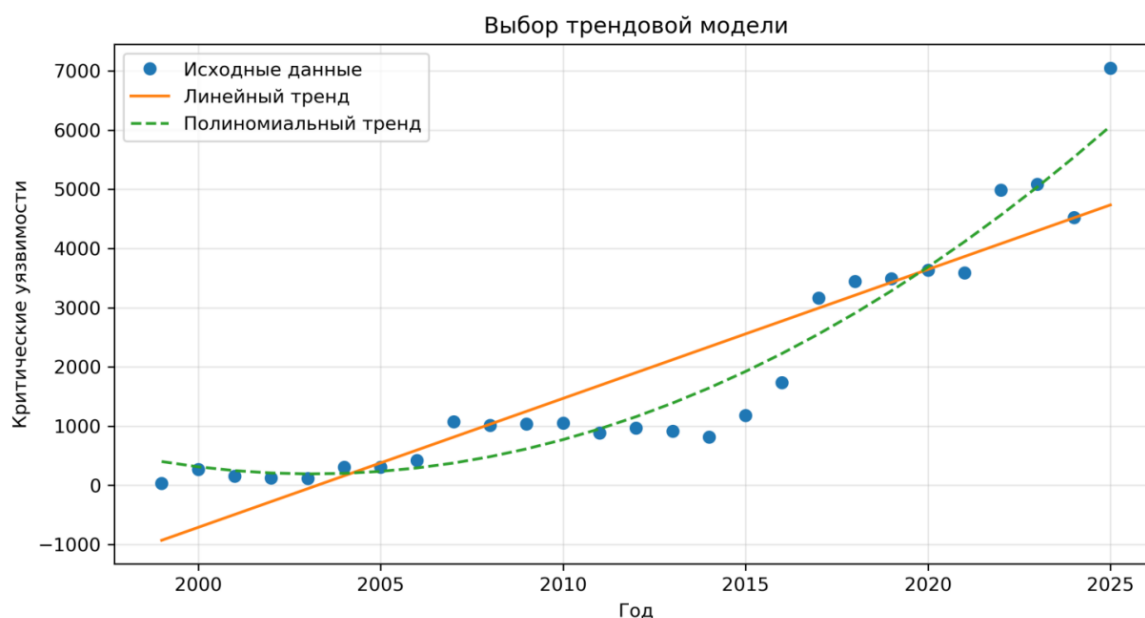


Рисунок 2 – Выбор трендовой модели

Полиномиальная модель имеет $MSE = 226\,621$ (против $668\,761$ у линейной) и коэффициент детерминации $R^2 = 0,9361$ (против $0,8115$). Поскольку R^2 полиномиальной модели ближе к 1, а MSE существенно меньше, выбор сделан в её пользу. Таким образом, выбор полиномиального тренда обоснован как визуально, так и количественно.

Метод скользящей средней

Скользящая средняя (SMA) рассчитывается как среднее арифметическое значений за определённый период. Для данного временного ряда был выбран период 3 года. Выбор периода обусловлен необходимостью сгладить годовые колебания, не потеряв при этом общей направленности тренда [3].

На рисунке 3 представлены исходные данные (синяя линия) и сглаженный ряд, полученный с помощью скользящей средней с периодом 3 года (красная линия).

Метод скользящей средней позволил получить непрерывный сглаженный ряд, на котором чётко виден устойчивый восходящий тренд критических уязвимостей. Локальные спады (2021, 2024) и резкие скачки (2017, 2022) сглажены. При этом общий рост после 2015 года и максимум 2025 года остались хорошо заметны. Метод даёт представление, удобное для визуальной оценки.

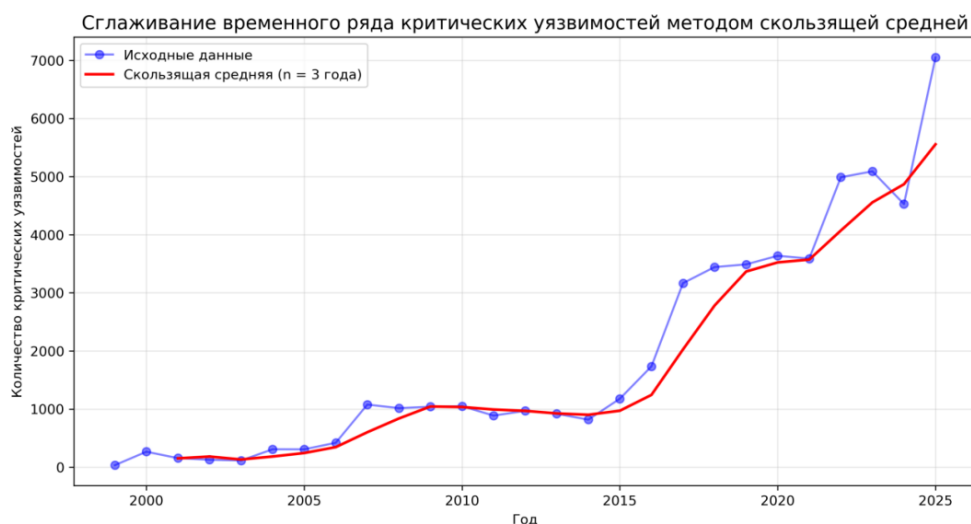


Рисунок 3 – Сглаживание временного ряда методом скользящей средней

Сравнительная характеристика методов приведена в таблице 3.

Таблица 3 – Сравнение методов

Метод	Сильные стороны	Слабые стороны
Укрупнение интервалов	Прост в реализации, наглядно показывает этапы роста, позволяет сравнивать периоды разной длины	Зависит от выбора границ интервалов, теряет детализацию, не даёт непрерывного сглаженного ряда
Метод наименьших квадратов (МНК)	Даёт строгое математическое описание тренда, позволяет количественно оценить качество модели (MSE, R^2), подходит для прогнозирования	Требуется выбора формы функции (линейная, полиномиальная и т.д.), чувствителен к выбросам
Скользящая средняя	Даёт непрерывный сглаженный ряд, легко интерпретируется, хорошо убирает краткосрочные колебания	Сглаживает резкие пики, результат зависит от выбора периода

Каждый из рассмотренных методов имеет свои сильные и слабые стороны (табл. 3). Для быстрой визуальной оценки долгосрочного тренда удобно использовать скользящую среднюю (период 3 года) – она даёт плавную линию. Для прогнозирования лучше подходит метод наименьших квадратов – он позволяет подобрать оптимальную функцию и оценить её точность. Укрупнение интервалов полезно для выделения этапности развития и анализа средних значений по периодам.

Таким образом, для комплексного анализа временного ряда целесообразно использовать комбинацию методов. Такой подход позволяет получить наиболее полное представление о динамике и обоснованно строить прогнозы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инженерия данных в Python: основы анализа данных с помощью Pandas, NumPy и Scikit-learn / пер. с англ. А. Ю. Гинько. – М.: ДМК Пресс, 2025. – 528 с.
2. Афанасьев, В. Н. Анализ временных рядов и прогнозирование: учебник / В. Н. Афанасьев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Оренбург; Саратов: ОГУ; Ай Пи Эр Медиа, 2020. – 286 с.

3. Нестерова Е.В., Григоренко И.Н., Иващук Д.А., Нестеров В.Г., Калюжная Е.В. / Автоматизация прогнозирования неисправностей медтехники //Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2024. № 3 (25). С. 13-22.

Рогожина Виктория Михайловна

Воронежский государственный университет (г. Воронеж, Россия)

Студент кафедры математического моделирования

E-mail: rogozhina-2004@inbox.ru

Ключкина Виктория Александровна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Аспирант кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: dunaeva@bsuedu.ru

Пак Алла Анатольевна

Воронежский государственный технический университет (г. Воронеж, Россия)

Старший преподаватель кафедры компьютерных интеллектуальных технологий проектирования

E-mail: alla.pak.60@mail.ru

УДК 614.2:004.9

*Научный руководитель:
Иващук Ольга Александровна,
профессор кафедры информационных и
робототехнических систем,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

Д.А. САМОФАЛОВ
D.A. SAMOFALOV

ПОДХОДЫ К АВТОМАТИЗИРОВАННОМУ ФОРМИРОВАНИЮ СЦЕНАРИЕВ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ

APPROACHES TO AUTOMATED FORMATION OF SURGICAL TREATMENT SCENARIOS

В статье рассматривается проблема автоматизации поддержки принятия врачебных решений при хирургическом лечении. На основе теоретико-множественной модели медицинского технологического процесса предложен подход к формализации сценариев хирургического лечения. Описаны функции и обобщённый алгоритм, реализующий двухэтапное принятие решения: оценку необходимости хирургического вмешательства и выбор конкретного метода операции. Представлены примеры сценариев лечения для различных клинических ситуаций. Результаты могут быть использованы при создании подсистем поддержки принятия решений в рамках построения автоматизированных систем управления лечебно-диагностическим процессом.

Ключевые слова: автоматизированное управление, хирургическое лечение, поддержка принятия решений, медицинский технологический процесс, алгоритм выбора решения, классификация хирургических вмешательств.

The article discusses the problem of automating medical decision support for surgical treatment. Based on the set-theoretic model of the medical technological process, an approach to formalizing surgical treatment scenarios is proposed. The functions and a generalized algorithm are described, which implements a two-step decision-making process: assessing the need for surgical intervention and selecting a specific surgical method. Examples of treatment scenarios for various clinical situations are presented. The results can be used in the development of decision support systems for automated medical management systems.

Keywords: automated control, surgical treatment, decision support, medical technological process, decision selection algorithm, classification of surgical interventions.

Введение

Современная хирургия характеризуется высокой сложностью принимаемых решений, необходимостью учёта большого числа разнородных данных о пациенте (жалобы, инструментальные и лабораторные исследования, сопутствующие диагнозы) и быстрым развитием новых методов оперативного лечения. Врачу-хирургу часто приходится выбирать между консервативной терапией, экстренным или плановым вмешательством, различными по инвазивности и рискам оперативными методиками. Ошибка на любом из этапов может привести к тяжёлым последствиям.

В последние десятилетия активно развиваются системы поддержки принятия врачебных решений, использующие различные математические и ситуационные модели, в том числе разработанный с использованием методов искусственного интеллекта, как это показано, например, в работах [1-3]. Однако большинство существующих решений ориентированы на способствование эффективной диагностике или прогнозированию возможных исходов для конкретных видов консервативного или хирургического лечения, но не реализуют формирование полноценного сценария лечения, учитывающего как медицинские показания/противопоказания, так и организационные, технические и ресурсные ограничения.

В данной работе предложен метод и реализующий его алгоритм автоматизированного формирования сценариев хирургического лечения на основе использования комплекса формализованных моделей медицинского технологического процесса (МТП) и оценок текущего и прогнозного состояния пациента.

Концептуальная модель принятия врачебных решений

В ранее проведённых исследованиях, результаты которых представлены в [4,5], была предложена теоретико-множественная модель МТП при хирургическом лечении (МТП_{ХЛ}) как объекта автоматизированного управления. Модель описывает универсум возможных состояний пациента Ω , включающий антропометрические данные Ω_A , результаты инструментальной и лабораторной диагностики Ω_I , жалобы и симптомы Ω_C , а также множество диагнозов D . Наблюдаемое состояние конкретного пациента определяется как объединение данных множеств в данный момент времени R [4].

Пространство врачебных решений U разделено на три подмножества: P – решение о консервативной терапии или хирургическом вмешательстве; S – множество возможных сценариев хирургического лечения; H – запрос на дополнительную диагностику.

Для формализации показаний и противопоказаний введены критические множества: D_{Ind} – диагнозы, требующие операции (абсолютные показания); D_{Contr} – абсолютные противопоказания к любой операции; Ind и $Contr$ – значения параметров, определяющие возможность конкретного метода вмешательства.

Важнейшим компонентом предложенной модели МТП_{ХЛ} является методологический инструментарий $M = M_{met} \cup M_{mod} \cup M_{alg}$, включающий специализированные методы, модели и алгоритмы для поддержки принятия решений. Именно разработка M позволяет реализовать отличительные свойства предлагаемой системы.

Описание функций системы, реализующих процесс принятия решений

В исследуемом аспекте основной рассматриваемой функцией общей системы автоматизированной системы управления МТП_{ХЛ} при хирургическом лечении (АСУ МТП_{ХЛ}) является функция A «Автоматизированное формирование врачебного решения». При описании процесса входами являются данные о состоянии пациента (R), выходами – итоговый сценарий лечения (U). Управляющими воздействиями выступают нормативные документы, клинические протоколы и критические множества (D_{Ind} , D_{Contr} , Ind , $Contr$). Механизмы включают техническую инфраструктуру, персонал и введенный в модель МТП_{ХЛ} ключевой методологический инструментарий M . Декомпозиция функции A выделяет пять подфункций: $A1$ «Сбор данных о состоянии пациента»; $A2$ «Проверка полноты данных»; $A3$ «Оценка необходимости хирургического вмешательства»; $A4$ «Выбор метода хирургического лечения»; $A5$ «Формирование итогового врачебного решения». Особенностью является наличие обратных связей: при недостаточности данных после реализации подфункции $A2$ вводим формирование запроса на дополнительную диагностику (H), который возвращает нас для повторной реализации подфункции $A1$. После реализации подфункции $A3$ также может быть инициировано расширенное обследование, если консервативное и хирургическое лечение являются конкурирующими вариантами.

Алгоритм автоматизированного формирования сценария хирургического лечения

На основе представленных моделей разработан обобщённый алгоритм $m_{alg} \in M_{alg}$, схема которого приведена на рисунке 1. Алгоритм реализует двухэтапное принятие решения:

Этап 1: Сбор и проверка данных

Входными данными являются элементы множеств Ω_A , Ω_I , Ω_C , D . В зависимости от доступности информации возможны три частных случая принятия решения: только на основе объективных данных, только на основе жалоб, либо на основе полного комплекса. Формируется входной сценарий на основе наблюдаемого состояния R .

Затем реализуется механизм проверки полноты данных (подмножество $M_H \subset M$). Если данных недостаточно для принятия обоснованного решения, алгоритм выдаёт запрос $h \in H$ на дополнительное обследование, и процесс возвращается к сбору данных.

Этап 2: Оценка необходимости хирургического вмешательства

На этом шаге задействуем механизм $M_{need} \subset M$, который анализирует принадлежность текущего состояния к критическим множествам, а именно:

- если $\exists d (d \in \tilde{D} \wedge d \in D_{Ind})$ (абсолютное показание) или параметры из Ω соответствуют Ind , то принимается решение p_1 о необходимости хирургического вмешательства;
- если $\exists d (d \in \tilde{D} \wedge d \in D_{Contr})$ (абсолютное противопоказание) либо консервативное лечение является достаточным, то формируется решение p_2 – отказ от операции в пользу консервативной терапии;
- если оба варианта возможны и требуют дополнительного анализа, выдаётся запрос на расширенную диагностику ($h \in H$).

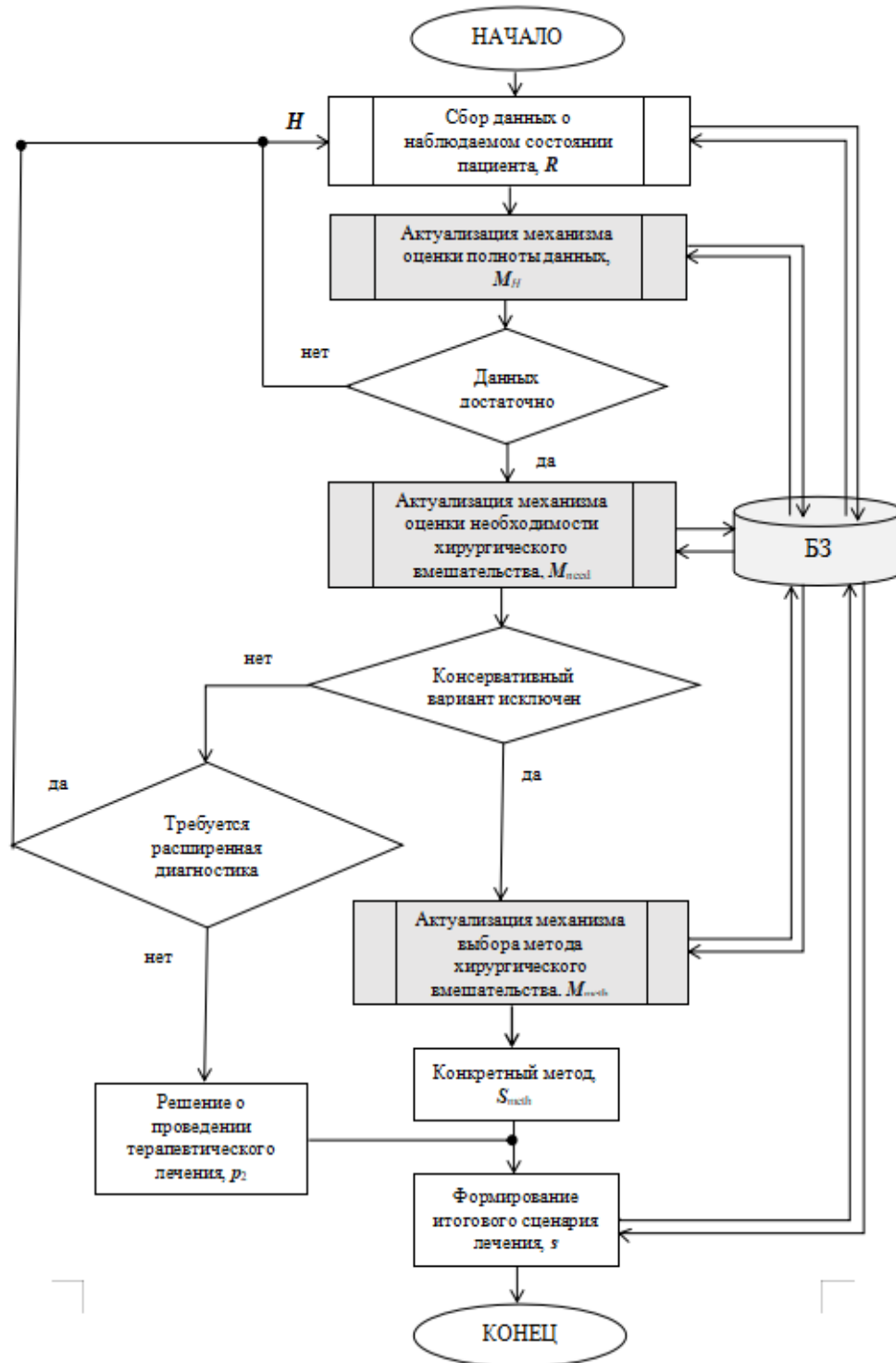


Рисунок 1 – Обобщенный алгоритм автоматизированного формирования конкретного сценария хирургического лечения

Этап 3: Выбор метода хирургического вмешательства

При положительном решении об операции (p_1) активируется механизм M_{need} . Он осуществляет перебор допустимых методов из составленной и размещенной в базе знаний АСУ МТП_{ХЛ} классификации с учётом следующей структуры: целевого органа и области хирургии; срочности (экстренная, срочная, плановая); инвазивности (открытая, минимально инвазивная, робот-ассистированная); техники выполнения (механическая, лазерная, крио-, радио-, ультразвуковая); инфекционного риска (чистая, условно-чистая, загрязнённая, грязная); этапности (одноэтапная, многоэтапная).

Выбор осуществляется путём сопоставления параметров пациента с множествами **Ind** и **Contr** для каждого вида операций. Выходом является конкретный метод S_{meth} (например, «Лапароскопическая холецистэктомия»).

Этап 4: Формирование итогового сценария

Итоговый сценарий $s \in S$ представляет собой кортеж, включающий: название метода хирургического вмешательства; целевой орган; уровень срочности; уровень инвазивности; перечень основных рисков; источники информации о состоянии пациента.

Примеры сценариев, полученные при взаимодействии с экспертами-хирургами:

1. $s =$ («Лапароскопическая холецистэктомия», «Жёлчный пузырь», «Плановая», «Минимально инвазивная», «Риск кровотечения, повреждения протоков, инфекции», «УЗИ, клинический анализ крови, анамнез»).

2. $s =$ («Открытая аппендэктомия», «Червеобразный отросток», «Экстренная», «Открытая (полостная)», «Перитонит, сепсис, раневая инфекция», «Клинический осмотр, лабораторные данные»).

3. $s =$ («Робот-ассистированная радикальная простатэктомия», «Предстательная железа», «Плановая», «Минимально инвазивная», «Недержание мочи, эректильная дисфункция», «Биопсия, МРТ»).

4. $s =$ («Эндоваскулярное стентирование», «Аорта», «Срочная», «Минимально инвазивная», «Тромбоз, миграция стента», «КТ-ангиография, ЭхоКГ»).

5. $s =$ («Лапаротомия с ревизией кишечника», «Тонкий кишечник», «Экстренная», «Открытая», «Некроз, сепсис, спайки», «Жалобы, задержка стула, рвота»).

Заключение

В работе представлен подход к автоматизированному формированию сценариев хирургического лечения, основанный на теоретико-множественной модели медицинского технологического процесса. Разработан обобщённый алгоритм, реализующий двухэтапное принятие решений: оценка необходимости операции и выбор конкретного метода из многомерной классификации. Приведены примеры сценариев для различных клинических ситуаций.

Предложенный подход отличается следующими особенностями:

- двухуровневая структура принятия решения – сначала оценивается сама необходимость операции, затем выбирается конкретная методика (это соответствует реальной клинической логике и снижает вычислительную сложность);

- формализация показаний и противопоказаний через критические множества, что позволяет использовать как чёткие, так и нечёткие правила при формировании сценариев врачебных решений;

- введение модульного методологического инструментария M , который может включать различные модели (регрессионные, нейросетевые, деревья решений) для разных этапов, что обеспечивает масштабируемость.

- интеграция с запросом на дополнительную диагностику – система не только выдаёт готовое решение, но и активно управляет процессом сбора данных, что особенно важно при неполной информации.

Ограничения текущей реализации связаны с необходимостью верификации на больших клинических данных и адаптации классификации под конкретные хирургические

специальности. Кроме того, требуется разработка механизмов учёта индивидуальных предпочтений пациента.

Дальнейшие исследования будут направлены на: реализацию механизмов **М** с использованием нейросетевых и нечётких моделей; интеграцию разработанного алгоритма в действующие медицинские информационные системы; клиническую валидацию. Предложенный подход может быть положен в основу интеллектуальных систем управления в хирургии, способствующих повышению качества и безопасности лечения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гартман, К.А. Автоматизированная система сбора и обработки персонифицированных медицинских данных / К.А. Гартман // Современная школа России. Вопросы модернизации. – 2021. – № 5 (36). – С. 133-134.
2. An overview of clinical decision support systems: benefits, risks, and strategies for success / T. Reed, L. Sutton, David Pincock[et al.] //npj Digital Medicine. – 2020. – 3:17, doi.org/10.1038/s41746-020-0221-y.
3. Artificial neural networks in medical diagnosis / F. Amato, A. López, E.M. Peña-Méndez [et al.] // Journal of Applied Biomedicine. – 2013. – №11. – Pp. 47–58. – doi: 10.2478/v10136-012-0031-x.
4. Самофалов Д.А. Анализ подходов и проблемных вопросов при автоматизированном управлении медицинскими технологическими процессами // Цифровизация: новые тренды и опыт внедрения. – Уфа: OMEGA SCIENCE, 2026. – С. 58-71.
5. Самофалов Д.А. Концептуальная модель медицинского технологического процесса при хирургическом лечении как объекта автоматизированного управления // Научные открытия: междисциплинарный взгляд на исследования. – Уфа: OMEGA SCIENCE, 2026. – С. 42-45.

Самофалов Дмитрий Александрович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Соискатель кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: dmi.samofalov@gmail.com

УДК 372.862:004.8

Научный руководитель:
Беляева Ирина Николаевна,
доцент кафедры математики,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)

Е.А. СЕЛЮТИНА
Е.А. SELYUTINA

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИНСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В КОНТЕКСТЕ ШКОЛЬНОГО КУРСА ИНФОРМАТИКИ

METHODOLOGICAL ASPECTS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE CONTEXT OF A SCHOOL COMPUTER SCIENCE COURSE

Статья посвящена проблеме разработки методики обучения школьников основам искусственного интеллекта с акцентом на формирование критического мышления. Выделены три направления использования технологий ИИ в образовании: автоматизация педагогических задач, изучение ИИ как содержания образования, использование ИИ как средства развития метапредметных компетенций. Обоснована дидактическая ценность аналитико-рефлексивного подхода при изучении нейронных сетей. Определены целевые ориентиры обучения ИИ в единстве предметного, деятельностного и ценностно-мотивационного компонентов. Представлен методический инструментарий, включающий программные средства, дидактические материалы и систему учебных заданий. Предложена структура урока по теме «Искусственный интеллект» с использованием активных методов обучения. Работа адресована учителям информатики, методистам и исследователям в области цифрового образования.

Ключевые слова: искусственный интеллект, критическое мышление, методика обучения информатике, нейронные сети, аналитико-рефлексивный подход, школа, метапредметные компетенции, ФГОС, активные методы обучения, цифровая образовательная среда.

The article is devoted to the problem of developing a methodology for teaching students the basics of artificial intelligence with a focus on developing critical thinking. Three areas of using AI technologies in education are identified: automation of pedagogical tasks, studying AI as an educational content, and using AI as a means of developing meta-subject competencies. The didactic value of the analytical-reflexive approach in studying neural networks is substantiated. The target guidelines for teaching AI in the unity of subject, activity, and value-motivational components are determined. The article presents a methodological toolkit that includes software tools, didactic materials, and a system of educational tasks. It also proposes a lesson structure on the topic of Artificial Intelligence using active learning methods. The article is intended for computer science teachers, methodologists, and researchers in the field of digital education.

Keywords: artificial intelligence, critical thinking, computer science teaching methodology, neural networks, analytical-reflective approach, secondary school, meta-subject competencies, FSES, active learning methods, digital educational environment.

Искусственный интеллект представляет собой одно из наиболее динамично развивающихся направлений современной науки и технологий, оказывающее трансформирующее воздействие на все сферы человеческой деятельности, включая образование. Образовательный потенциал искусственного интеллекта раскрывается в нескольких взаимодополняющих направлениях использования данных технологий в учебном процессе. Первое направление связано с применением систем искусственного интеллекта для автоматизации рутинных педагогических задач, освобождая время учителя для творческой профессиональной деятельности. Второе направление предполагает изучение самих технологий искусственного интеллекта как компонента содержания образования, что обеспечивает формирование у школьников представлений о принципах работы интеллектуальных систем и готовит к жизни в условиях цифровой экономики. Третье направление, являющееся наиболее значимым в контексте настоящего исследования, связано с использованием изучения основ искусственного интеллекта как средства развития критического мышления и метапредметных компетенций обучающихся. Анализ алгоритмов

машинного обучения, оценка качества работы нейронных сетей, выявление ограничений интеллектуальных систем требуют активной интеллектуальной деятельности школьников, стимулируют развитие аналитических способностей, формируют рефлексивное отношение к технологиям.

Нейронные сети представляют собой математические модели, имитирующие принципы обработки информации биологическими нейронными системами. Изучение архитектуры и механизмов обучения искусственных нейронных сетей обладает значительным образовательным потенциалом для формирования у школьников междисциплинарных представлений, интегрирующих знания из информатики, математики и биологии. Практическая работа с нейросетевыми моделями развивает экспериментальные умения обучающихся, поскольку выбор оптимальной архитектуры сети и параметров обучения требует систематического тестирования различных вариантов и анализа результатов.

Методическая наука накопила значительный опыт в области развития критического мышления обучающихся средствами информационно-коммуникационных технологий, однако специфика использования искусственного интеллекта в данном контексте остается недостаточно исследованной. Анализ педагогической литературы позволяет выделить несколько концептуальных подходов к организации образовательного процесса, направленного на формирование критического мышления школьников в условиях информатизации образования. Каждый из подходов характеризуется специфическими методическими принципами, организационными формами и дидактическими средствами [1]. Один из таких подходов, а именно аналитико-рефлексивный подход, реализуется через систему заданий аналитического характера, направленных на сравнение различных источников информации, выявление логических противоречий, оценку достоверности данных, аргументированное обоснование собственной позиции. На уроках информатики аналитико-рефлексивный подход может реализовываться при работе с различными алгоритмами решения одной задачи, при сравнительном анализе программных средств, при оценке качества информационных ресурсов [2]. Применительно к изучению искусственного интеллекта аналитико-рефлексивный подход обладает особой дидактической ценностью. Школьники анализируют примеры работы интеллектуальных систем, выявляют типичные ошибки алгоритмов, формулируют критерии оценки качества работы систем искусственного интеллекта и совместно обсуждают этические аспекты применения технологий. Подобная деятельность непосредственно направлена на формирование критического мышления, поскольку требует аналитических и оценочных суждений, аргументированного обоснования выводов, рефлексии ограничений технологических решений.

Разработка методики обучения школьников основам искусственного интеллекта требует четкого определения целей и структурирования содержания образования в соответствии с поставленными педагогическими задачами. Применительно к изучению основ искусственного интеллекта целевые ориентиры должны интегрировать освоение предметного содержания с развитием метапредметных компетенций, что соответствует требованиям Федерального государственного образовательного стандарта основного общего образования [3]. Деятельностная составляющая целей обучения основам искусственного интеллекта включает формирование практических умений работы с инструментами машинного обучения, способности к постановке задач в терминах искусственного интеллекта, навыков подготовки данных для обучения моделей, умения оценивать качество работы интеллектуальных систем. Особое значение имеет развитие экспериментальных умений обучающихся, связанных с проведением вычислительных экспериментов, анализом влияния параметров на результаты работы алгоритмов, интерпретацией полученных данных. Именно деятельностный аспект целей обеспечивает формирование практических компетенций, востребованных в условиях цифровой экономики [4]. Ценностно-мотивационная составляющая целевых ориентиров направлена на формирование у школьников осознанного отношения к технологиям искусственного интеллекта как к инструменту, обладающему не только значительными возможностями, но и существенными ограничениями и потенциальными рисками.

Эффективная реализация методики обучения школьников основам искусственного интеллекта требует специально организованного методического инструментария, включающего программные средства, дидактические материалы, системы учебных заданий различного типа. Отбор методических средств осуществляется с учетом возрастных познавательных особенностей обучающихся, уровня их подготовки в области информатики, технических возможностей образовательной организации. Принципиальное значение имеет доступность программных инструментов, позволяющая школьникам продолжать самостоятельную работу вне учебных занятий, что обеспечивает индивидуализацию образовательного процесса [5]. Методика проведения уроков по основам искусственного интеллекта определяется спецификой содержания образования, возрастными познавательными особенностями обучающихся, задачей формирования критического мышления. Организация учебно-познавательной деятельности школьников основывается на принципах активности, самостоятельности, проблемности, обеспечивающих развитие интеллектуальных способностей обучающихся, а также на системном применении активных методов обучения. Структура урока должна включать мотивационно-целевой этап, актуализацию опорных знаний, проблемное изучение нового материала, первичное закрепление, практическую работу с инструментами машинного обучения, рефлексивно-оценочный этап, в ходе которых следует использовать объяснительно-иллюстративный, проблемный, исследовательский, дискуссионный методы обучения в зависимости от дидактических задач этапа урока.

Таким образом, интеграция изучения основ искусственного интеллекта в школьный курс информатики обладает значительным педагогическим потенциалом не только для формирования предметных знаний, но и для развития критического мышления и метапредметных компетенций обучающихся. Перспективы дальнейших исследований связаны с созданием банка учебных заданий по работе с нейронными сетями для разных возрастных групп, а также с изучением возможностей использования генеративных нейросетей как средства развития навыков рефлексии у школьников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабанский, Ю.К. Методы обучения в современной общеобразовательной школе / Ю.К. Бабанский. – М.: Просвещение, 2022. – 208 с
2. Кузнецов, А.А. Теория и методика обучения информатике / А.А. Кузнецов, Т.Б. Захарова. – М.: Академия, 2024. – 592 с.
3. Алексеева, М.В. Развитие критического мышления школьников средствами информационно-коммуникационных технологий / М.В. Алексеева // Информатика и образование. – 2023. – № 3. – С. 22-29.
4. Якиманская, И.С. Технология личностно-ориентированного образования / И.С. Якиманская. – М.: Сентябрь, 2023. – 176 с.
5. Босова, Л.Л. Искусственный интеллект в школьном курсе информатики / Л.Л. Босова, Н.Е. Зубченко // Информатика в школе. – 2024. – № 2. – С. 33-41.

Селютина Елена Александровна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры математики

E-mail: selutinae035@gmail.com

УДК 004.94

*Научный руководитель:
Удовенко Ирина Васильевна,
доцент кафедры информационных
и робототехнических систем,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

В.Г. СИРОТА, В.А. КЛЮЧКИНА
V.G. SIROTA, V.A. KLYUCHKINA

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ДЛЯ ВОДОКАНАЛА DESIGNING AN ENVIRONMENTAL MONITORING INFORMATION SYSTEM FOR A WATER UTILITY

В статье обоснована необходимость проектирования информационной системы экологического мониторинга для водоканала. С использованием методологии IDEF0 представлены функциональные возможности системы, выполнено описание бизнес-процессов экологического мониторинга качества воды на примере Шебекинского водоканала. Предложена структурная модель информационной системы.

Ключевые слова: информационная система, экологический мониторинг, водоканал.

This article substantiates the need to design an environmental monitoring information system for a water utility. Using IDEF0 methodology, the system's functional capabilities are presented and the business processes for environmental water quality monitoring are described using the Shebekensky Water Utility as an example. A structural model of the information system is proposed.

Keywords: information system, environmental monitoring, water utility.

В современном мире вопросы экологической безопасности и рационального использования водных ресурсов приобретают особую значимость. Предприятия водопроводно-канализационного хозяйства (водоканалы) играют ключевую роль в обеспечении населения качественной питьевой водой и очистке сточных вод. Эффективность их работы напрямую влияет на здоровье населения и состояние окружающей среды. В связи с этим особую актуальность приобретает внедрение современных информационных систем, позволяющих осуществлять непрерывный мониторинг, оперативно реагировать на изменения параметров среды и принимать обоснованные управленческие решения [1, 2].

Автоматизация системы водоканала направлена на повышение эффективности управления водными ресурсами и обеспечение соответствия качества питьевой воды установленным нормативам.

В ходе анализа предметной области выявлено, что информационная система предназначена для решения следующих основных задач:

1. Сбор и хранение данных: обеспечение централизованного сбора и хранения информации о качестве воды, состоянии водопроводных сетей и экологических показателях.
2. Анализ и интерпретация данных: проведение анализа собранных данных для выявления отклонений от нормативных значений, что позволяет своевременно реагировать на изменения и предотвращать аварийные ситуации.
3. Формирование отчетов и уведомлений: автоматическое создание отчетов и уведомлений для оперативного информирования ответственных служб о состоянии системы и необходимости вмешательства.
4. Ведение журнала событий и инцидентов: регистрация всех происшествий и инцидентов в системе для обеспечения прозрачности и возможности анализа причин и последствий.
5. Интеграция с внешними системами: обеспечение совместимости с другими информационными системами для передачи данных и координации действий с внешними организациями и службами.

6. Поддержка принятия решений при управлении процессами водоподготовки и очистки: оптимизация работы водоочистных сооружений и контроль за качеством обработанной воды для обеспечения соответствия санитарным нормам.

Информационная система будет обеспечивать непрерывный контроль, предотвращение загрязнений и соблюдение требований СанПиН 2.1.4.1074-01 и Водного кодекса РФ [3, 4].

Для описания бизнес-процессов была использована методология IDEF0. На рисунке 1 представлена контекстная диаграмма процесса экологического мониторинга качества воды на примере Шебекенского водоканала. Данная диаграмма отражает основные потоки информации и определяет границы автоматизируемой системы.

На вход системы подаются показания датчиков, лабораторные пробы, метеоданные и сведения о состоянии водопроводно-канализационных сетей. Процесс их обработки регламентируется СанПиН и нормативами качества воды. Выходной результат – отчёты, графики, сводки и аварийные сигналы при превышении предельно допустимой концентрации. Данные результаты достигаются за счёт использования серверной инфраструктуры, прикладного программного обеспечения и работы профильных специалистов (экологов, технологов, аналитиков).

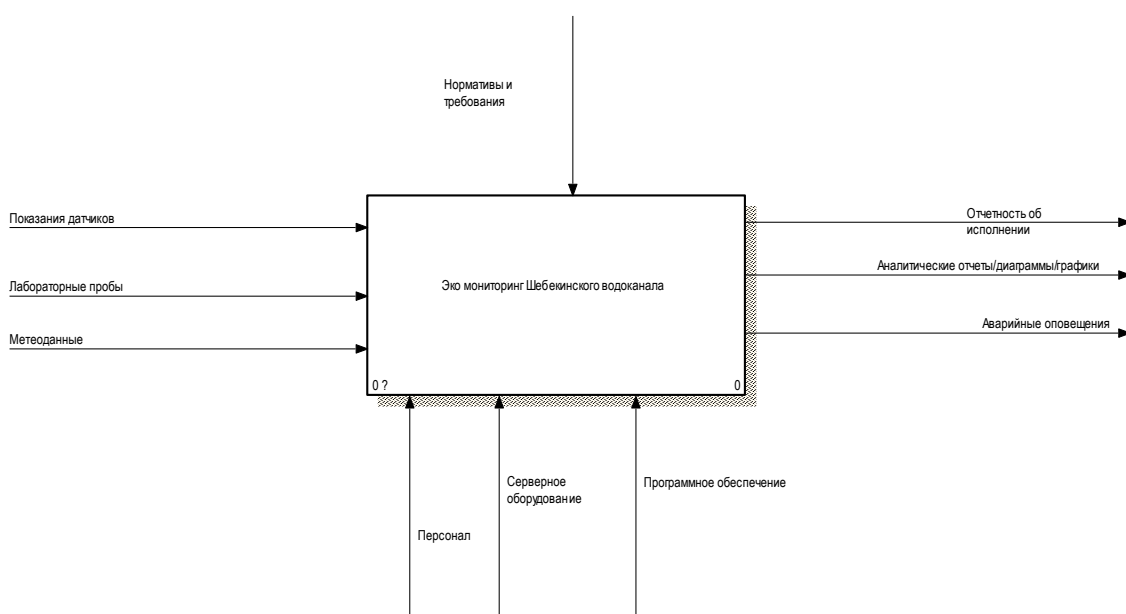


Рисунок 1 – Контекстная диаграмма

На рисунке 2 представлена диаграмма декомпозиции контекстной диаграммы, детализирующая последовательные функциональные блоки системы и их взаимодействие при обработке данных. На первом этапе осуществляется сбор и верификация данных. Поступают показания датчиков, результаты лабораторных проб и метеорологические параметры, лаборанты проверяют их соответствие нормативам, а инженеры КИПиА (контрольно-измерительных приборов и автоматики) контролируют корректность работы измерительного оборудования. После верификации данные передаются на этап предварительного анализа и моделирования, где с использованием математических моделей и геоинформационных систем строятся графики, отчёты и прогнозные модели. Далее аналитик проводит анализ сформированных моделей, выявляя отклонения от допустимых значений и формируя аварийные оповещения с указанием критичности ситуации и рекомендуемых действий.

Завершающим этапом является исполнение и контроль: исполнительный персонал принимает меры по устранению выявленных нарушений, после чего формируется итоговая отчётность о выполненных работах, которая направляется на автоматизированное рабочее место эколога для последующего анализа и хранения.

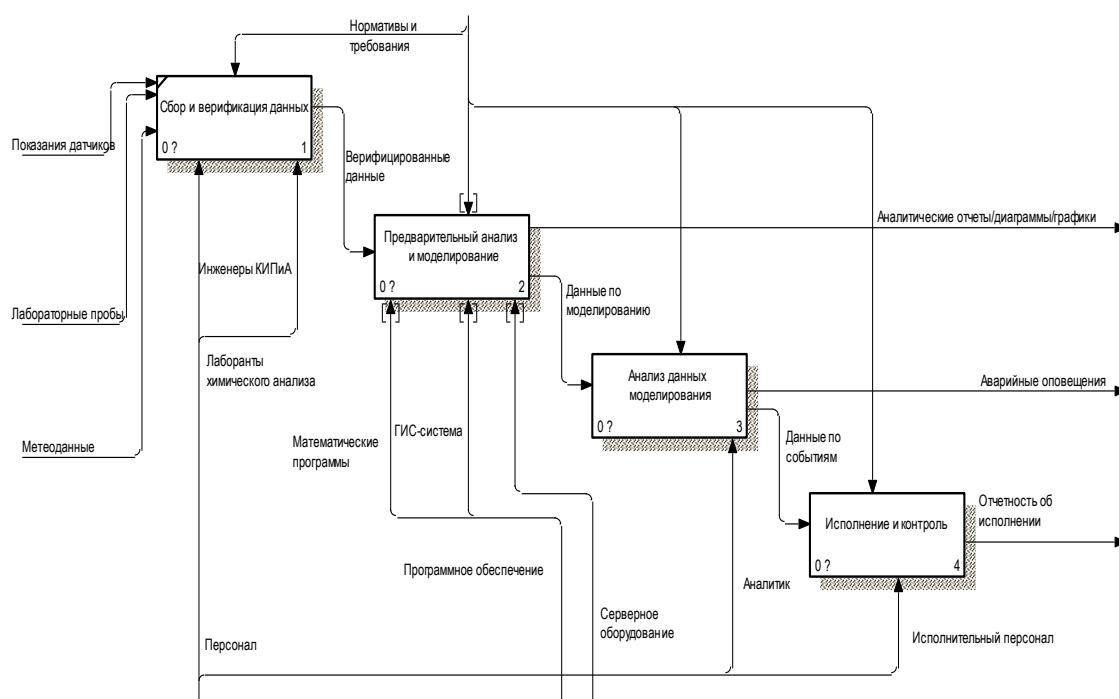


Рисунок 2 – Декомпозиция контекстной диаграммы

Проектируемая информационная система обеспечит более эффективное взаимодействие различных объектов в рамках системы.

На рисунке 3 представлена структурная модель разрабатываемой информационной системы.

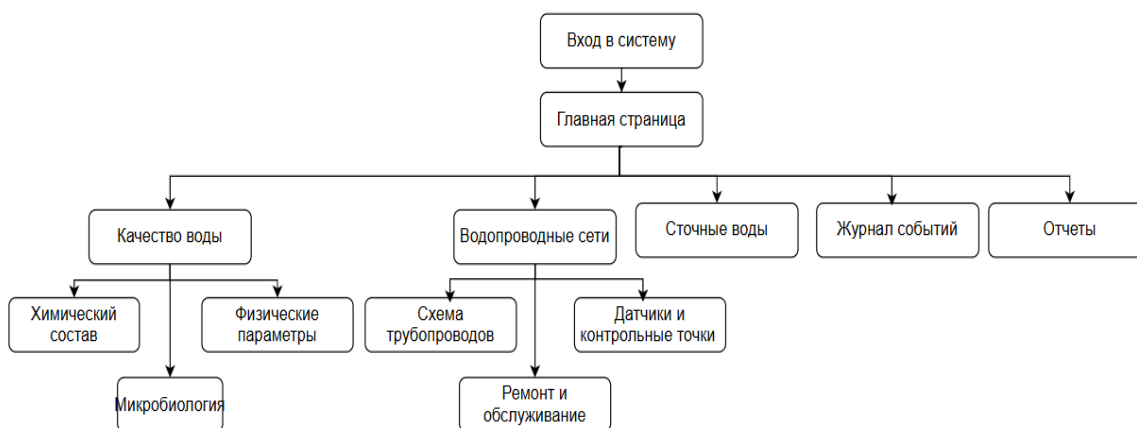


Рисунок 3 – Структурная модель информационной системы

Структурная модель включает основные модули: «Авторизация», «Качество воды», «Водопроводные сети», «Сточные воды», «Журнал событий» и «Отчеты».

В заключении стоит подчеркнуть, что внедрение такой системы – это не просто технологическое обновление, а ответственный шаг к повышению прозрачности процессов и оперативности реагирования на отклонения от нормативов. Автоматизация мониторинга позволяет не только своевременно выявлять риски, но и прогнозировать их развитие, что в конечном итоге способствует устойчивому развитию инфраструктуры и сохранению водных ресурсов для будущих поколений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Моделирование киберфизической системы интеллектуального мониторинга и управления экологической безопасностью АПК / О. А. Иващук, И. С. Константинов, В.И. Федоров [и др.] // Научно-технический вестник Поволжья. – 2021. – № 11. – С. 52-55.
2. Информационные системы экологического мониторинга: учебное пособие / О.А. Иващук, Н. П. Зуев, И. В. Удовенко, В. И. Федоров; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Белгородский государственный национальный исследовательский университет". – Белгород: БелГУ, 2021. – 175 с.
3. Вартанов, А.З. Методы и приборы контроля окружающей среды и экологический мониторинг / А.З. Вартанов, А.Д. Рубан, В.Л. Шкурятник. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2010. – 640 с.
4. ГОСТ Р 7.0.97 – 2016 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу [Электронный ресурс]
URL:https://lyceum.urfu.ru/fileadmin/user_upload/docs/GOST_7.0.97-2016.pdf

Сирота Вероника Геннадьевна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: 1491043@bsuedu.ru

Ключкина Виктория Александровна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, (г. Белгород, Россия)

Аспирант кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: dunaeva@bsuedu.ru

УДК 004.45:656.073

*Научный руководитель:
Подпругина Ирина Вячеславовна,
старший преподаватель кафедры
прикладной информатики
и информационных технологий,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

В.К. СТРЕКОЗОВА, И.А. ПОДПРУГИН
V.K. STREKOZOVA, I.V. PODPRUGINA

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПОИСКА ЦИФРОВЫХ АКТИВОВ

DEVELOPMENT OF AN INFORMATION SYSTEM FOR SEARCHING FOR DIGITAL ASSETS

В статье рассматривается вопрос автоматизации процессов поиска цифровых активов на основе информационной системы с разграничением прав доступа. Проведён анализ существующих решений, выявлены их недостатки. Разработана многопользовательская информационная система, поддерживающая четыре роли пользователей: медицинский персонал, директор, бухгалтер и администратор. Система реализована на платформе .NET с использованием технологий Windows Presentation Foundation для построения пользовательского интерфейса и ADO.NET для взаимодействия с базой данных Microsoft SQL Server. Приведены UML-диаграмма, схема базы данных, основные алгоритмы работы. Выполнена оценка эффективности внедрения разработанной системы.

Ключевые слова: информационная система, поиск цифровых активов, автоматизация, Windows Presentation Foundation, .NET, ADO.NET, SQL Server, разграничение прав доступа, UML.

The article discusses the issue of automating the processes of searching for digital assets based on an information system with access rights. The analysis of existing solutions is carried out, their shortcomings are revealed. A multi-user information system has been developed that supports four user roles: medical staff, director, accountant, and administrator. The system is implemented on the platform.NET using Windows Presentation Foundation technologies to build a user interface and ADO.NET to interact with the Microsoft SQL Server database. UML diagrams, database schema, and basic algorithms are provided. The effectiveness of the implementation of the developed system has been assessed.

Keywords: information system, digital asset search, automation, Windows Presentation Foundation, .NET, ADO.NET, SQL Server, access rights differentiation; UML.

В современном мире объем цифровых активов растет с каждым днем. Медицинская организация «Медицина 31» ежедневно создает множество данных: отчеты, электронные медицинские карты, результаты анализов, изображения. Данные часто распределены по локальным серверам и облачным хранилищам, что приводит к значительным временным затратам на их поиск [1]. Существующие на рынке программные продукты либо работают только в пределах одного устройства, либо не обеспечивают разграничения доступа и интеграции с разнородными хранилищами [2]. В связи с этим актуальна разработка информационной системы для поиска цифровых активов, адаптированной под потребности медицинской организации.

Целью работы является разработка информационной системы для поиска цифровых активов, обеспечивающей автоматизацию поиска цифровых активов и разграничение прав доступа.

При выполнении работы использованы методы системного анализа, объектно-ориентированного проектирования, теории баз данных. В качестве среды разработки выбрана Microsoft Visual Studio 2022. Пользовательский интерфейс реализован на платформе WPF (Windows Presentation Foundation) с использованием языка разметки XAML. Для взаимодействия с базой данных использована технология ADO.NET. В качестве системы управления базами данных выбран Microsoft SQL Server [3, 4].

Разработанная информационная система имеет клиент-серверную архитектуру и включает следующие компоненты: клиентское приложение (WPF-приложение) и сервер базы данных (Microsoft SQL Server) [5, 6]. Система поддерживает четыре роли пользователей, каждой из которых соответствует определённый набор функций:

- медицинский персонал – поиск по названию, содержанию, типу файла, категории и дате; добавление в избранное; просмотр истории запросов;
- бухгалтер – поиск финансовых документов с фильтрами по контрагенту, статусу оплаты, периоду; цветовое разграничение локальных и облачных файлов;
- директор – просмотр сводной информации, списка сотрудников, журнала действий и инцидентов;
- администратор – полное управление системой, настройка прав доступа.

Для описания функциональных требований спроектирована диаграмма прецедентов UML, выделяющая четырех актеров и соответствующие прецеденты. Диаграмма прецедентов представлена на рисунке 1.

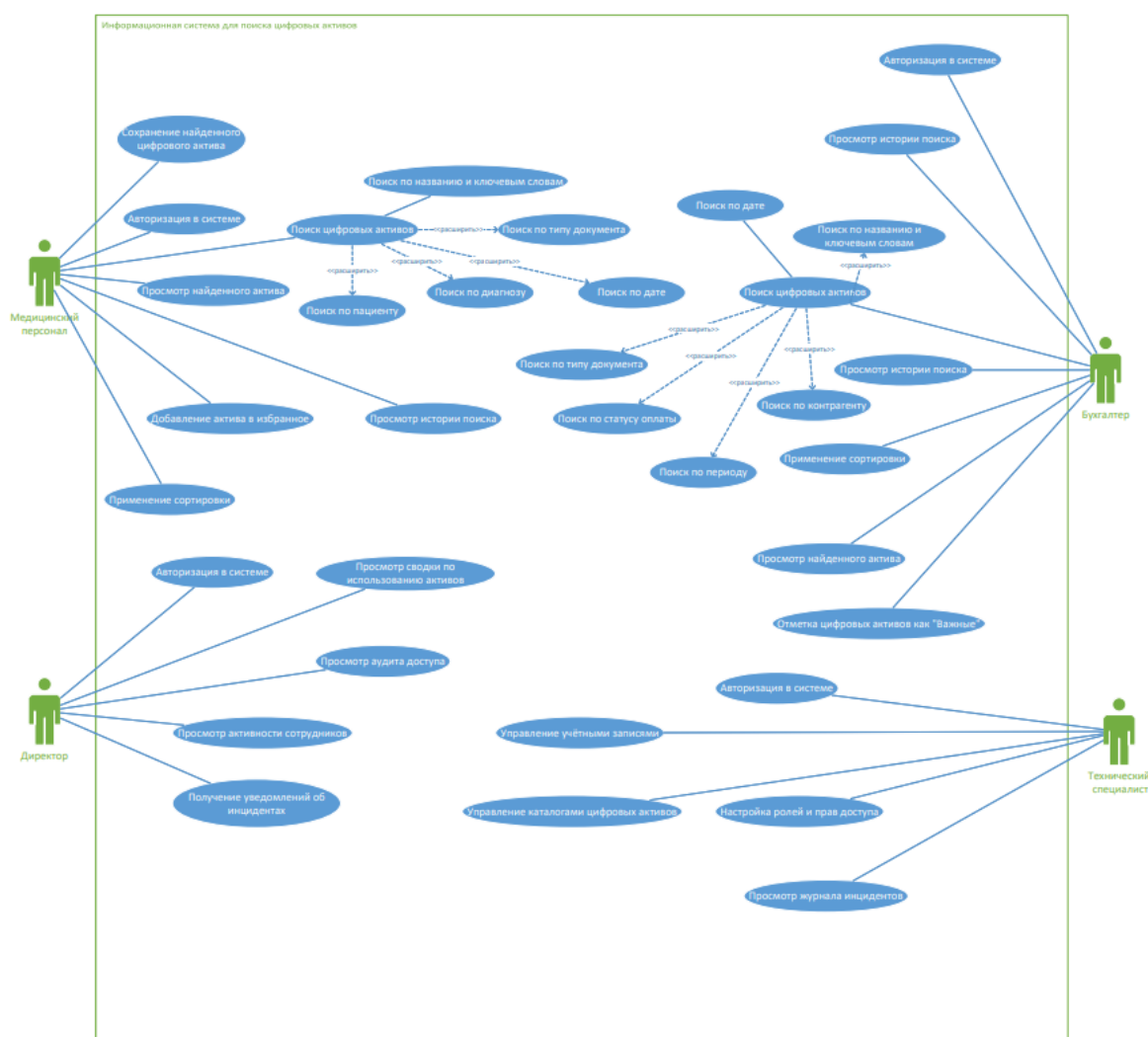


Рисунок 1 – Диаграмма прецедентов

В ходе работы спроектирована реляционная база данных, содержащая одиннадцать таблиц: сотрудник, роль, файл, индекс_файла, облачный_источник, категория_файла, метка, файл_метка, файл_доступ, роль_категория, аудит_доступа. Связи между таблицами организованы с использованием внешних ключей, обеспечена целостность данных на уровне базы данных [7, 8]. Схема базы данных приведена на рисунке 2.

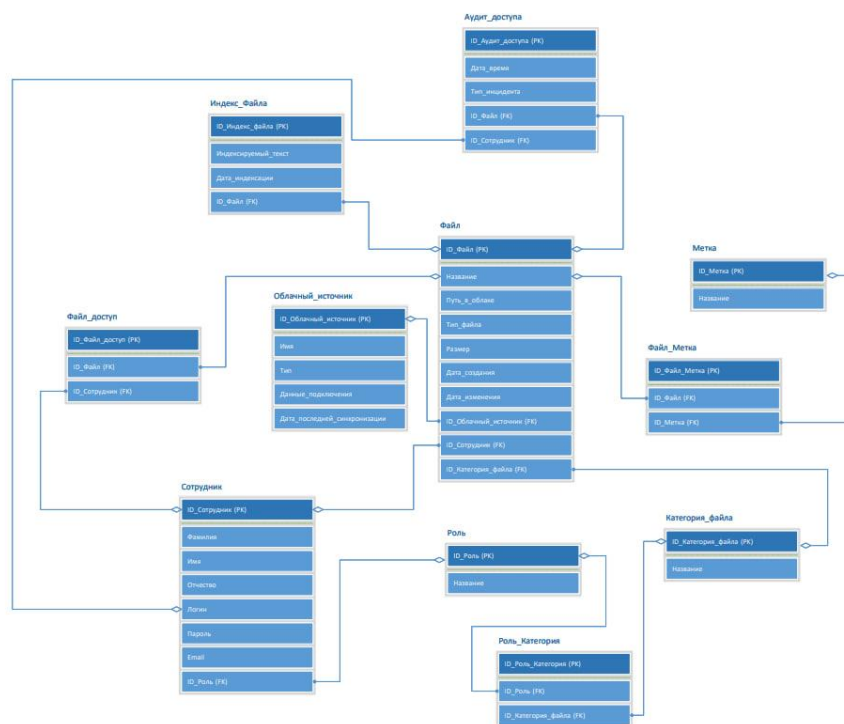


Рисунок 2 – Схема базы данных

Пользовательский интерфейс разработан с использованием WPF, что позволило реализовать современный и интуитивно понятный интерфейс с разделением на вкладки в зависимости от роли пользователя. Все SQL-запросы являются параметризованными, что обеспечивает защиту от инъекций.

Алгоритм авторизации пользователя включает следующие этапы:

- получение логина и пароля от пользователя;
- выполнение параметризованного запроса к таблице сотрудников;
- при успешной авторизации – открытие главного окна с соответствующим набором функций согласно роли пользователя.

Алгоритм поиска цифрового актива представлен на рисунке 4.

Разработанная информационная система обеспечивает выполнение следующих функций:

- авторизация пользователей с проверкой учётных данных и возможностью переключения видимости пароля;
- полнотекстовый поиск по названию файла и содержимому;
- фильтрация по типу файла, категории и дате создания;
- сортировка результатов (по дате, названию, размеру);
- добавление файлов в избранное и просмотр избранного;
- автоматическое сохранение истории поисковых запросов (до 20 записей);
- цветовое разграничение локальных и облачных файлов;
- ведение журнала действий всех пользователей;
- регистрация инцидентов при попытках несанкционированного доступа;
- формирование отчётов и сводной информации для директора.

В системе реализованы следующие меры защиты информации:

- параметризованные SQL-запросы для предотвращения инъекций;
- маскирование вводимого пароля с использованием элемента PasswordBox с возможностью переключения видимости;
- разграничение прав доступа на уровне интерфейса;
- автоматическое логирование всех действий пользователей.

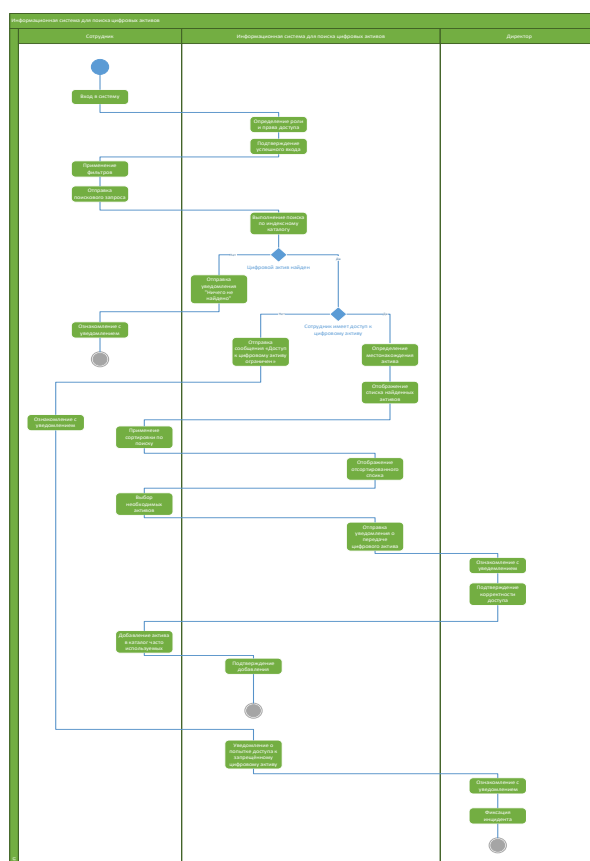


Рисунок 4 – Алгоритм поиска цифрового актива

Разработанная информационная система прошла функциональное тестирование. Проверена корректность авторизации для пользователей с различными ролями, выполнения операций поиска с различными фильтрами, добавления в избранное, сохранения истории запросов, переключения между вкладками «Поиск», «Избранное», «История», а также регистрации инцидентов при попытке доступа к запрещённому файлу. Система показала стабильную работу при одновременном подключении нескольких пользователей.

В таблице 1 приведено сравнение разработанной системы с существующими аналогами.

Таблица 1 – Сравнительный анализ информационных систем для поиска цифровых активов

Критерий	Разработанная система	Everything	SeedDMS	DocFetcher
Поиск по содержимому	+++	—	++	++
Разграничение прав доступа	+++	—	+++	—
Журнал действий и инцидентов	+++	—	++	—
Избранное и история запросов	+++	—	—	—
Поддержка локальных и облачных хранилищ	+++	+	+	—

В результате выполнения работы разработана информационная система для поиска цифровых активов, включающая клиентское приложение и базу данных. Система поддерживает четыре роли пользователей, обеспечивает полнотекстовый поиск с фильтрацией, сохранение истории запросов, избранное, разграничение прав доступа и полное логирование действий. Применение параметризованных запросов и ролевой модели гарантирует безопасность данных. Система готова к внедрению в деятельность медицинской организации «Медицина 31». Дальнейшие исследования будут направлены на разработку веб-версии системы и мобильного приложения для удалённого доступа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белов, П. Г. Управление рисками, системный анализ и моделирование : учебник для СПО / П. Г. Белов. – Москва, 2025. – 721 с. – Текст : непосредственный.
2. Волкова, В. Н. Моделирование систем и процессов. Практический курс : учебник для СПО / под ред. В. Н. Волковой. – Москва, 2025. – 295 с. – Текст : непосредственный.
3. Гниденко, И. Г. Технология разработки программного обеспечения : учебник для СПО / И. Г. Гниденко, Ф. Ф. Павлов, Д. Ю. Федоров. – 2-е изд. – Москва, 2025. – 248 с. – Текст : непосредственный.
4. Грекул, В. И. Проектирование информационных систем : учебник для СПО / В. И. Грекул, Н. Л. Коровкина, Г. А. Левочкина. – 2-е изд. – Москва, 2023. – 423 с. – Текст : непосредственный.
5. Григорьев, М. В. Проектирование информационных систем : учебник для СПО / М. В. Григорьев, И. И. Григорьева. – Москва, 2025. – 278 с. – Текст : непосредственный.

Стрекозова Валерия Константиновна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент инжинирингового колледжа

E-mail: 1655520@bsuedu.ru

Подпругин Александр Ильич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Ассистент кафедры прикладной информатики и информационных технологий

E-mail: podprugin@bsuedu.ru

УДК 004.89

*Научный руководитель:
Лысакова Татьяна Алексеевна,
старший преподаватель кафедры прикладной
информатики и информационных технологий,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

А.Н. ТРУФАНОВ
A.N. TRUFANOV

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ УЧЕТА ПОСЕЩАЕМОСТИ СТУДЕНТОВ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ИНЖЕНЕРИИ ЗНАНИЙ

FORMALIZATION OF THE SUBJECT AREA OF STUDENT ATTENDANCE TRACKING BASED ON KNOWLEDGE ENGINEERING METHODS

В статье рассматривается процесс формализации предметной области учета посещаемости студентов на основе методов инженерии знаний. Проведен анализ структуры предметной области, выделены ключевые сущности и установлены связи между ними. Построены концептуальная и функциональная модели системы учета посещаемости, а также представлена иерархия знаний, отражающая уровни обработки информации. Обоснована необходимость перехода от традиционных методов учета к формализованным моделям, обеспечивающим повышение эффективности анализа данных и принятия управленческих решений. Полученные результаты могут быть использованы при разработке интеллектуальных информационных систем в образовательной среде.

Ключевые слова: посещаемость студентов, инженерия знаний, формализация, информационная система, образовательный процесс.

This article examines the process of formalizing the domain of student attendance tracking using knowledge engineering methods. The structure of the domain is analyzed, key entities are identified, and relationships between them are established. Conceptual and functional models of the attendance tracking system are constructed, and a knowledge hierarchy reflecting the levels of information processing is presented. The necessity of transitioning from traditional tracking methods to formalized models, which ensure improved efficiency in data analysis and managerial decision-making, is justified. The results obtained can be used in the development of intelligent information systems in an educational environment.

Keywords: student attendance, knowledge engineering, formalization, information system, educational process.

В современных условиях цифровизации образования возрастает необходимость не только фиксации факта присутствия студентов на занятиях, но и комплексного анализа данных о посещаемости, выявления причин пропусков и принятия управленческих решений на их основе. При этом традиционные подходы к учету посещаемости, основанные на ведении журналов и ручной обработке информации, не обеспечивают достаточного уровня формализации и аналитической обработки данных.

Дополнительной проблемой является наличие множества факторов, влияющих на посещаемость: занятость студентов, отсутствие мотивации, особенности расписания, а также организационные и социальные причины [1]. Это приводит к необходимости системного подхода к анализу данной предметной области.

В этой связи актуальной задачей является применение методов инженерии знаний для формализации предметной области учета посещаемости студентов и построения структурированной модели, пригодной для дальнейшей автоматизации.

Процесс учета посещаемости включает множество участников и элементов: студентов, преподавателей, учебные группы, расписание занятий, а также различные формы фиксации посещаемости. Контроль посещаемости осуществляется на нескольких уровнях – от преподавателей и старост до дирекций и административных подразделений.

управленческом находятся расписание и подтверждающие документы, на аналитическом – расчет показателей посещаемости. Такая иерархия обеспечивает переход от первичных данных к аналитическим выводам (рисунок 2).

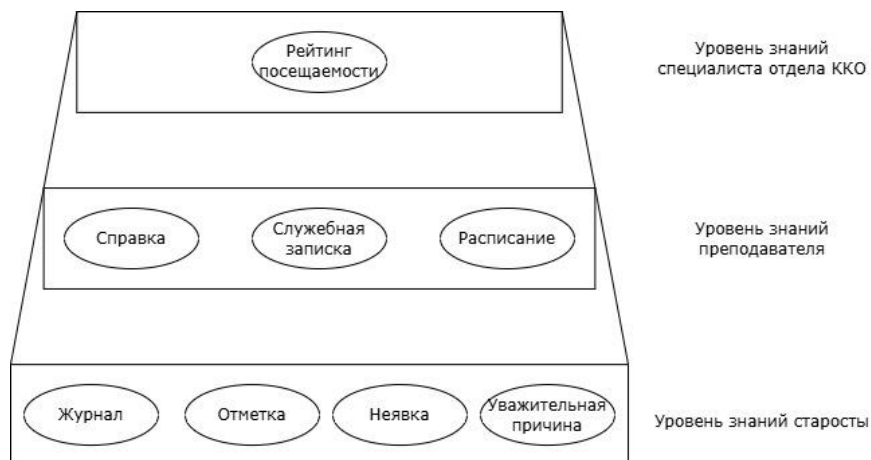


Рисунок 2 – Пирамида знаний

Функциональная модель описывает последовательность обработки информации в системе учета посещаемости.

Процесс включает проведение занятия в соответствии с расписанием и фиксацию посещаемости преподавателем или старостой. Затем происходит передача данных в административные подразделения, которые занимаются дальнейшей обработкой и анализом информации, на основе которой будут сформированы показатели посещаемости и отчетность.

Важной особенностью является наличие обратной связи: результаты анализа используются для корректировки образовательного процесса и принятия управленческих решений (рисунок 3).

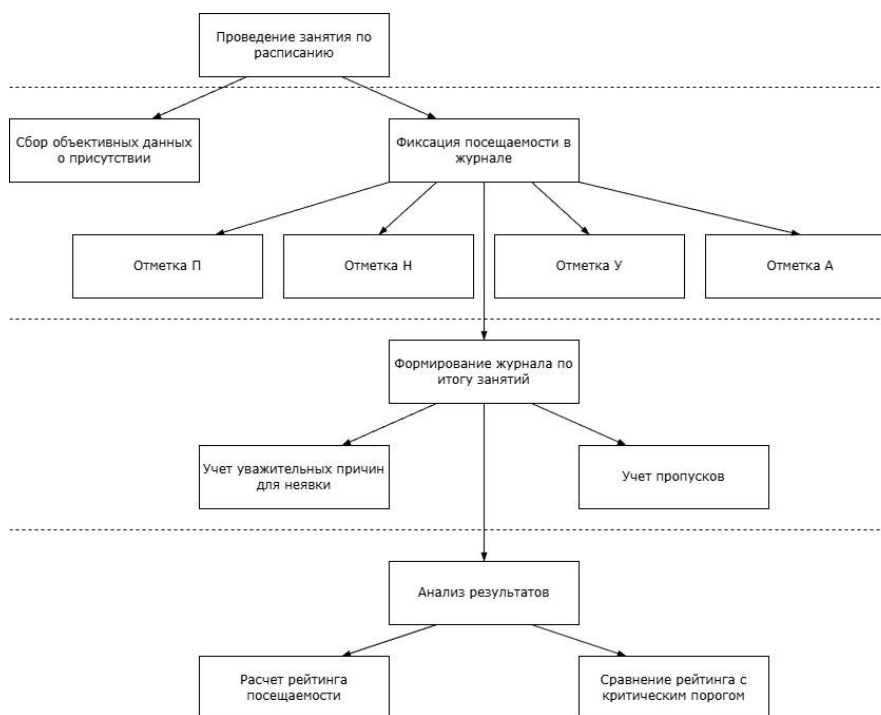


Рисунок 3 – Функциональная составляющая

Регулярный контроль посещаемости позволяет выявлять студентов с систематическими пропусками, анализировать динамику посещаемости и определять проблемные дисциплины, а также повышать эффективность учебного процесса в целом.

Формализованная модель предметной области может быть использована при разработке информационных систем учета посещаемости. Ее применение позволяет информатизировать процессы сбора и обработки данных, повысить точность учета посещаемости, обеспечить прозрачность информации для всех участников процесса, реализовать аналитические и прогнозные функции. Кроме того, формализация знаний создает основу для внедрения интеллектуальных систем, способных учитывать различные факторы и вырабатывать рекомендации по улучшению посещаемости.

В результате исследования была выполнена формализация предметной области учета посещаемости студентов на основе методов инженерии знаний.

Выделены ключевые сущности и связи между ними, построены концептуальная и функциональная модели, а также определена иерархия знаний. Полученные результаты позволяют перейти от разрозненных данных к структурированной системе знаний, обеспечивающей эффективный анализ и поддержку принятия решений. Практическая значимость работы заключается в возможности использования разработанной модели при создании современных информационных систем в образовательной сфере.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цедик, О.Д. Проблема посещаемости занятий в вузе / О. Д. Цедик, И. А. Машкова // Высшее техническое образование. – 2009. – №8. – С. 182-184.
2. Степкина, Л. В. Контроль посещаемости учебных занятий в вузе // Научные труды Московского гуманитарного университета. – 2019. – №5. – С. 73-78.

Труфанов Артем Николаевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры прикладной информатики и информационных технологий

E-mail: 1411140@bsuedu.ru

УДК 658.5:004.4

*Научный руководитель:
Федорова Надежда Владимировна,
старший преподаватель
кафедры информационных
и робототехнических систем,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

Е.А. ФЕДОРОВА
Е.А. FEDOROVA

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ БЫСТРЫХ ПЛАТЕЖЕЙ В КОРПОРАТИВНОМ СЕГМЕНТЕ: АНАЛИЗ ROI И NPV

ECONOMIC EFFICIENCY OF FAST PAYMENT SYSTEM IMPLEMENTATION IN THE CORPORATE SEGMENT: ROI AND NPV ANALYSIS

В условиях цифровизации финансового сектора внедрение системы быстрых платежей (СБП) для корпоративных клиентов становится стратегическим направлением развития банков. В статье на примере АО «Белгородсоцбанк» проводится оценка экономической эффективности интеграции СБП с использованием методов ROI, NPV и анализа затрат и выгод, что позволяет обосновать инвестиции и выявить ключевые эффекты для бизнеса.

Ключевые слова: быстрые платежи, B2B, экономическая эффективность, ROI, NPV, интеграция, банковские технологии, автоматизация.

In the context of digitalization of the financial sector, the implementation of the Fast Payment System (FPS) for corporate clients is becoming a strategic direction for bank development. Using the case of Belgorodsotsbank JSC, this article assesses the economic efficiency of FPS integration through ROI, NPV, and cost-benefit analysis, justifying investments and identifying key business impacts.

Keywords: fast payments, B2B, economic efficiency, ROI, NPV, integration, banking technologies, automation.

Активное развитие цифровых финансовых технологий и ужесточение требований к скорости и безопасности расчётов между юридическими лицами обуславливают необходимость внедрения Системы быстрых платежей (СБП) в корпоративном сегменте. Однако подобные проекты требуют значительных инвестиций, что делает оценку их экономической эффективности критически важной для принятия управленческих решений. В данной статье проводится комплексный анализ эффективности внедрения СБП с использованием методов ROI, NPV и анализа затрат и выгод, что позволяет не только обосновать целесообразность инвестиций, но и выявить ключевые операционные и финансовые улучшения, достигнутые в результате интеграции системы.

Для объективной оценки целесообразности внедрения Системы быстрых платежей в корпоративном сегменте применяется комплекс взаимодополняющих методик. Центральное место среди них занимают анализ рентабельности инвестиций (ROI) и метод дисконтирования денежных потоков с расчётом чистой приведённой стоимости (NPV). Первый позволяет получить наглядный показатель отдачи от вложенных средств в процентном выражении, отражая операционную эффективность. Второй метод, NPV, учитывает временную стоимость денег и даёт абсолютную оценку долгосрочной финансовой привлекательности проекта, дисконтируя будущие денежные потоки к текущему моменту. Эти подходы дополняются классическим анализом затрат и выгод, который служит основой для формирования исходных данных. Ключевым этапом является корректное планирование затрат, включающее не только прямые расходы на разработку или услуги вендоров, но и сопутствующие инвестиции в инфраструктуру, обучение и обеспечение безопасности. Схема разработки изображена на

рисунке 1, в которой каждый шаг представляет собой этап в процессе, а стрелки указывают направления движения от одного шага к следующему.



Рисунок 1 – Схема интеграции СБП в АБС для В2В транзакций

Стратегическим вопросом, напрямую влияющим на экономику проекта, является выбор между самостоятельной разработкой решения и использованием готовых решений от специализированных вендоров. Практический опыт показывает, что привлечение внешних экспертов, несмотря на первоначальные затраты, часто оказывается более рентабельным в средне- и долгосрочной перспективе. Это связано с сокращением сроков внедрения, снижением рисков технических ошибок и возможностью использования уже сертифицированных и отлаженных модулей. Сравнительный расчёт экономической эффективности (ЭЭ) по формуле $ЭЭ = РД / ЗД * 100\%$ (где РД – результат деятельности, ЗД – затраты) на трёхлетнем горизонте наглядно демонстрирует преимущество вендорского подхода.

Таблица 1 – Расчёты экономической эффективности проекта интеграции API системы быстрых платежей (СБП) своими силами и через вендоров

Год	Название показателя	Ед.изм.	Собственные разработки	Услуги вендоров
1	Экономическая эффективность	%	92,31	107,14
2	Экономическая эффективность	%	115,38	142,86
3	Экономическая эффективность	%	138,46	178,57

Как видно из таблицы, экономическая эффективность при работе с вендорами стабильно превышает аналогичный показатель собственной разработки, достигая к третьему году 178,57%. Это свидетельствует о более высокой отдаче на каждый вложенный рубль и формирует прочную финансовую основу для последующего расчёта ROI и NPV всего проекта в целом.

На основе данных о планируемых доходах и совокупных затратах, включающих выбор вендорского пути, проводится углублённый финансовый анализ. Затраты на реализацию проекта интеграции СБП в рассматриваемом случае были оценены в 10 миллионов рублей. Прогнозируемые доходы от внедрения системы за счёт новых комиссий, привлечения клиентов и оптимизации процессов составили 20, 25 и 30 миллионов рублей за первый, второй

и третий год соответственно. Расчёт рентабельности инвестиций (ROI) по формуле $ROI = (Доходы - Затраты) / Затраты$ даёт впечатляющие результаты: 100% в первый год, 150% во второй и 200% в третий. Такая динамика не только подтверждает полную окупаемость проекта уже по итогам первого года, но и указывает на его высокую прибыльность и эффективность управления.

Для оценки долгосрочной ценности проекта в условиях изменяющейся стоимости денег рассчитывается чистая приведённая стоимость (NPV). При ставке дисконтирования в 10%, отражающей альтернативную стоимость капитала и риски, и трёхлетнем горизонте планирования, NPV проекта составляет 61,37 миллиона рублей. Положительное и значительное значение NPV является однозначным индикатором экономической целесообразности и финансовой привлекательности инвестиций во внедрение СБП. Проект не только покрывает все издержки, но и генерирует substantialную дополнительную стоимость для банка. Сравнение скорости обработки транзакций до внедрения СБП и после представлена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Сравнение скорости обработки транзакций

Результаты расчёта ключевых финансовых показателей однозначно свидетельствуют о высокой экономической эффективности проекта интеграции Системы быстрых платежей для корпоративного сегмента. Значение ROI, превышающее 100% уже в первый год, демонстрирует способность проекта не только к самоокупаемости, но и к быстрому генерированию прибыли. Стабильный рост этого показателя в последующие периоды (до 200% к третьему году) подтверждает долгосрочный положительный эффект, выходящий за рамки разовой оптимизации.

Ещё более убедительным аргументом в пользу стратегических инвестиций является величина чистой приведённой стоимости (NPV). Результат в 61,37 миллиона рублей при первоначальных вложениях в 10 миллионов наглядно показывает, что проект создаёт значительную дополнительную стоимость, существенно превышающую его стоимость с учётом всех рисков и временной стоимости денег. Это преобразует внедрение СБП из статьи затрат в полноценный актив, повышающий общую рыночную стоимость финансового учреждения.

Практическая значимость таких результатов заключается в формировании чёткой финансовой аргументации для принятия управленческих решений. Расчёты ROI и NPV переводят дискуссию о цифровой трансформации из плоскости технологических возможностей в плоскость измеримой экономической выгоды. Они позволяют обосновать выделение бюджетов на ИТ-развитие, сравнить приоритетность различных проектов и привлечь инвестиции, демонстрируя конкретные финансовые перспективы.

Проведённый анализ на основе методологий ROI и NPV убедительно доказывает, что внедрение Системы быстрых платежей в сегменте B2B является экономически целесообразным и высокоэффективным инвестиционным проектом для современных банков. Основные финансовые выводы исследования заключаются в следующем. Во-первых, интеграция СБП обеспечивает быструю окупаемость и высокую рентабельность, значительно увеличивая доходность вложенного капитала. Во-вторых, проект создаёт существенную долгосрочную стоимость, что подтверждается значительной положительной чистой приведённой стоимостью (NPV).

Ключевым фактором, влияющим на достижение таких результатов, является выбор оптимального пути интеграции, где использование решений проверенных технологических вендоров, как показал сравнительный анализ, зачастую оказывается более рентабельным, чем самостоятельная разработка. Экономический эффект проявляется не только в прямом увеличении доходов от транзакций, но и в косвенной выгоде: сокращении операционных расходов за счёт автоматизации, минимизации рисков и существенном повышении клиентской лояльности и конкурентного позиционирования банка на рынке.

Таким образом, внедрение быстрых платежей для корпоративных клиентов перестаёт быть исключительно технологическим вызовом и становится стратегической финансовой инициативой с ясными и измеримыми параметрами успеха. Представленные методики оценки и конкретные расчётные показатели служат надёжным инструментом для обоснования, планирования и контроля подобных проектов цифровой трансформации в банковской сфере.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алиев, М.М. Система быстрых платежей как инструмент оптимизации платежных процессов в финансовой системе России / М.М. Алиев, М.А. Мамедов, В.В. Рзаева, А.Х. Сафарли // Московский экономический журнал. – 2021. – № 7. – С. 439-451.
2. Система быстрых платежей. URL: <https://www.cbr.ru/PSystem/sfp/> (дата обращения 16.11.2025)
3. Система быстрых платежей ЦБ усилила требования к защите переводов. URL: https://www.rbc.ru/finances/03/01/2021/5fe48dd69a79477174009450?from=from_main_1 (дата обращения: 22.11.2025)
4. СБП: основные показатели. URL: https://www.cbr.ru/analytics/nps/sbp/4_2023/ (дата обращения: 22.11.2025)
5. Салаватуллина, А. Р. Перспективы развития системы быстрых платежей в Российской Федерации / А. Р. Салаватуллина, И. А. Абдуллина, Е.Д. Рыбачкова // XI Международный молодежный симпозиум по управлению, экономике и финансам. – 2022. – С. 323-327.
6. Развитие финансового сектора в условиях цифровой трансформации. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razvitiefinansovogo-sektora-v-usloviyah-tsifrovoy-transformatsii> (дата обращения: 10.11.2025).

Федорова Елизавета Алексеевна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: 1645712@bsuedu.ru

УДК 004.912

Научный руководитель:
Ильинская Елена Владимировна,
доцент кафедры прикладной информатики
и информационных технологий,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)

О.С. ФЕФЕЛОВ
O.S. FEFELOV

ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ DIGITAL TWINS OF THE TRANSPORT NETWORK

В статье раскрывается методология построения цифровых двойников транспортных сетей на основе гибридного искусственного интеллекта. Анализируются три слоя архитектуры: слияние гетерогенных данных с камер и GPS, физико-информированное нейросетевое моделирование потоков и обратная связь для управления светофорами. Трехуровневая архитектура решает проблему гетерогенности данных и ошибок долгосрочного прогноза. Обосновано, что ключевым экономическим эффектом внедрения является антихрупкость системы – способность становиться эффективнее после каждого сбоя, за счет обучения на ошибках модели.

Ключевые слова: цифровой двойник, транспортная инфраструктура, гибридное моделирование, физико-информированные нейронные сети, графовые нейронные сети, предскриптивная аналитика, управление транспортными потоками, искусственный интеллект.

The article reveals the methodology of building digital twins of transport networks based on hybrid artificial intelligence. Three layers of architecture are analyzed: merging heterogeneous data from cameras and GPS, physics-informed neural network modeling of flows, and feedback for traffic light control. The three-layer architecture solves the problem of data heterogeneity and long-term forecast errors. It is substantiated that the key economic effect of implementation is the anti-fragility of the system – the ability to become more efficient after each failure, due to learning from model errors.

Keywords: digital twin, transport infrastructure, hybrid modeling, physics-informed neural networks, graph neural networks, prescriptive analytics, traffic flow management, artificial intelligence.

Транспортная инфраструктура современного мегаполиса – это не просто асфальт, рельсы и светофоры. Это сложнейшая киберфизическая система, где переплетаются человеческие решения, погодные условия, аварии и миллионы индивидуальных маршрутов. Классические методы моделирования (например, микросимуляция в SUMO или Aimsun) сталкиваются с фундаментальной проблемой: они либо слишком медленные для реального времени, либо слишком грубые, чтобы уловить локальные возмущения.

Цифровой двойник (Digital Twin, DT) транспортной сети – это не просто 3D-карта и не просто аналитическая панель. Это динамическая, самообучающаяся реплика физической системы, которая обновляется с той же скоростью, с какой меняется реальность. Однако, в отличие от цифрового двойника турбины или здания, транспортная сеть обладает уникальным свойством: **нестационарностью связей**.

Сегодня улица работает как магистраль, завтра из-за перекрытия – как тупик. Именно это свойство делает создание полноценного DT транспортной сети одной из самых сложных инженерных задач 2020-х годов.

В этой статье мы рассмотрим архитектуру такого двойника, разберем математические компромиссы, на которые приходится идти разработчикам, и покажем, в практической реализации.

Большинство неудачных внедрений цифровых двойников в транспорте терпят крах из-за попытки создать единую монолитную модель. Такая модель не способна обновляться в темпе реального времени, поскольку каждый пересчет состояния требует перезапуска всей симуляции с нуля. В результате цифровой двойник постоянно отстаёт от реальности, превращаясь из оперативного инструмента в архивный отчёт.

Транспортный поток невозможно описать одной математической абстракцией: на магистралях он ведёт себя как жидкость, а на перекрёстках – как дискретные частицы. Попытка заставить одну модель работать на всех масштабах неизбежно приводит либо к вычислительной перегрузке, либо к потере критически важных локальных эффектов.

Корректная архитектура должна быть трехуровневой как показано на рисунке 1.

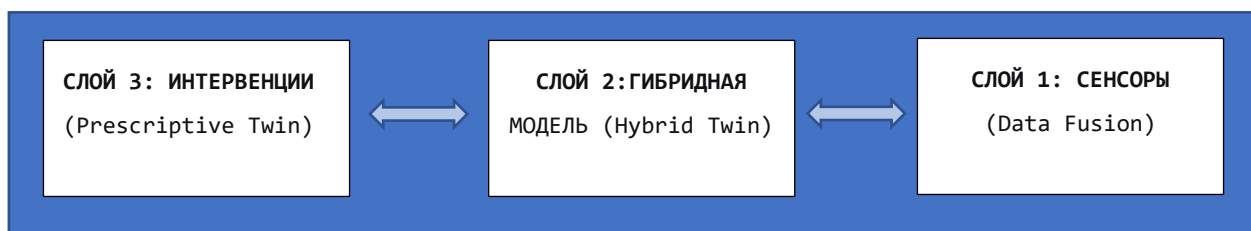


Рисунок 1 – Трехслойная архитектура цифрового двойника

Слой 1. Сенсорный (Data Fusion). Здесь ИИ решает обратную задачу: по разреженным данным (индукционные петли, GPS-треки, камеры, Bluetooth-маяки) восстановить полное состояние потока. Главный вызов – **гетерогенность данных**. GPS-трекер показывает скорость 60 км/ч, но камера фиксирует, что это автомобиль скорой помощи с проблесковыми маячками – его поведение исключается из модели «нормального трафика». Без слоя семантической фильтрации на основе сверточных нейросетей (CNN) цифровой двойник будет учиться на шумах.

Слой 2. Прогнозный (Hybrid Twin). Классические модели транспортного потока (например, модель LWR или теория трех фаз Кернера) хороши своей физической обоснованностью. Но они плохо справляются с редкими событиями: ДТП, внезапный ливень, концерт на стадионе. Чисто нейросетевые модели (LSTM, Transformers) отлично предсказывают обычный день, но дают абсурдные результаты в нештатных ситуациях.

Секрет рабочего цифрового двойника – гибриды. Нейросеть предсказывает поправочный коэффициент к классической модели. Например, физическая модель говорит: «затор рассеется через 15 минут». Гибридный блок GNN (Graph Neural Network) анализирует топологию прилегающих улиц и добавляет: «но из-за закрытия съезда на МКАД – через 40 минут». Такой подход снижает ошибку долгосрочного прогноза на 30-40% по сравнению с чисто физическими моделями [2].

Слой 3. Интервенционный (What-if Engine). Это главное отличие DT от простого дашборда. Оператор может задать вопрос: «Что будет, если мы переключим светофор на перекрестке А в режим «зеленая волна» для восточного направления?» Двойник не просто запускает симуляцию – он ищет **нелинейные эффекты второго порядка**. Например, улучшение на перекрестке А может создать пробку на перекрестке Б через 20 минут. Именно для этого слоя используется технология **каузального ИИ** (Causal AI), которая отличает корреляцию от причинности.

Самая недооцененная сложность при создании цифрового двойника транспортной сети – это выбор правильного зерна (granularity). Транспортная система одновременно является:

- дискретной (автомобили, светофоры, люди);
- непрерывной (поток, плотность, скорость как поле) [4].

Если оцифровать каждую машину (агентное моделирование), то для города с миллионом автомобилей потребуются экзафлопсные мощности. Если рассматривать только макротоки – теряется важнейший феномен «призрачных пробок» (jamitons), возникающих без видимой причины.

Современные цифровые двойники используют технику **Dynamic Resolution**. На магистралях без светофоров модель работает как континуум (уравнения гидродинамики). На перекрестках и в зонах слияния потоков автоматически переключается на агентный режим для 200-300 автомобилей вокруг «горячей точки». Искусственный интеллект (модуль Meta-

controller) сам решает, где и когда менять уровень детализации, отслеживая градиент энтропии потока. Если энтропия резко растет – включается детальный режим.

Настоящий цифровой двойник не должен расходиться с реальностью. В промышленности используется коррекция по Калману. В транспорте это работает плохо: если модель ошиблась в прогнозе количества машин на участке, просто «впрыснуть» виртуальные машины нельзя – нарушится сохранение потока.

Оригинальный подход, применяемый в лучших реализациях (например, в проекте Digital Twin для дорожной сети Нидерландов RWS): используется техника ассимиляции данных на основе физико-информированных нейронных сетей (PINNs). Сеть обучается так, чтобы ее решения автоматически удовлетворяли закону сохранения количества автомобилей. Когда GPS-данные говорят, что машин стало больше, чем предсказывает модель, PINN перераспределяет плотность, не создавая «машин из воздуха», а корректируя скорость волны разрежения.

Следующее поколение цифровых двойников не будет ждать команды оператора. Они будут выдавать готовые управляющие воздействия: изменить фазы светофоров, открыть резервную полосу, отправить сообщение в навигаторы. Здесь возникает риск коллапса: если 80% водителей используют один навигатор (например, Яндекс.Карты или Google Maps), а цифровой двойник города дает тому же навигатору рекомендацию, система становится детерминированной и нестабильной (эффект «стадного чувства»). Все поедут в объезд по одной улочке – и пробка возникнет там.

Парадокс цифрового двойника: идеальное предсказание убивает само себя, так как меняет поведение системы. Решение – внесение стохастического шума в рекомендации (рандомизированные алгоритмы управления).

Кому принадлежит цифровой двойник? Если модель города предсказывает, что пешеход перебежит дорогу в неположенном месте через 10 секунд, должна ли система мгновенно переключить светофор для автомобилей на красный? Это спасет пешехода, но создаст затор. Сегодня такие моральные дилеммы зашиваются в весовые коэффициенты функции полезности цифрового двойника. И здесь нет правильного ответа – есть только воля заказчика (муниципалитета или частной концессии).

Цифровой двойник транспортной сети – это не технология. Это методология управления неопределенностью. Полностью точной модели не будет никогда, и это нормально. Успех измеряется не совпадением прогноза с реальностью на 99%, а способностью системы удерживаться в безопасном коридоре даже при ошибке модели на 20%. Именно для этого транспортные инженеры будущего будут изучать не только математику потоков, но и теорию робастного управления.

Истинная ценность DT проявляется не в «волшебном» разрешении пробок, а в создании антихрупкой инфраструктуры – такой, которая становится лучше после стрессов и сбоев, потому что каждый сбой заносится в обучающую выборку двойника и никогда не повторится в том же виде.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Абрамова, Л.С. Анализ методов определения показателей безопасности дорожного движения / Л.С. Абрамова, В.В. Ширин, Г.Г. Птица // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – 2015, № 69. – С. 118-123.
2. Гавриленко, А.А. О перспективах использования нейросетей в аналитике безопасности дорожного движения // Современная наука. – 2024, № 4. – С. 8-11.
3. Жбанова, С.А. Основные направления совершенствования дорожной безопасности в условиях обеспечения национальной безопасности государства/ С.А. Жбанова // Современная наука. – 2021, № 5. – С. 34-37.
4. Лукьянов, В.В. Безопасность дорожного движения / В.В. Лукьянов. – М.: Транспорт, 2003. – 260 с.

5. Самойлов, Д.С. Организация и безопасность городского движения: учебник для вузов / Д.С. Самойлов, В.А. Юдин, П.В. Рушевский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1981 – 256 с.

Фефелов Олег Сергеевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Аспирант кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий

E-mail: fefelov@bsuedu.ru

*Научный руководитель:
Ломазов Вадим Александрович,
профессор кафедры прикладной
информатики и информационных,
технологий (Белгород, Россия)*

Д. ХЕМРАЕВ
D. HEMRAYEV

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФРЕЙМВОРКОВ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ ОРКЕСТРАЦИИ ДЛЯ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ ИТ-ХОСТИНГОМ И ИХ ИНТЕГРАЦИИ С ПРОТОКОЛОМ MCP

COMPARATIVE ANALYSIS OF MULTI-AGENT ORCHESTRATION FRAMEWORKS FOR IT HOSTING MANAGEMENT TASKS AND THEIR INTEGRATION WITH THE MCP PROTOCOL

В работе проведён сравнительный анализ трёх зрелых фреймворков мультиагентной оркестрации – CrewAI, LangGraph и AutoGen – применительно к задачам интеллектуальной поддержки принятия решений при управлении ИТ-хостингом. Рассмотрены архитектурные модели фреймворков (ролевая, графовая, диалоговая), поддержка ими открытого протокола Model Context Protocol (MCP), характеристики детерминированности выполнения, наблюдаемости и стоимости. Предложена матрица сравнения по восьми критериям, релевантным для хостинговой среды, и сформулированы рекомендации по выбору фреймворка для типовых сценариев: диагностики инцидентов, предиктивного масштабирования и аудита соответствия требованиям SLA.

Ключевые слова: мультиагентные системы, оркестрация, Model Context Protocol, CrewAI, LangGraph, AutoGen, ИТ-хостинг, AIOps, поддержка принятия решений.

The paper presents a comparative analysis of three mature multi-agent orchestration frameworks – CrewAI, LangGraph, and AutoGen – applied to intelligent decision support in IT hosting management. The architectural models (role-based, graph-based, conversation-based), support for the open Model Context Protocol (MCP), execution determinism, observability, and cost characteristics are examined. A comparison matrix over eight criteria relevant to the hosting environment is proposed, and recommendations are formulated for selecting a framework for typical scenarios: incident diagnosis, predictive scaling, and SLA compliance auditing.

Keywords: multi-agent systems, orchestration, Model Context Protocol, CrewAI; LangGraph, AutoGen, IT hosting, AIOps, decision support.

Введение

Современные хостинговые платформы функционируют в условиях высокой динамики: мультиоблачные конфигурации, микросервисные архитектуры и ужесточение требований соглашений об уровне сервиса (SLA) формируют среду, в которой традиционные методы администрирования и реактивного реагирования на инциденты становятся недостаточными. Ранее автором была предложена гибридная архитектура, объединяющая механизм Retrieval-Augmented Generation (RAG) и открытый протокол Model Context Protocol (MCP) для формирования замкнутого цикла «анализ – рекомендация – исполнение» [1-2]. Логическое развитие этого подхода состоит в переходе от единичного агента к мультиагентной системе со специализированными ролями: диагностика, планирование действий, оценка рисков, валидация соответствия требованиям безопасности и регуляторики.

В 2024–2026 гг. оформилось семейство программных фреймворков мультиагентной оркестрации: CrewAI, LangGraph и AutoGen. Каждый из них предлагает принципиально различную архитектурную модель взаимодействия агентов и обладает собственным уровнем зрелости поддержки MCP. Несмотря на активное развитие прикладных мультиагентных систем в сфере управления облаком [2-4], в доступной литературе отсутствует систематический сравнительный анализ указанных фреймворков по критериям, специфичным

для задач IT-хостинга. Настоящая работа направлена на восполнение этого пробела и формирование обоснованной базы для выбора фреймворка при проектировании систем интеллектуальной поддержки принятия решений.

Обзор существующих работ

Применение больших языковых моделей (LLM) и агентных архитектур к задачам управления облачной инфраструктурой стало самостоятельным направлением на стыке AIOps и генеративного искусственного интеллекта. Систематический обзор [5] фиксирует переход от классических методов обнаружения аномалий к гибридным агентным подходам, способным генерировать исполнимые рекомендации.

В работе [3] представлен фреймворк MOYA, реализующий мультиагентную оркестрацию с интеграцией RAG для автономной эксплуатации облака в продуктивной среде компании MontyCloud. В работе [4] предложен фреймворк AIOpsLab для стандартизированной оценки агентов на задачах обнаружения и устранения отказов в Kubernetes-кластерах. Публикация [5] формулирует общее видение использования LLM-агентов в качестве ассистентов DevOps-инженеров. Экспериментальное исследование [7] демонстрирует, что мультиагентная оркестрация обеспечивает 100 % применимых рекомендаций по устранению инцидентов против 1,7 % у одноагентного подхода при сопоставимой задержке порядка 40 с; это подтверждает производственную ценность мультиагентных архитектур именно по критерию качества, а не скорости. Работа [8] описывает фреймворк AgentMaster, в котором протокол MCP объединён с межагентным протоколом A2A.

Перечисленные исследования формируют методологический контекст, однако все они опираются на собственные прототипы или узкоспециализированные библиотеки, что затрудняет воспроизводимость и повторное использование. В промышленной практике выбор, как правило, делается между готовыми фреймворками общего назначения, чему и посвящён дальнейший анализ.

Архитектурные модели рассматриваемых фреймворков

CrewAI реализует ролевую модель: разработчик описывает агентов как членов команды («crew») с указанием роли, цели и набора доступных инструментов; взаимодействие между агентами опосредуется передачей результатов задач. Модель интуитивна для бизнес-процессов с чётким разделением ответственности, обеспечивает быстрое прототипирование, поддержка MCP реализована через конфигурационный URL MCP-сервера.

LangGraph базируется на модели направленного графа состояний: узлы графа представляют агентов или инструменты, рёбра – условные переходы, а глобальное состояние явно описывается схемой. Обеспечивается встроенное контрольное сохранение состояния (checkpointing), потоковая передача промежуточных результатов и наблюдаемость через LangSmith. MCP-инструменты интегрируются как полноправные узлы графа с поддержкой потокового ввода-вывода.

AutoGen (с 2026 г. в составе унифицированного Microsoft Agent Framework) использует диалоговую модель: агенты обмениваются асинхронными сообщениями в формате многоходового чата, координируемого шаблоном GroupChat. Подход удобен для сценариев коллегиального принятия решений и отладочного обсуждения между агентами; поддержка MCP реализована через подключаемые расширения.

Сравнительный анализ по критериям, релевантным для IT-хостинга

Для задач управления хостингом характерны специфические требования: необходимость строгого соответствия SLA, прозрачность цепочки принятия решений при аудите, возможность интеграции с инструментами мониторинга и оркестрации (Prometheus, Kubernetes API, Terraform) через единый протокол, а также контроль стоимости вычислений и рисков несанкционированных действий. Матрица сопоставления фреймворков по восьми критериям приведена в таблице 1. Оценки получены на основе публикаций [8-10,13-14] и собственного анализа автора.

Таблица 1 – Сравнение фреймворков по критериям, значимым для IT-хостинга

Критерий	CrewAI	LangGraph	AutoGen
Архитектурная модель	ролевая (crew)	графовая (DAG/FSM)	диалоговая (GroupChat)
Детерминированность выполнения	средняя	высокая	низкая
Поддержка MCP	через URL-конфиг	через адаптер, MCP-узлы графа	через расширения
Наблюдаемость и трассировка	базовая, сторонние средства	встроенная (LangSmith)	OpenTelemetry, Azure Monitor
Ожидаемые затраты на инференс	низкие/средние	средние	высокие (20+ вызовов на задачу)
Human-in-the-loop	ограниченный	развитый	базовый
Скорость прототипирования	высокая	средняя	средняя
Пригодность для регуляторного аудита	ограниченная	высокая	средняя

Предлагаемые метрики количественной оценки

Для формализации сравнения фреймворков в задачах управления хостингом предлагается использовать следующие количественные метрики.

Коэффициент успешности (Success Rate, SR) – доля тестовых сценариев, в которых система сгенерировала корректное и исполнимое управляющее воздействие:

$$SR = \frac{T_{success}}{T_{total}} \times 100\%, \quad (1)$$

где $T_{success}$ – количество успешно разрешённых инцидентов, T_{total} – общее число тестовых сценариев.

Среднее время до разрешения (Mean Time to Resolution, MTTR) – среднее время от возникновения инцидента до формирования исполнимой рекомендации:

$$MTTR = \frac{1}{T_{success}} \sum_{i=1}^{T_{success}} (t_{end,i} - t_{start,i}), \quad (2)$$

где $t_{end,i}$ и $t_{start,i}$ – моменты завершения и начала обработки i -го инцидента соответственно.

Стоимость выполнения задачи (Cost per Task, CPT) – суммарная стоимость вызовов LLM для обработки одного инцидента:

$$CPT = \sum (tokens_{input} \times price_{input} + tokens_{output} \times price_{output}) \quad (3)$$

Иллюстративный пример на синтетических данных

Для демонстрации применимости предложенных метрик выполнено модельное сравнение фреймворков на синтетическом наборе из 100 тестовых сценариев, типичных для хостинговой среды: «Отказ пода Kubernetes», «Переполнение диска», «Ошибка конфигурации сети». Каждый фреймворк получал идентичное описание инцидента и набор MCP-инструментов; в качестве базовой LLM использовалась модель GPT-4o. Результаты приведены в таблице 2.

Следует подчеркнуть, что представленные данные носят иллюстративный характер и предназначены для демонстрации методики оценки, а не для окончательного ранжирования фреймворков. Полноценная экспериментальная валидация на реальной инфраструктуре запланирована как следующий этап исследования.

Полученные модельные результаты согласуются с архитектурными характеристиками фреймворков: LangGraph демонстрирует наилучшие показатели SR и MTTR благодаря детерминированному графу состояний, исключающему «зацикливание» агентов; CrewAI показывает умеренный MTTR при невысокой стоимости за счёт линейной передачи

результатов между ролями; AutoGen имеет наибольшее число итераций и наивысшую стоимость вследствие многоходовых диалогов, однако потенциально может превосходить альтернативы в сложных, слабоструктурированных сценариях, требующих коллективного рассуждения агентов [7].

Таблица 2 – Результаты модельного сравнения на синтетических сценариях (N = 100)

Метрика	CrewAI (ролевая)	LangGraph (графовая)	AutoGen (диалоговая)
Success Rate (SR), %	78	92	85
MTTR, с	120	85	150
CPT, USD	0,12	0,08	0,25
Кол-во итераций (avg)	4,2	3,1	6,8

Рекомендации по выбору фреймворка для типовых сценариев хостинга

На основе проведённого анализа сформулированы следующие рекомендации. Для сценариев диагностики инцидентов и формирования рекомендаций по их устранению, где критически важна воспроизводимость результата и возможность аудита цепочки решений, предпочтителен LangGraph: явная модель состояния и checkpointing обеспечивают как требование детерминированности, так и соответствие требованиям SLA. Для сценариев предиктивного масштабирования кластеров Kubernetes, где агенты играют чётко разграниченные роли (мониторинг, прогнозирование нагрузки, принятие решения о масштабировании, выполнение через MCP-сервер), целесообразно использовать CrewAI: ролевая модель естественно отображается на процесс, а низкие накладные расходы на инференс позволяют применять систему в режиме, близком к реальному времени.

AutoGen наиболее оправдан в задачах, допускающих офлайн-обработку и требующих коллегиального обсуждения между агентами: аудит архитектурных решений, ретроспективный анализ серии инцидентов, подготовка отчётов о соответствии требованиям GDPR и ISO 27001. Более высокая стоимость инференса в этих сценариях компенсируется глубиной проработки результата.

Во всех случаях взаимодействие с инфраструктурой хостинга целесообразно унифицировать через протокол MCP: MCP-серверы инкапсулируют вызовы к Kubernetes API, Terraform, Prometheus и системам управления инцидентами, что разрешает известную проблему $M \times N$ интеграций сведением её к $M + N$ подключений [12]. Такой подход обеспечивает переносимость логики между фреймворками: при смене оркестратора набор MCP-серверов сохраняется.

Заключение

Результаты сравнительного анализа показывают, что универсального фреймворка, одинаково эффективного для всех задач управления IT-хостингом, не существует. Выбор инструмента определяется спецификой решаемых задач и требованиями к системе. Так, CrewAI целесообразно использовать для быстрого прототипирования и сценариев с чётко определённым распределением ролей. LangGraph обеспечивает более строгий контроль состояния и потому предпочтителен в производственных системах, где критичны вопросы аудита и воспроизводимости процессов. AutoGen, в свою очередь, демонстрирует наибольшую эффективность в задачах, предполагающих кооперативное рассуждение и совместную выработку решений. Поддержка протокола MCP всеми рассмотренными фреймворками создаёт основу для унификации взаимодействия с инфраструктурными инструментами и упрощает перенос бизнес-логики между различными технологическими стеками.

Дальнейшая работа будет направлена на экспериментальную проверку указанных подходов в условиях реального дата-центра. Планируется использовать единый набор типовых сценариев управления хостингом с последующей оценкой качества рекомендаций, задержек обработки и стоимости инференса. Отдельным направлением станет разработка специализированных MCP-серверов, ориентированных на интеграцию с отечественными системами мониторинга и оркестрации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хемраев, Д. Гибридная архитектура интеграции RAG и MCP для интеллектуальной поддержки принятия решений в IT-хостинге / Д. Хемраев // Горинские чтения. Инновационные решения для АПК : Материалы VII Международной студенческой научной конференции, Майский, 25–27 февраля 2026 года. – Майский: ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2026
2. Хемраев, Д. Интеллектуальная поддержка управленческих решений в it-хостинге на основе базы знаний и больших языковых моделей с использованием RAG-подхода / Д. Хемраев // Горинские чтения. Инновационные решения для АПК : Материалы VII Международной студенческой научной конференции, Майский, 25–27 февраля 2025 года. – Майский: ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2025. – С. 173-174. – EDN KPFBSJ.
3. Parthasarathy, K. Engineering LLM Powered Multi-agent Framework for Autonomous CloudOps / K. Parthasarathy [et al.]. – Текст: электронный // arXiv preprint arXiv:2501.08243. – 2025. – URL: <https://arxiv.org/abs/2501.08243> (дата обращения: 10.04.2026).
4. Shetty, M. Building AI Agents for Autonomous Clouds: Challenges and Design Principles / M. Shetty [et al.]. – Текст: непосредственный // ACM Symposium on Cloud Computing (SoCC). – 2024.
5. Yang, Z. Cloud Infrastructure Management in the Age of AI Agents / Z. Yang [et al.]. – Текст: непосредственный // ACM SIGOPS Operating Systems Review. – 2025. – Vol. 59. – P. 1–8.
6. Zhang, L. A Survey of AIOps in the Era of Large Language Models / L. Zhang, T. Jia, M. Jia [et al.]. – Текст: непосредственный // ACM Computing Surveys. – 2025. – Vol. 58, № 2. – DOI 10.1145/3746635.
7. Drammeh, P. Multi-Agent LLM Orchestration Achieves Deterministic, High-Quality Decision Support for Incident Response / P. Drammeh. – Текст: электронный // arXiv preprint arXiv:2511.15755. – 2025. – URL: <https://arxiv.org/abs/2511.15755> (дата обращения: 10.04.2026).
8. Liao, C. C. AgentMaster: A Multi-Agent Conversational Framework Using A2A and MCP Protocols / C. C. Liao, D. Liao, S. S. Gadiraju. – Текст: электронный // arXiv preprint arXiv:2507.21105. – 2025. – URL: <https://arxiv.org/abs/2507.21105> (дата обращения: 10.04.2026).
9. CrewAI Documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.crewai.com/> (дата обращения: 10.04.2026). – Текст: электронный.
10. LangGraph Documentation [Электронный ресурс] / LangChain Inc. – Режим доступа: <https://langchain-ai.github.io/langgraph/> (дата обращения: 10.04.2026). – Текст: электронный.
11. Microsoft Agent Framework (AutoGen) Documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://microsoft.github.io/autogen/> (дата обращения: 10.04.2026). – Текст: электронный.
12. Model Context Protocol Specification [Электронный ресурс]. – Version 2025-11-25. – Режим доступа: <https://modelcontextprotocol.io/specification/> (дата обращения: 10.04.2026). – Текст: электронный.
13. Хемраев, Д. Использование open source решений для автоматизации и интеграции бизнес-процессов на примере Odoo фреймворка / Д. Хемраев, В. В. Серебровский, И. Г. Быканов. – Текст: непосредственный // Научный результат. Информационные технологии. – 2025. – Т. 10, № 1. – С. 38–46.
14. Винтаев, В. Н. Теоретические положения и средства исследования эффективности ИТ-проектов по управлению ИТ-инфраструктурой предприятия на основе системного подхода / В. Н. Винтаев, В. А. Ломазов, В. С. Нехотина. – Белгород : Белгородский университет кооперации, экономики и права, 2019. – 95 с.

Хемраев Дессан

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Аспирант кафедры прикладной информатики и информационных технологий

E-mail: dessanhemrayev@gmail.com

УДК 004.9

*Научный руководитель:
Ломазов Вадим Александрович,
профессор кафедры
прикладной информатики и
информационных технологий,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

**В.А. ЧЕБОТАРЕВ
V.A. CHEBOTAREV**

АНАЛИЗ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ АППАРАТА СЕТЕЙ ПЕТРИ ANALYSIS OF SIMULATION SOFTWARE BASED ON PETRI NETS

В статье представлен сравнительный анализ программных средств имитационного моделирования на основе сетей Петри. Рассмотрены инструменты CPN Tools, PIPE, TAPAAL, AnyLogic, Petri.Net Simulator 2. Сформирована система из пяти критериев, учитывающая специфику моделирования процессов технического обслуживания и ремонта сложных технических систем (на примере посевного комплекса). Для многокритериального сравнения применен метод анализа иерархий, реализованный в системе поддержки принятия решений «Решение». Определены веса критериев, локальные и глобальные приоритеты альтернатив, проверена согласованность экспертных оценок. Наибольший глобальный приоритет получен для CPN Tools.

Ключевые слова: сети Петри, имитационное моделирование, метод анализа иерархий, СППР «Решение», CPN Tools, PIPE, TAPAAL, AnyLogic, Petri.Net Simulator 2, техническое обслуживание и ремонт, посевной комплекс.

The article presents a comparative analysis of simulation software tools based on Petri nets. The tools CPN Tools, PIPE, TAPAAL, AnyLogic, and Petri.Net Simulator 2 are considered. A system of five criteria is formed, taking into account the specifics of modeling maintenance and repair processes of complex technical systems (using the example of a sowing complex). For multi-criteria comparison, the analytic hierarchy process implemented in the decision support system "Reshenie" is applied. The weights of the criteria, local and global priorities of the alternatives are determined, and the consistency of expert assessments is verified. The highest global priority is obtained for CPN Tools.

Keywords: Petri nets, simulation modeling, analytic hierarchy process, DSS "Reshenie", CPN Tools, PIPE, TAPAAL, AnyLogic, Petri.Net Simulator 2, maintenance and repair, sowing complex.

Сети Петри – математический аппарат для моделирования параллельных и асинхронных систем [1, 2]. Они активно применяются для построения имитационных моделей процессов обслуживания и ремонта (ТОиР) сложных технических систем, позволяя оценивать остаточный ресурс агрегатов, оптимизировать периодичность ремонтов и снижать риски отказов [3, 4].

Для практической работы разработано множество программных средств (CPN Tools, PIPE, TAPAAL, AnyLogic, Petri.Net Simulator 2 и др.), различающихся по поддержке расширений сетей Петри (временные, стохастические, иерархические, раскрашенные), кроссплатформенности, удобству интерфейса и лицензионной доступности [2].

Таким образом, актуальной задачей является обоснованный выбор программного средства для моделирования ТОиР сложных систем [3, 4]. Данный выбор сопряжен с учетом множества противоречащих критериев и требует применения формальных методов многокритериального анализа, например, метода анализа иерархий (МАИ) Т. Саати.

Цель работы – многокритериальный сравнительный анализ наиболее распространенных программных средств имитационного моделирования на основе сетей Петри (с ориентацией на ТОиР сложных систем) с использованием МАИ.

Задачи: сформировать систему критериев; отобрать альтернативы; построить матрицы парных сравнений; рассчитать приоритеты и проверить согласованность; интерпретировать результаты и дать рекомендации.

Для проведения многокритериального сравнительного анализа были отобраны программные средства, наиболее часто упоминаемые в профильных обзорных публикациях и активно используемые в научно-исследовательской и образовательной практике моделирования систем на основе сетей Петри. Отбор осуществлялся с учетом полноты функциональных возможностей, документированности, доступности для исследователя и репрезентативности в литературе.

CPN Tools (Coloured Petri Nets Tools) представляет собой программную среду для работы с иерархическими временными раскрашенными сетями Петри (Coloured Petri Nets, CPN). Разработка ведется исследовательской группой Университета Орхуса (Дания). Программное обеспечение распространяется на условиях свободной лицензии с открытым исходным кодом.

Функциональные возможности CPN Tools включают:

- создание иерархических CPN-моделей с поддержкой временных расширений;
- верификацию свойств сети (ограниченность, живость, достижимость);
- экспорт моделей в формат PNML (Petri Net Markup Language);
- расширение функционала посредством модулей на языке Java.

Ограничениями CPN Tools являются: поддержка только операционной системы Windows (запуск на Linux и macOS возможен лишь через эмуляцию), а также специфический графический интерфейс, требующий дополнительного времени на освоение [5].

PIPE – кроссплатформенное приложение с открытым исходным кодом, разрабатываемое с 2003 года на кафедре вычислительной техники Имперского колледжа Лондона. Инструмент реализован на языке Java, что обеспечивает его функционирование в средах Windows, Linux и macOS при наличии виртуальной машины Java (JVM).

PIPE поддерживает следующие возможности:

- редактирование и моделирование обобщенных стохастических сетей Петри (Generalised Stochastic Petri Nets, GSPN);
- использование запрещающих (ингибиторных) дуг и весовых коэффициентов дуг;
- построение матриц инцидентности и дерева достижимых разметок;
- оценку свойств сети (ограниченность, живость, наличие конфликтов);
- подключение пользовательских модулей (плагинов) для расширения функциональности;
- импорт и экспорт моделей в формате PNML.

Недостатком PIPE является отсутствие встроенной поддержки раскрашенных и иерархических сетей Петри, что ограничивает его применение для соответствующих классов задач.

TAPAAL (Timed-Arc Petri Net Analysis and ALgorithmics) – инструмент для верификации временных сетей Петри с синхронизированными дугами (Timed-Arc Petri Nets, TAPN). Разработан в Университете Ольборга (Дания), распространяется свободно с открытым исходным кодом. Программный продукт написан с использованием языков C++ и Java, что обеспечивает кроссплатформенность.

Основные функциональные характеристики TAPAAL:

- графическое редактирование TAPN-моделей (графический интерфейс наследован от проекта PIPE);
- имитационное моделирование поведения сети;
- формальную верификацию свойств, выраженных в темпоральной логике CTL (Computation Tree Logic);
- анализ достижимости разметок, ограниченности и живости;
- поддержку ингибиторных дуг и задание временных интервалов на дугах.

Ограничением TAPAAL является узкая специализация на временных сетях Петри; поддержка раскрашенных и иерархических расширений отсутствует.

AnyLogic – коммерческая платформа для имитационного моделирования, разрабатываемая компанией The AnyLogic Company. Платформа поддерживает три парадигмы моделирования: дискретно-событийное, агентное и системную динамику. AnyLogic написан на языке Java (среда разработки Eclipse) и является кроссплатформенным.

Сети Петри не являются встроенным формализмом в AnyLogic. Для их использования требуется подключение дополнительных библиотек или ручная реализация эквивалентных моделей средствами дискретно-событийного подхода.

Преимущества платформы:

- наличие бесплатной версии для образовательных целей;
- интуитивно понятный графический интерфейс;
- возможность изменения параметров модели в процессе выполнения;
- наглядная визуализация и анимация моделируемых процессов.

Недостатком является отсутствие специализированной поддержки сетей Петри, что увеличивает трудоемкость построения и верификации СП-моделей по сравнению со специализированными инструментами.

Petri.Net Simulator 2 – приложение, разработанное для имитационного моделирования гибких производственных систем с использованием сетей Петри. Инструмент может также применяться для моделирования других классов дискретно-событийных систем.

Особенности симулятора:

- распределение настроек и функций по прикрепляемым окнам, что обеспечивает структурированность интерфейса;
- поддержка временных задержек срабатывания позиций;
- наличие редактора правил (Rules Editor), позволяющего на основе логических условий изменять маркировку без изъятия фишек из входных позиций;
- возможность задания весовых коэффициентов и приоритетов переходов для разрешения конфликтов;
- поддержка ингибиторных дуг;
- группировка элементов в иерархические блоки («черные ящики»).

При формировании системы критериев учитывалась целевая направленность – моделирование ТОиР сложных систем (на примере посевного комплекса). Выделены пять критериев.

Поддержка расширений СП для ТОиР (K1). Необходимы временные, стохастические, иерархические, раскрашенные расширения и ингибиторные дуги [1, 3].

Учет ресурсных ограничений и очередей (K2). Позволяет задавать количество ремонтных бригад, запчастей, дисциплины очередей.

Интеграция с данными мониторинга и расчет остаточного ресурса (K3). Важно для прогнозного обслуживания: импорт данных, функции деградации, условные переходы.

Удобство построения иерархических моделей (K4). Создание вложенных сетей, навигация, библиотеки подсетей.

Открытость и совместимость для цифровых двойников (K5). API, поддержка PNML, экспорт данных, открытая лицензия.

Для решения задачи многокритериального выбора программного средства моделирования сетей Петри, предназначенного для анализа процессов ТОиР сложных технических систем, применен МАИ, разработанный Т. Саати. Данный метод позволяет структурировать проблему выбора, выполнить попарные сравнения альтернатив по выделенным критериям и получить числовые приоритеты.

Для выполнения сравнительного анализа была использована система поддержки принятия решений (СППР) «Решение» [6]. Использование СППР позволило автоматизировать процесс построения матриц парных сравнений, расчет локальных и глобальных приоритетов, а также проверку согласованности экспертных оценок.

На первом этапе построена иерархия, включающая три уровня (рисунок 1).

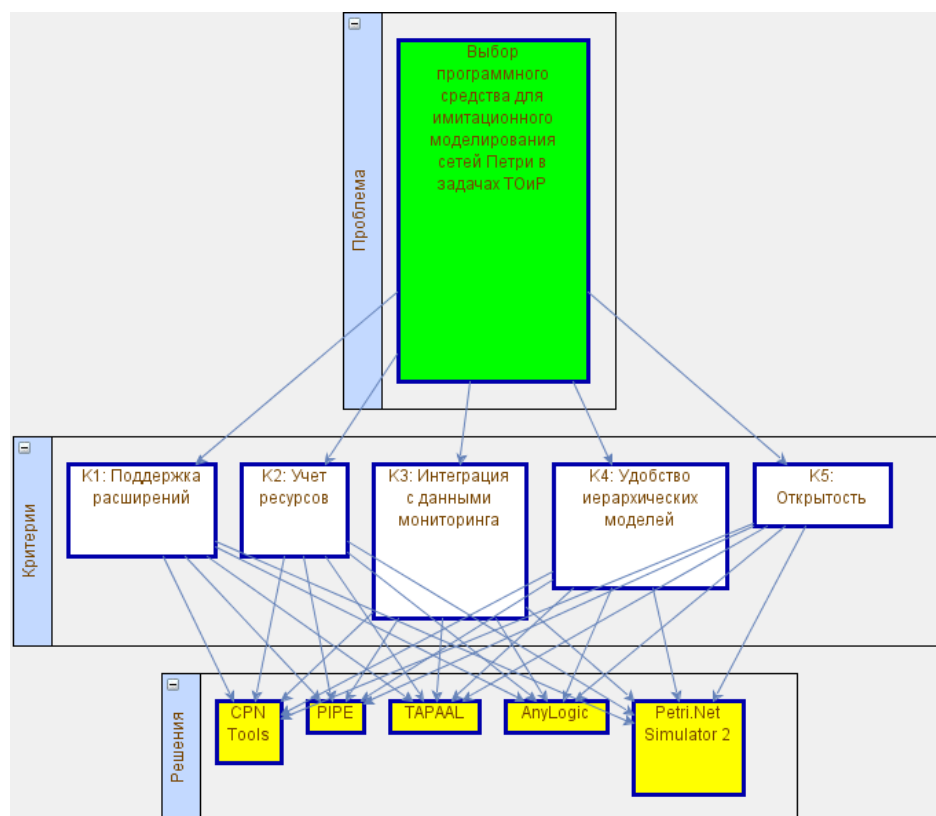


Рисунок 1 – Иерархия критериев и альтернатив

Для каждого уровня иерархии строятся квадратные матрицы, в которых на пересечении строки i и столбца j записывается результат сравнения элемента i с элементом j .

Пример матрицы парных сравнений для критериев (размер 5×5) приведен на рисунке 2. Значения получены на основе экспертных оценок и данных литературных источников [2, 5].

Сравнение критериев						
	1.	2.	3.	4.	5.	Приоритеты
1. K1: Поддержка расширений	1/1	2/1	2/1	3/1	4/1	0,377
2. K2: Учет ресурсов	1/2	1/1	2/1	2/1	3/1	0,248
3. K3: Интеграция с данными мониторинга	1/2	1/2	1/1	2/1	2/1	0,174
4. K4: Удобство иерархических моделей	1/3	1/2	1/2	1/1	2/1	0,121
5. K5: Открытость	1/4	1/3	1/2	1/2	1/1	0,080
СЗ: 5,083 ИС: 0,021 ОС: 0,019						
* Для сравнения критериев двойной клик на ячейке матрицы сравнения						
OK Cancel						

Рисунок 2 – Матрица парных сравнений

Аналогичные матрицы строятся для каждой альтернативы по каждому критерию. (таблица 1).

Таблица 1 – Сравнение альтернатив по критериям

Альтернатива/Критерий	K1	K2	K3	K4	K5
CPN Tools	0,496	0,159	0,295	0,431	0,174
PIPE	0,138	0,241	0,082	0,084	0,377
TAPAAL	0,193	0,097	0,120	0,054	0,248
AnyLogic	0,087	0,345	0,446	0,278	0,080
Petri.Net Simulator 2	0,087	0,159	0,057	0,153	0,121
ОС	0,013	0,021	0,057	0,013	0,019

Значение ОС (отношения согласованности) не должно превышать 0,10. В нашем случае все матрицы критериев свидетельствуют о хорошей согласованности экспертных оценок.

Глобальный приоритет каждой альтернативы вычисляется как взвешенная сумма ее локальных приоритетов по всем критериям с весами, равными приоритетам критериев. На рисунке 3 представлены результаты синтеза в виде диаграммы.

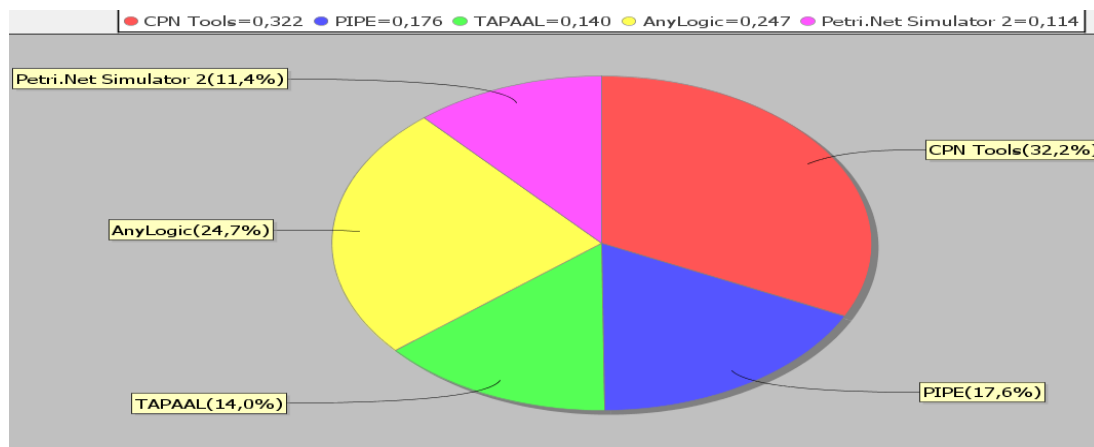


Рисунок 3 – Приоритетность вариантов программных средств

Как видно из рисунка 3, максимальный глобальный приоритет получил CPN Tools – благодаря наиболее полной поддержке расширений сетей Петри (временные, стохастические, иерархические, раскрашенные) и мощным средствам анализа. Это позволяет рекомендовать CPN Tools для построения имитационных моделей ТООР посевного комплекса и аналогичных сложных технических систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Питерсон, Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем / Дж. Питерсон. – Москва: Мир, 1984. – 264 с.
2. Матющенко, А.А. Обзор программных средств моделирования сетей Петри / А.А. Матющенко // Автоматизация технологических и бизнес-процессов. – 2015. – Т. 7, № 3(23). – С. 68-71. – DOI 10.15673/2312-3125.4/2015.50435.
3. Орлов, С.П. Имитационные модели на сетях Петри для анализа процессов обслуживания и ремонта сложных технических систем / С.П. Орлов, С.В. Сусарев // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. – 2022. – Т. 30, № 4(76). – С. 49-75. – DOI 10.14498/tech.2022.4.4.
4. Кирьянчиков, В.А. Анализ эффективности и надежности вычислительных систем на основе стохастических сетей Петри / В.А. Кирьянчиков // Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ. – 2020. – № 8-9. – С. 5-10.
5. Кулагин, В.П. Анализ программных средств для работы с сетями Петри / В.П. Кулагин, А.А. Логинов // Информационные технологии. – 2021. – Т. 27, № 2. – С. 89-96. – DOI 10.17587/it.27.89-96.
6. Ломакин, В.В. Система поддержки принятия решений с автоматизированными средствами корректировки суждений экспертов / В.В. Ломакин, М.В. Лифиренко // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. – 2014. – № 1(172). – С. 114-120.

Чеботарев Вячеслав Алексеевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Аспирант кафедры прикладной информатики и информационных технологий

E-mail: 1319286@bsuedu.ru

УДК 004.45:656.073

*Научный руководитель:
Подпругина Ирина Вячеславовна,
старший преподаватель кафедры
прикладной информатики
и информационных технологий,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

Д.А. ЧЕРНОМУРОВА, А.И. ПОДПРУГИН
D.A. CHERNOMUROVA, A.I. PODPRUGIN

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ МЕБЕЛЬНОГО МАГАЗИНА DEVELOPMENT OF AN INFORMATION SYSTEM FOR A FURNITURE STORE

В статье рассматривается вопрос автоматизации процессов учета и управления мебельным магазином на основе информационной системы. Проведён анализ существующих решений, выявлены их недостатки. Разработана информационная система, поддерживающая работу с несколькими ролями пользователей: продавец, проектировщик, кладовщик и бухгалтер. Система реализована на платформе «1С:Предприятие 8.3» с использованием конфигурации «Управление продажами мебели». Приведены логическая и физическая модели базы данных в Microsoft SQL Server, описание архитектуры системы и основные сценарии работы. Выполнена оценка эффективности внедрения разработанной системы.

Ключевые слова: информационная система; мебельный магазин; автоматизация; 1С:Предприятие; SQL Server; управление продажами; проектирование мебели; разграничение прав доступа.

The article discusses the issue of automating the accounting and management processes of a furniture store based on an information system. An analysis of existing solutions has been conducted, and their shortcomings have been identified. An information system has been developed that supports multiple user roles, including sales representative, designer, storekeeper, and accountant. The system is implemented on the 1C:Enterprise 8.3 platform using the "Furniture Sales Management" configuration. The article presents the logical and physical database models in Microsoft SQL Server, describes the system architecture, and outlines the main work scenarios. The effectiveness of the developed system has been evaluated.

Keywords: information system; furniture store; automation; 1C:Enterprise; SQL Server; sales management; furniture design; access rights management.

В современных условиях рынок розничной торговли мебелью характеризуется высокой конкуренцией и необходимостью оперативной обработки большого объема информации, связанной с оформлением заказов, отслеживанием остатков на складе и ведением индивидуальных проектов. Традиционные методы управления с использованием бумажного документооборота не позволяют эффективно решать задачи координации между отделами. В связи с этим актуальной является задача разработки информационной системы для мебельного магазина.

Целью работы является разработка информационной системы для мебельного магазина, обеспечивающей автоматизацию основных бизнес-процессов.

При выполнении работы использованы методы системного анализа, объектно-ориентированного проектирования, теории баз данных. В качестве среды разработки выбрана платформа «1С:Предприятие 8.3». Для взаимодействия с базой данных использована СУБД Microsoft SQL Server.

В ходе работы спроектирована реляционная база данных, содержащая следующие основные таблицы: Номенклатура (готовая мебель), Материалы (расходные материалы), Фурнитура (комплектующие), Сотрудники (персонал), ЗаказПокупателя (заказы), СоставЗаказа (позиции заказа), ПроектКлиента (индивидуальные проекты), МатериалыПроекта, ФурнитураПроекта. Логическая модель базы данных представлена на рисунке 1.

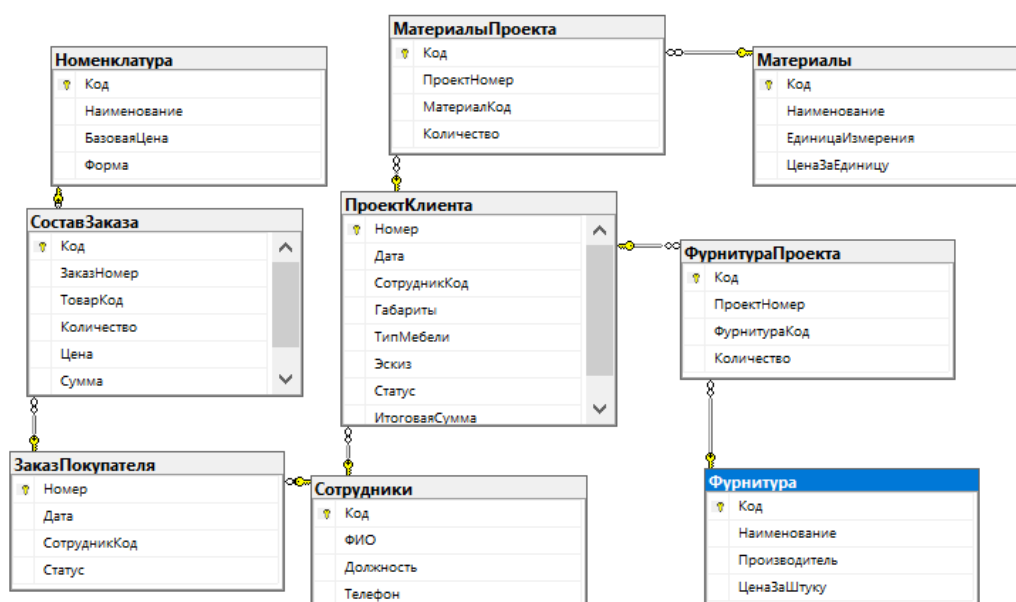


Рисунок 1 – Логическая модель базы данных

На основе логической модели была создана физическая модель. Она привязана к конкретной СУБД Microsoft SQL Server. Для каждого поля были определены типы данных. Для названий выбран строковый тип, для цен и количества – числовой тип с двумя знаками после запятой, для дат – тип дата. Физическая модель базы данных представлена на рисунке 2.

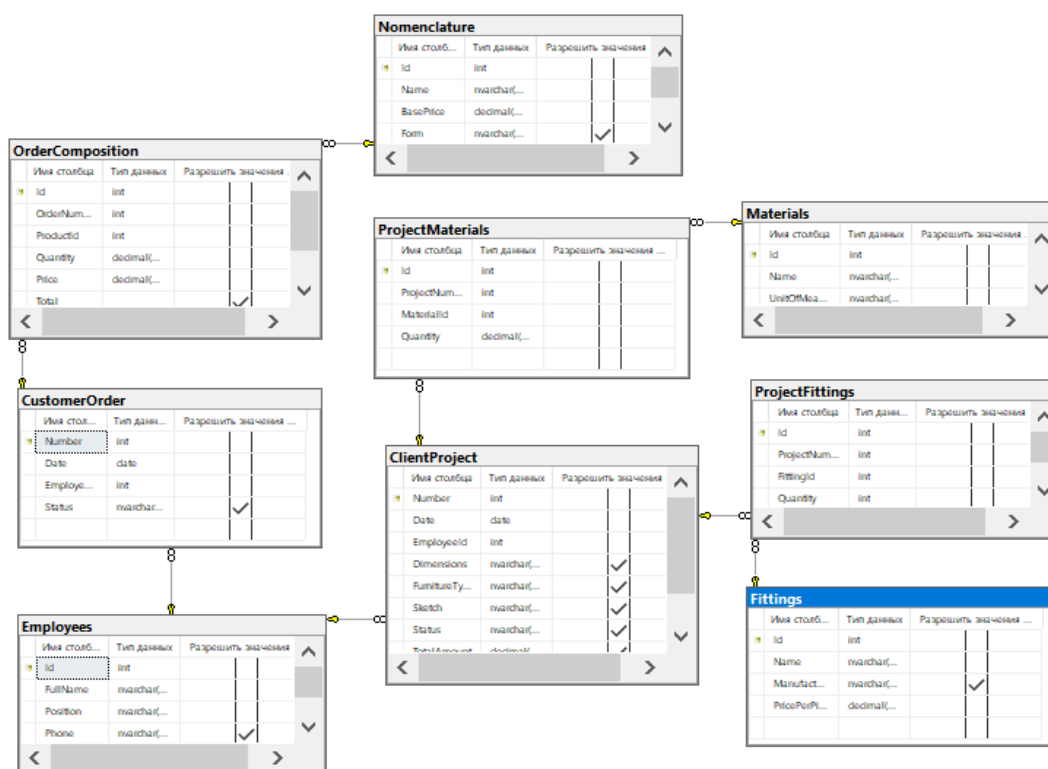


Рисунок 2 – Физическая модель базы данных

Для описания сценария работы была построена диаграмма последовательности, которая представлена на рисунке 3. Сценарий начинается с того, что клиент обращается к проектировщику. Проектировщик создаёт документ «ПроектКлиента», вводит габариты, выбирает материалы и фурнитуру. Система рассчитывает стоимость. Клиент согласовывает проект. После согласования создаётся документ «ЗаказПокупателя».

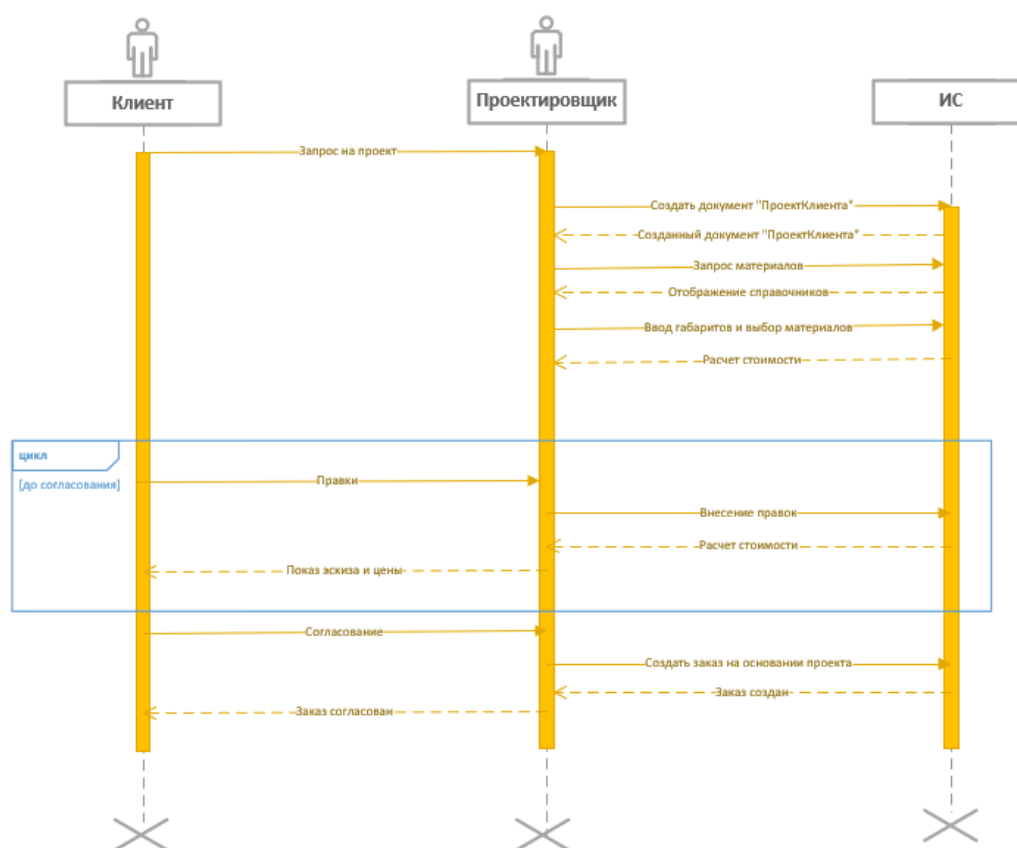


Рисунок 3 – Диаграмма последовательности

Разработанная информационная система прошла функциональное тестирование. Проверена корректность создания заказов и проектов, формирования отчётов. Система показала стабильную работу. В таблице 1 приведено сравнение разработанной системы с существующими аналогами.

Таблица 1 – Сравнительный анализ информационных систем

Критерий	Разработанная система	1С:Управление торговлей	«МойСклад»
Необходимость покупки 1С	Да (базовая лицензия)	Да (базовая лицензия)	Нет
Стоимость конфигурации	Бесплатно (разработана самостоятельно)	Платная (от 30 000 руб.)	По подписке
Учёт материалов и фурнитуры	+++	++	+
Индивидуальные проекты	+++	+	–
Встроенные отчёты	++	+++	++

В результате выполнения работы разработана информационная система для мебельного магазина. Система обеспечивает создание индивидуальных проектов, учёт остатков и формирование отчётов. Система готова к внедрению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грекул, В. И. Проектирование информационных систем : учебник / В. И. Грекул, Н. Л. Коровкина, Г. А. Левочкина. – Москва : Юрайт, 2024. – 423 с.

2. Зараменских, Е. П. Проектирование информационных систем : учебник / Е. П. Зараменских. – Москва : Юрайт, 2025. – 119 с.

3. Черткова, Е. А. Программная инженерия. Визуальное моделирование программных систем : учебник / Е. А. Черткова. – Москва : Юрайт, 2025. – 146 с.

4. Чистов, Д. В. Проектирование информационных систем : учебник / Д. В. Чистов, П. П. Мельников, А. В. Золотарюк, Н. Б. Ничепорук. – Москва : Юрайт, 2025. – 273 с.

Черномурова Дарья Александровна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент инжинирингового колледжа

E-mail: 1655490@bsuedu.ru

Подпругин Александр Ильич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Ассистент кафедры прикладной информатики и информационных технологий

E-mail: podprugin@bsuedu.ru

УДК 004.45:656.073

*Научный руководитель:
Подпругина Ирина Вячеславовна,
старший преподаватель кафедры
прикладной информатики
и информационных технологий,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

Д.В. ЩЕПИН, А.И. ПОДПРУГИН
D.V. SHCHERIN, A.I. PODPRUGIN

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ УЧЕТА ЛИЧНЫХ ФИНАНСОВ

DEVELOPMENT OF AN INFORMATION SYSTEM FOR PERSONAL FINANCE ACCOUNTING

В статье рассматривается разработка информационной системы для учета личных финансов пользователя. Проведен анализ предметной области и существующих решений, выявлены их недостатки. Разработана система с клиент-серверной архитектурой, включающая настольное приложение на платформе Windows Presentation Foundation и веб-приложение. В качестве серверной части используется ASP.NET Core, взаимодействие с базой данных реализовано через Entity Framework Core. Система обеспечивает учет доходов, расходов и переводов, анализ финансовых данных, а также поддержку бюджетирования и постановки финансовых целей. Представлены структура системы, описание базы данных и основные алгоритмы работы.

Ключевые слова: информационная система; учет финансов; WPF; ASP.NET Core; React; SQL Server; база данных; аналитика.

The article discusses the development of an information system for personal finance accounting. The subject area and existing solutions are analyzed, and their shortcomings are identified. A client-server system has been developed, including a desktop application based on Windows Presentation Foundation and a web application. ASP.NET Core is used as the server platform, and interaction with the database is implemented using Entity Framework Core. The system provides accounting of income, expenses and transfers, financial analysis, as well as budgeting and goal tracking. The system structure, database design and main algorithms are presented.

Keywords: information system; personal finance; WPF; ASP.NET Core; React; SQL Server; database; analytics.

В условиях цифровизации количество финансовых операций пользователя постоянно увеличивается. Доходы, расходы, переводы между счетами и накопления требуют регулярной фиксации и анализа. При ведении учета в таблицах, заметках или вручную пользователь сталкивается с дублированием данных, ошибками при расчетах и отсутствием целостной картины финансового состояния [1].

Существующие приложения для персонального финансового учета частично решают эту задачу, однако многие из них либо ограничены по функциональности, либо неудобны в настройке, либо ориентированы только на одну платформу [2]. Поэтому актуальной является разработка собственной информационной системы, объединяющей учет операций, анализ данных и инструменты планирования в единой среде.

Цель работы заключается в разработке информационной системы для учета личных финансов, обеспечивающей автоматизацию ввода, хранения, обработки и анализа финансовых данных пользователя. При выполнении работы применялись методы системного анализа, объектно-ориентированного проектирования и проектирования баз данных [3].

Разработанная система имеет клиент-серверную архитектуру. В ее состав входят база данных Microsoft SQL Server, серверная часть на ASP.NET Core, настольное приложение на WPF и веб-приложение на React. Такая структура позволяет использовать единый источник данных и обеспечить доступ к системе с разных устройств [4]. Структурная схема системы представлена на рисунке 1.

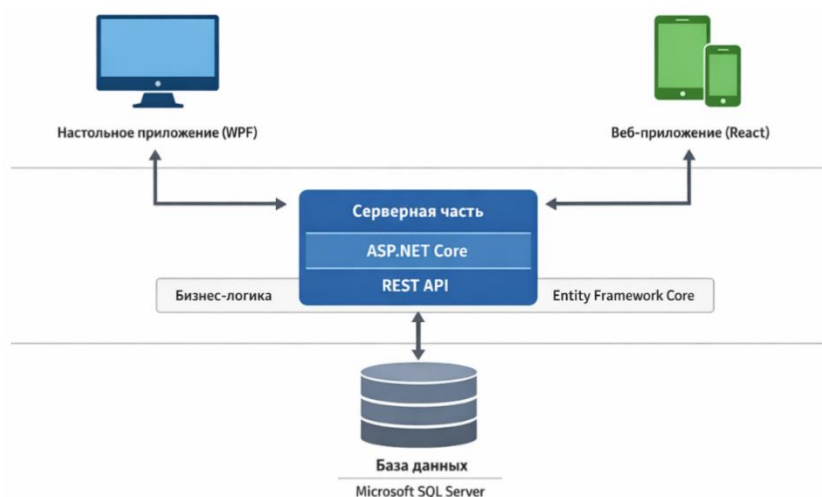


Рисунок 1 – Структурная схема информационной системы

Система предназначена для индивидуального пользователя и поддерживает выполнение следующих функций: ведение счетов, добавление доходов, расходов и переводов, распределение операций по категориям, просмотр истории операций, формирование бюджетов и постановка финансовых целей. Благодаря этому пользователь получает не только средство фиксации данных, но и инструмент контроля личных финансов.

В ходе проектирования была разработана база данных, отражающая основные сущности предметной области: Users, Accounts, Categories, Transactions, Budgets и Goals. Центральной сущностью является транзакция, так как именно она фиксирует финансовую операцию и связывается со счетом, категорией и пользователем. Для обеспечения целостности данных в базе заданы первичные и внешние ключи, а также ограничения на допустимые значения [5]. Схема базы данных приведена на рисунке 2.

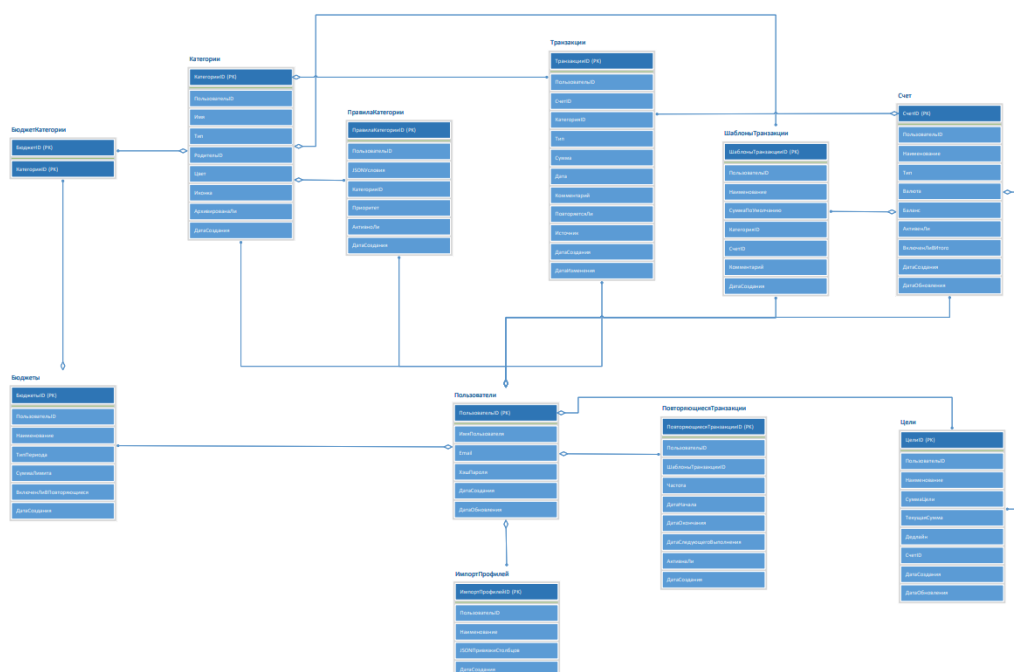


Рисунок 2 – Схема базы данных

Для повышения производительности выборки по операциям использованы индексы по полям пользователя, счета, категории и даты операции. Это особенно важно при построении аналитики и отчетов за выбранные периоды. Реализация базы данных выполнена средствами SQL Server, а доступ к данным в серверной части организован через Entity Framework Core [6].

Одним из основных сценариев работы системы является добавление новой операции. Пользователь вводит тип операции, сумму, дату, счет, категорию и комментарий. Далее данные передаются в серверную часть, где выполняется проверка корректности, сохранение в базе и пересчет сводных показателей. После этого обновленная информация отображается в интерфейсе. Алгоритм добавления операции представлен на рисунке 3.

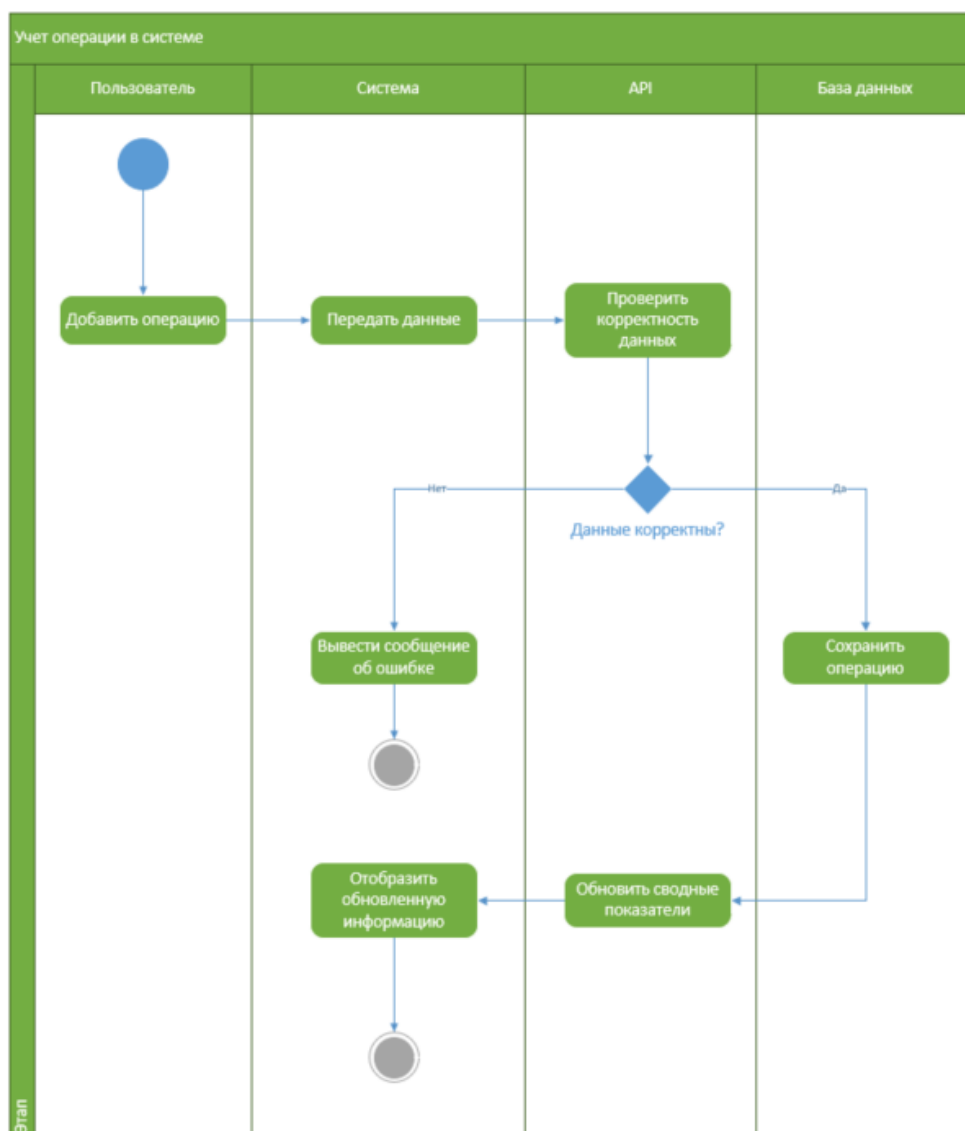


Рисунок 3 – Алгоритм добавления операции

Графический интерфейс настольного приложения разработан на платформе WPF. В системе реализованы окно авторизации, главная страница с обзором финансового состояния, страницы операций, категорий, бюджетов и целей. Интерфейс ориентирован на простоту работы пользователя и быстрый доступ к основным действиям. Пример главного окна системы представлен на рисунке 4.

Дополнительно разработана веб-версия системы на React. Она использует тот же серверный API, что и настольное приложение, и обеспечивает доступ к данным через браузер, в том числе с мобильных устройств. Это повышает удобство использования системы и расширяет сценарии ее применения [7].

Важной частью системы является аналитика. На основе накопленных данных формируются общий баланс, показатели доходов и расходов, распределение затрат по категориям, а также сведения о выполнении бюджетов и прогрессе по финансовым целям. Таким образом, система помогает пользователю не только фиксировать операции, но и принимать более обоснованные финансовые решения.

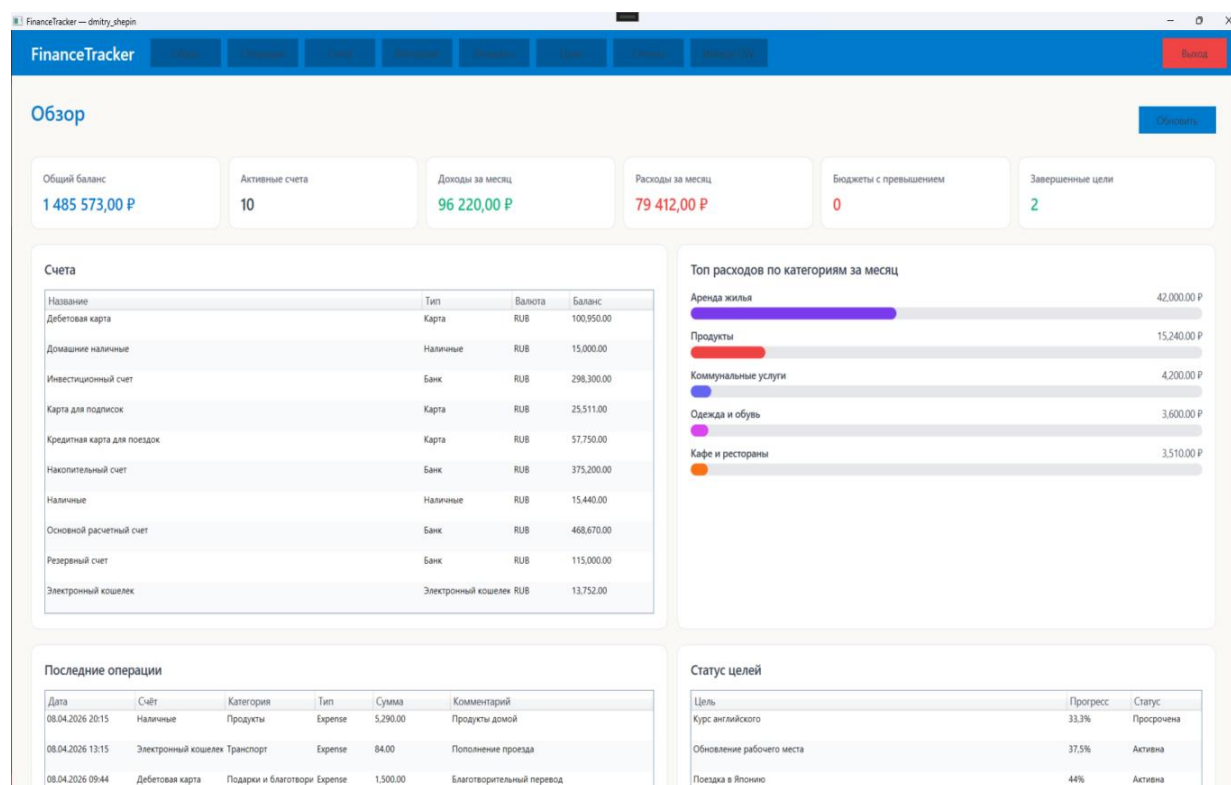


Рисунок 4 – Главное окно программы

На заключительном этапе было проведено тестирование системы. Проверялись корректность авторизации, добавление и редактирование операций, работа аналитических блоков, сохранение данных и взаимодействие клиентских приложений с серверной частью. Для проверки API использовался Swagger. Результаты тестирования показали корректную работу основных функций и устойчивость системы при типовых сценариях использования.

В результате выполненной работы разработана информационная система для учета личных финансов, объединяющая средства фиксации операций, анализа данных и планирования. Система реализована на современном технологическом стеке, поддерживает настольный и веб-доступ, а также обеспечивает централизованное хранение финансовой информации. Полученное решение может быть использовано как основа для дальнейшего развития, включая расширение аналитики и совершенствование механизмов синхронизации.

В результате выполнения работы разработана информационная система для сопровождения грузоперевозок, включающая клиентское приложение и базу данных. Система поддерживает пять ролей пользователей, обеспечивает полный цикл управления заказами, формирования отчетов и ведения справочной информации. Применение параметризованных запросов и разграничения прав доступа гарантирует безопасность данных. Система готова к внедрению в деятельность малых и средних транспортных компаний. Дальнейшие исследования будут направлены на разработку веб-версии системы и мобильного приложения для водителей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грекул В. И., Коровкина Н. Л., Левочкина Г. А. Проектирование информационных систем : учебник и практикум. – Москва : Юрайт, 2025. – 404 с.
2. Зараменских Е. П. Информационные системы в бизнесе : учебник и практикум. – Москва : Юрайт, 2025. – 470 с.
3. Зыков С. В. Архитектура информационных систем. Основы проектирования : учебник. – Москва : Юрайт, 2025. – 260 с.

4. Маркин А. В. Программирование на SQL : учебник. – Москва : Юрайт, 2025. – 435 с.
5. Нестеров С. А. Базы данных : учебник и практикум. – Москва : Юрайт, 2025. – 258 с.
6. Нетесова О. Ю. Информационные системы в экономике : учебник. – Москва : Юрайт, 2025. – 152 с.

Щепин Дмитрий Владимирович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент инжинирингового колледжа

E-mail: 1655704@bsuedu.ru

Подпругин Александр Ильич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Ассистент кафедры прикладной информатики и информационных технологий

E-mail: podprugin@bsuedu.ru

УДК 004.8

*Научный руководитель:
Мигаль Лариса Владимировна,
доцент кафедры информационных
и робототехнических систем,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

А.В. ЯНОВСКИЙ
A.V. YANOVSKIY

О ПРИМЕНЕНИИ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ЗАДАЧАХ АВТОМАТИЗАЦИИ

ON THE APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES IN AUTOMATION TASKS

В статье описывается развитие наиболее крупномасштабных моделей искусственного интеллекта и представлены различные инструменты для интеграции этих моделей в информационные структуры компании.

Ключевые слова: нейросети, искусственный интеллект, языковая модель, интеграция, автоматизация, компания.

The article describes the development of the most advanced large-scale artificial intelligence models and presents various tools for integrating these models into corporate information structures.

Keywords: neural networks, artificial intelligence, language model, integration, automation, company.

Нейронные сети повсеместно внедряются и используются практически во всех сферах деятельности человека. В крупных компаниях использование искусственного интеллекта (ИИ), согласно данным исследований, позволило значительно улучшить производительность. К примеру, компания Google использует нейронные сети для анализа взаимодействия пользователя с документами, что позволяет улучшить систему рекомендаций и персонализацию контента, что в свою очередь повышает пользовательскую вовлеченность. Крупные маркетплейсы внедряют нейронные сети для улучшения системы рекомендации товаров, прогнозов спроса и оптимизации складов, что позволяет снизить издержки. Также используются виртуальные ассистенты и системы самообслуживания, что в свою очередь позволяет сервисам обрабатывать запросы без участия человека. Точность ответов таких систем оценивается в 90-95%, а ожидание ответа сокращается до секунд. Нейронные сети продолжают развиваться, и их точность, скорость и доступность может значительно вырасти уже в ближайшее время.

Наиболее динамичный этап развития искусственного интеллекта пришелся на 2018-2025 года. В 2018 году компания OpenAI выпустила первую из больших языковых моделей – GPT-1 (Generative Pre-trained Transformer). Суть модели заключалась в способности «понимать» текст, и в результате, нейросеть смогла генерировать страницы текста, переводить их на другие языки, а также предсказывать следующие слова в предложениях. Отличие GPT-1 от схожих моделей заключалось именно в возможности генерации и «понимания» связного текста.

Другие модели могли в основном воспринимать слова или предложения как отдельные информационные несвязные единицы. Появившиеся в следующие два года GPT-2 и GPT-3 усовершенствовали базовые возможности трансформера: так, с помощью дополнительных параметров GPT-2 уже пишет простейшие программы, а GPT-3, имеющий в 150 раз больше параметров, чем предыдущая версия, не только пишет код, но и анализирует данные и поддерживает осмысленный диалог. Если до этого OpenAI опасались злоупотребления возможностями нейросети и не хотели выпускать модель в открытый доступ, то GPT-3 впервые получила коммерческое применение и стала широко доступна пользователю [1].

Параллельно с этим другие крупные компании разрабатывали схожие нейросетевые модели с разным спектром применения. Так, в 2020 году Microsoft выпустила инструмент Turing Natural Language Generation, позволяющий обобщать текст, написанный в их линейке продукции (Word, Excel, PowerPoint и пр.). Компания DeepMind заявила, что ее ИИ AlphaFold решает задачу прогнозирования белка всего за несколько дней – так, стало понятно, что в нейросетевых моделях скрывается не только потенциал «помощника», но и возможность решать серьезные научные задачи. В течение 2021-2022 годов OpenAI выпустила генератор нейросетевых изображений, который мог по описанию создавать графические изображения и менять в них незначительные детали. Разработка Google позволила ИИ общаться не только с помощью текста, но и медиафайлами. В конце 2022 года GPT-3 получила открытый интерфейс для разработчиков, что позволило создавать приложения с ее помощью. В 2023-2026 годах крупные организации продолжили развивать выпущенные ранее модели [1].

Внедрение в компаниях современных больших языковых моделей, таких как GPT-5 или Grok, представляет возможность автоматизировать рутинный труд человека, а также осуществить поддержку задач управления. По некоторым оценкам, внедрение технологий ИИ занимает у организаций от 5 до 12 недель на запуск, а возврат инвестиций демонстрирует через всего несколько месяцев. Если раньше руководство предприятия задавалось вопросом, а нужны ли им вообще ИИ-технологии, сейчас обычно решается, каким образом выстроить процессы в компании, чтобы искусственный интеллект работал с максимальной эффективностью.

Нейросети нашли широкое применение в клиентском сервисе. Один из примеров – обработка запросов в отделе технической поддержки. С помощью ИИ время ответа клиенту снижено в десятки раз, а благодаря технологии генерации с дополненным поиском нейросеть опирается на БД (базы данных) компании, что снижает вероятность ошибки или неверной интерпретации запроса. Возможность отвечать на нескольких языках и сразу нескольким клиентам делает ИИ незаменимым помощником. Схема работы нейросети в вопросе клиентской поддержки представлена на рисунке 1.

Нейросеть можно также настроить таким образом, чтобы она могла автоматически искать решение проблемы вместо отправки на вторую линию (кроме специфичных случаев). Для этого требуется дополнительное обучение с генерацией SQL-запросов, после чего ИИ самостоятельно скорректирует ошибки и отправит инструкции клиенту.

Использование ИИ для автоматизации производств – задача, которая раньше была достаточно сложной и требовала наличия специалистов, имеющих понимание информационной структуры компании и знание конкретной модели нейронной сети. Однако за последние несколько лет произошел прорыв в области внедрения ИИ, и появились инструменты, которые позволяют получить доступ к нейросети внутри программного контура компании. Например, SimpleOne, использующая идеологию *no-code* – то есть, позволяющая любому пользователю подключиться к ИИ, не прибегая к кодированию. Искусственный интеллект подключается к корпоративным данным напрямую и строго соответствует нормам компании – это доступно благодаря технологии RAG, которая позволяет использовать не только базовые настройки, но и данные компании [2].

Одним из наиболее перспективных *no-code* инструментов является *n8n*- платформа с открытым исходным кодом, созданная для автоматизации рабочих процессов и интеграции приложений и сервисов [3]. Основное его отличие от подобных сервисов – это возможность подключения других приложений, например, использующих API-конфигурацию. Инструментарий *n8n* предоставляет возможность *no-code* автоматизации в визуальном формате на выделенном сервере. При работе с системой используются виртуальные блоки, которые интерпретируют из себя внедряемые приложения или отдельную информацию из каждого приложения или нейросети [3].

Облачные сервисы, предоставляющие доступ к крупным языковым моделям, пользуются большой популярностью. Одним из крупнейших представителей подобных сервисов является Azure OpenAI от Microsoft Azure. На сегодня среди передовых моделей системы считаются GPT-5 и Whisper. Преимущества данного облака в масштабируемости, надежности и наличии встроенных фильтров и шаблонов для интеграции.

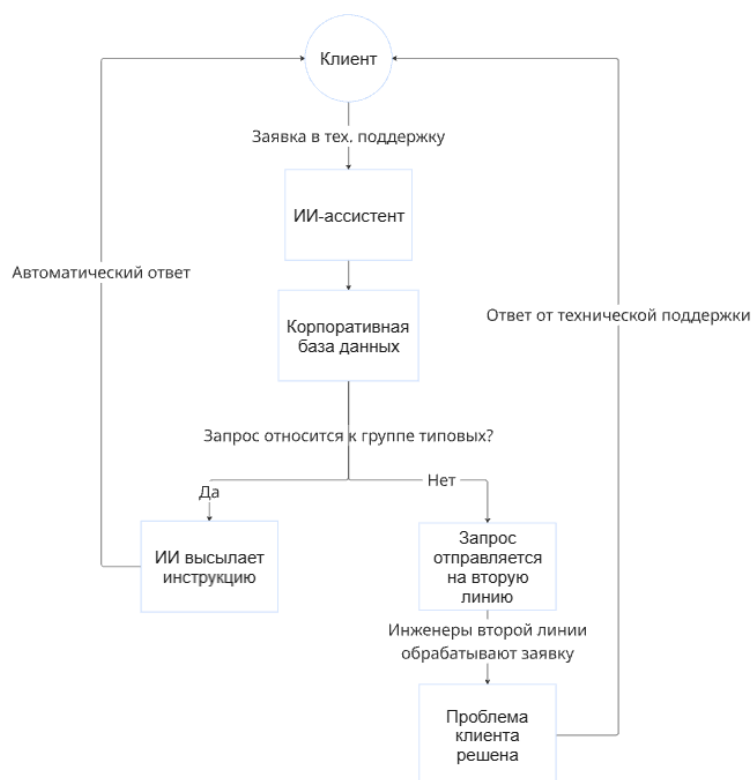


Рисунок 1 – Схема работы нейронной сети в технической поддержке компании

Интеграция систем искусственного интеллекта в ИТ-структуру компаний происходит поэтапно. Большинство нейросетей, используемых для автоматизации, представляют из себя трансформеры с механизмом внимания. Сперва необходима конфигурация модели, где задаются параметры и происходит подстройка под корпоративную информационную систему. Сразу за этим следует установка и подключение системы безопасности, при которой для нейросети решается, будет ли выходить трафик за пределы локальной сети, какие у нее права доступа и какие фильтры безопасности будут применены.

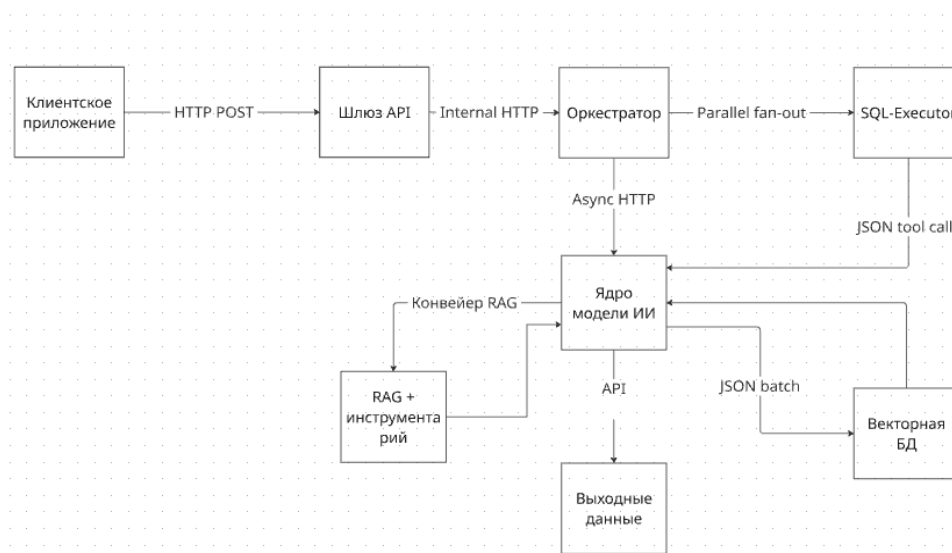


Рисунок 2 – Схема связи компонентов информационной структуры с использованием ИИ

Следующим этапом происходит интеграция с векторной базой данных (БД) для RAG, а далее подключаются структурированные БД Text2SQL, то есть конкретно данные организации. Затем происходит узкоспециализированная настройка, и система уже готова к работе. Однако последний этап может повторяться несколько раз параллельно с работой системы, например, если функционал нейросети в компании хотят расширить. В результате,

ИИ представляет собой отдельную корпоративную единицу со своими правами доступа и инструментами. Схема описанных связей представлена на рисунке 2.

Искусственный интеллект за последние годы развивался быстрыми темпами, и трудно наверняка сказать, какие новинки предоставят крупнейшие мировые AI-разработчики в ближайшее время. На данный момент нейросети представляют собой универсального, гибко настраиваемого помощника, который найдет применение как в бытовых вопросах любого пользователя, так и в крупнейших компаниях. Повсеместное внедрение ИИ, безусловно, позволило существенно сократить временные и денежные затраты компаний, а также улучшить производительность. Однако некоторые эксперты в области искусственного интеллекта выражают обеспокоенность – скорость развития моделей ИИ крайне высока, и даже современное мировое законодательство не всегда успевает регламентировать вопрос их эксплуатации. На этом фоне ставился вопрос об искусственном замедлении развития искусственного интеллекта – так, все прочие отрасли успеют вовремя подстроиться под нынешние модели, что позволит использовать нейросети в любой сфере жизни без каких-либо трудностей. На данный момент критически крупных сбоев в работе наиболее крупных моделей не наблюдалось, поэтому на данный момент их можно считать достаточно безопасными для использования.

Нейронные сети позволили многим компаниям значительно развиваться за счет ускорения и увеличения эффективности производства, а также за счет автоматизации и сокращения рутинного труда. Уже сейчас эксперты оценивают прибавку к производительности на 40-80% после перехода к нейросетевым моделям, а расходы снизились более чем на 20%, если говорить о крупных организациях [2]. Новые ИИ-модели, безусловно, предоставят еще более интересные и широкие возможности для внедрения в производство, что делает искусственный интеллект одной из самых перспективных отраслей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Представляем GPT-5 // OpenAi URL: <https://openai.com/ru-RU/index/introducing-gpt-5/> – электронный ресурс (дата обращения: 14.04.2026).
2. ИИ в ITSM: уже не эксперимент, а корпоративный стандарт // Хабр URL: <https://habr.com/ru/companies/simpleone/articles/1021836/> – электронный ресурс (дата обращения: 12.04.2026).
3. Что за зверь n8n. Первые шаги автоматизации // Хабр URL: <https://habr.com/ru/companies/hostkey/articles/932922/> – электронный ресурс (дата обращения: 12.04.2026).

Яновский Андрей Витальевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Аспирант кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: and.yanovski@gmail.com

СЕКЦИЯ 2
«МОДЕЛИРОВАНИЕ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ В РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЯХ НАУКИ И ТЕХНИКИ»

SECTION 2
« MODELING, DESIGN AND COMPUTER TECHNOLOGIES
IN VARIOUS BRANCHES OF SCIENCE AND TECHNOLOGY»

УДК 004.89

Научный руководитель:
Польщикова Константин Александрович,
профессор кафедры информационных
и робототехнических систем,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)

З.М. АЛЬ ЖАНЗИР
Z.M. AL JANZIR

ОЦЕНИВАНИЕ КАЧЕСТВА ЦИФРОВЫХ СНИМКОВ
МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ
НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЧЕТКОЙ НЕЙРОСЕТИ
EVALUATION OF THE QUALITY OF DIGITAL MAGNETIC RESONANCE
IMAGES USING A FUZZY NEURAL NETWORK

Рассмотрена модель оценивания показателя качества цифровых снимков магнитно-резонансной томографии. Она отличается применением нечеткого логического вывода для учета характеристик пикового отношения сигнала к шуму, контрастности и яркости изображений в оттенках серого. Настройка параметров нечеткого вывода осуществляется с помощью обучения нейросети. При создании обучающей выборки учитывалась правильность нейросетевого диагностирования заболеваний по цифровым изображениям с различными характеристиками качества. Модель может быть использована в целях корректировки качества снимков магнитно-резонансной томографии, используемых для постановки медицинского диагноза.

Ключевые слова: нечеткий логический вывод, нейросеть, диагностирование заболеваний, изображения в оттенках серого, магнитно-резонансной томографии, качество цифровых снимков.

A model for assessing the quality of digital magnetic resonance imaging (MRI) images is considered. It utilizes fuzzy inference to account for the peak signal-to-noise ratio, contrast, and brightness of grayscale images. Fuzzy inference parameters are tuned by training a neural network. The training set was created taking into account the accuracy of neural network diagnosis of diseases based on digital images with varying quality characteristics. The model can be used to adjust the quality of MRI images used for medical diagnosis.

Keywords: fuzzy inference, neural network, disease diagnosis, grayscale images, MRI, digital image quality.

Актуальной в настоящее время является задача оценивания качества снимков магнитно-резонансной томографии, применяемых для нейросетевого диагностирования заболеваний. В рамках решения этой задачи предлагается модель на основе применения нечеткой нейросети.

Входными переменными нечеткого логического вывода являются следующие характеристики изображения:

- 1) *PSNR* – пиковое отношение сигнала к шуму;
- 2) *CST* – контрастность;
- 3) *BRI* – яркость.

Выходной переменной является величина *QUAL* – показатель качества снимка магнитно-резонансной томографии.

Для получения модели, отражающей зависимость выходной переменной от набора входных переменных целесообразно воспользоваться аппаратом нечетких нейросетей, который успешно применяется для оценивания различных обобщенных показателей [1–5]. В качестве алгоритма нечеткого логического вывода предлагается применить алгоритм Сугено нулевого порядка. Такой выбор обоснован тем, что указанный алгоритм является одним из наиболее простых, но позволяет решать многие прикладные задачи [6–10]. В соответствии с используемым алгоритмом база нечетких правил разрабатываемой модели имеет вид:

$$\text{if } (PSNR = PL) \text{ and } (CST = CL) \text{ and } (BRI = BL) \text{ then } (QUAL = S_1); \quad (1)$$

$$\text{if } (PSNR = PL) \text{ and } (CST = CL) \text{ and } (BRI = BH) \text{ then } (QUAL = S_2); \quad (2)$$

...

$$\text{if } (PSNR = PH) \text{ and } (CST = CH) \text{ and } (BRI = BH) \text{ then } (QUAL = S_8); \quad (3)$$

где PL – терм «низкое пиковое отношение сигнала к шуму»; PH – терм «высокое пиковое отношение сигнала к шуму»; CL – терм «низкая контрастность»; CH – терм «высокая контрастность»; BL – терм «низкая яркость»; BH – терм «высокая яркость»; $S_1, S_2, \dots, S_8$ – значения заключений правил нечеткого логического вывода.

Степени соответствия выходных переменных используемым термам (нечетким множествам) выражаются с помощью функций принадлежности. Для оценивания значений функций принадлежности входных переменных термам PL, CL и BL будем использовать z-образные функции, а для вычисления значений функций принадлежности входных переменных термам PH, CH и BH воспользуемся s-образными функциями принадлежности:

$$PL(PSNR) = \begin{cases} 1, & PSNR \leq PLa; \\ \frac{PLb - PSNR}{PLb - PLa}, & PLa < PSNR < PLb; \\ 0, & PSNR \geq PLb; \end{cases} \quad (4)$$

$$PH(PSNR) = \begin{cases} 0, & PSNR \leq PHa; \\ \frac{PSNR - PHa}{PHb - PHa}, & PHa < PSNR < PHb; \\ 1, & PSNR \geq PHb; \end{cases} \quad (5)$$

$$CL(CST) = \begin{cases} 1, & CST \leq CLa; \\ \frac{CLb - CST}{CLb - CLa}, & CLa < CST < CLb; \\ 0, & CST \geq CLb; \end{cases} \quad (6)$$

$$CH(CST) = \begin{cases} 0, & CST \leq CHa; \\ \frac{CST - CHa}{CHb - CHa}, & CHa < CST < CHb; \\ 1, & CST \geq CHb; \end{cases} \quad (7)$$

$$BL(BRI) = \begin{cases} 1, & BRI \leq BLa; \\ \frac{BLb - BRI}{BLb - BLa}, & BLa < BRI < BLb; \\ 0, & BRI \geq BLb; \end{cases} \quad (8)$$

$$BH(BRI) = \begin{cases} 0, & BRI \leq BH_a; \\ \frac{BRI - BH_a}{BH_b - BH_a}, & BH_a < BRI < BH_b; \\ 1, & BRI \geq BH_b; \end{cases} \quad (9)$$

где $PL(PSNR)$, $CL(CST)$ и $BL(BRI)$ – значения функций принадлежности входных переменных термам PL , CL и BL ; $PH(PSNR)$, $CH(CST)$ и $BH(BRI)$ – значения функций принадлежности входных переменных термам PH , CH и BH ; PL_a , PL_b , PH_a , PH_b , CL_a , CL_b , CH_a , CH_b , BL_a , BL_b , BH_a и BH_b – значения абсцисс точек излома функций принадлежности.

Далее в соответствии с алгоритмом нечеткого вывода Сугено нулевого порядка оцениваются результаты агрегирования:

$$AG_1 = PL(PSNR) \wedge CL(CST) \wedge BL(BRI), \quad (10)$$

$$AG_2 = PL(PSNR) \wedge CL(CST) \wedge BH(BRI), \quad (11)$$

$$\dots$$

$$AG_8 = PH(PSNR) \wedge CH(CST) \wedge BH(BRI), \quad (12)$$

Полученные результаты агрегирования используются для оценивания значения выходной переменной:

$$QUAL = \frac{\sum_{k=1}^8 AG_k S_k}{\sum_{k=1}^8 AG_k}. \quad (13)$$

Как видно из представленных выше выражений, результат вычисления показателя $QUAL$ зависит от значений абсцисс точек излома функций принадлежности и значений заключений правил нечеткого логического вывода. Чтобы оценить эти значения, необходимо обучить нечеткую нейронную сеть. Для составления обучающей выборки было использовано более 100 снимков магнитно-резонансной томографии с разными значениями пикового отношения сигнала к шуму, контрастности и яркости. Каждый снимок был использован для диагностирования заболевания с помощью модели сверточной нейронной сети. Результаты были введены в базу данных, структура которой показана в таблице 1. В столбец $QUAL$ вносилось число 1, если при соответствующих значениях $PSNR$, CST и BRI результат нейросетевого диагностирования совпал с истинным диагнозом. В противных случаях в этот столбец вносилось число 0.

Таблица 1 – Структура обучающей выборки

№ п/п	$PSNR$	CST	BRI	$QUAL$
1	$PSNR_1$	CST_1	BRI_1	1
2	$PSNR_2$	CST_2	BRI_2	0
...	...	...	...	...
100	$PSNR_{100}$	CST_{100}	BRI_{100}	1

Затем полученный датасет был использован для обучения создаваемой нечеткой нейросети с помощью алгоритма обратного распространения ошибки. Обучение выполнялось в течение 24 циклов и было остановлено, когда значение ошибки перестало снижаться. Полученные значения абсцисс точек излома функций принадлежности и значения заключений

правил нечеткого логического вывода далее были использованы для оценивания искомого показателя качества цифровых снимков магнитно-резонансной томографии.

Таким образом, предложена модель, которая может быть использована для оценивания качества изображений магнитно-резонансной томографии. В случаях низкого значения показателя *QUAL* необходимо рекомендовать выполнить дополнительную обработку изображений в оттенках серого для повышения их качества и последующего применения в целях нейросетевого диагностирования заболеваний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. The use of virtual reality and fuzzy neural network tools to identify the focus on achieving project results / A. S. Velikanova, K. A. Polshchikov, R. V. Likhoshesterov, A. K. Polshchikova // *Journal of Physics: Conference Series* : 2, Volgograd, Virtual, 06–07 мая 2021 года. – Volgograd, Virtual, 2021. – P. 012017.
2. Assessing the Efficiency of Robot Communication / K. A. Polshchikov, S. A. Lazarev, I. S. Konstantinov [et al.] // *Russian Engineering Research*. – 2020. – Vol. 40, No. 11. – P. 936-938.
3. Polshchikov, K. Neuro-fuzzy system for prediction of telecommunication channel load / K. Polshchikov, Y. Zdorenko, M. Masesov // 2015 2nd International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2015 – Conference Proceedings: 2, Kharkiv, 13–15 октября 2015 года. – Kharkiv, 2015. – P. 33-34.
4. Selecting the intersegment interval for TCP in telecomms networks using fuzzy inference system / N. Rvachova, G. Sokol, K. Polshchikov, J. N. Davies // 2015 Internet Technologies and Applications, ITA 2015 – Proceedings of the 6th International Conference : 6, Wrexham, 08–11 сентября 2015 года. – Wrexham, 2015. – P. 256-260.
5. Theoretical aspects of evaluation of the corporate portal network traffic management / I. S. Konstantinov, S. A. Lazarev, K. A. Polshchikov, O. V. Mihalev // *International Journal of Applied Engineering Research*. – 2015. – Vol. 10, No. 24. – P. 45691-45696.
6. Konstantinov, I.S. The Algorithm for Neuro-Fuzzy Controlling the Intensity of Retransmission in a Mobile Ad-Hoc Network / I.S. Konstantinov, K.O. Polshchikov, S.A. Lazarev // *International Journal of Applied Mathematics and Statistics*. – 2017. – Vol. 56, Issue No. 2. – P. 85–90.
7. Polshchikov, K.O. Neuro-Fuzzy Control of Data Sending in a Mobile Ad Hoc Network / K.O. Polshchikov, S.A. Lazarev, A.D. Zdorovtsov // *Journal of Fundamental and Applied Sciences*. – 2017. – Vol 9, No 2S. – P. 1494–1501.
8. Оценивание эффективности функционирования диалоговой системы на основе применения нечеткого вывода с нейросетевой настройкой / Т. Н. Махди, Е. В. Игитян, К. А. Польщиков, Н. И. Корсунов // *Экономика. Информатика*. – 2022. – Т. 49, № 2. – С. 356-374.
9. Модель для оценки эффективности выполнения робототехнической системой коммуникативных функций / К. А. Польщиков, С. А. Лазарев, И. С. Константинов [и др.] // *СТИН*. – 2020. – № 6. – С. 4-7.
10. Polshchikov, K. A. Neural network natural language processing tools for identifying personal priorities in the project performers selection in the field of smart agriculture / K. A. Polshchikov, A. S. Velikanova, E. V. Igityan // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2022. – Vol. 1069, No. 1. – P. 012012.

Аль Жанзир Зуалфекар Муниф

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Аспирант кафедры прикладной информатики и информационных технологий

E-mail: 1689419@bsuedu.ru

УДК 681.3.15

*Научный руководитель:
Лысакова Татьяна Алексеевна,
старший преподаватель кафедры
прикладной информатики и
информационных технологий,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

A.B. ARTEMOV
A.V. ARTEMOV

АРХИТЕКТУРА ETL-СИСТЕМ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОТОКОВЫХ ДАННЫХ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

ARCHITECTURE OF ETL SYSTEMS FOR REAL-TIME STREAMING DATA PROCESSING

В данной статье авторы освещают проблему организации и построения архитектуры ETL-систем для обработки потоковых данных в реальном времени, а также рассматривают основные подходы, технологии и вызовы, возникающие при разработке таких систем в условиях высокой нагрузки и требований к минимальной задержке обработки.

Ключевые слова: потоковые данные, ETL, real-time обработка, потоковая архитектура, Apache Kafka, Apache Flink, масштабируемость, отказоустойчивость, Lambda Architecture, Kappa Architecture.

In this article, the authors address the problem of organizing and building the architecture of ETL systems for processing streaming data in real time, and also examine the main approaches, technologies, and challenges that arise when developing such systems under high load conditions and requirements for minimal processing latency.

Keywords: streaming data, ETL, real-time processing, streaming architecture, Apache Kafka, Apache Flink, scalability, fault tolerance, Lambda Architecture, Kappa Architecture.

Потоковые данные представляют собой непрерывный поток информации, поступающий в систему в режиме реального времени [1]. В отличие от традиционных наборов данных, которые предварительно накапливаются и затем обрабатываются, потоковые данные генерируются и передаются без остановки, что требует немедленной реакции со стороны вычислительных систем. Такие данные характеризуются высокой скоростью поступления, изменчивостью и зачастую большим объемом [2].

Современные информационные системы все чаще сталкиваются с необходимостью работы с потоковыми данными. Это связано с развитием цифровых технологий и ростом числа источников данных. Потоковые данные активно применяются в финансовой сфере для анализа транзакций и котировок, в криптовалютной индустрии для мониторинга торговых операций и блокчейн-событий, в системах интернета вещей для обработки сигналов с датчиков, а также в телекоммуникациях, логистике и онлайн-сервисах [3]. В социальных сетях потоковые данные используются для анализа пользовательской активности, а в системах безопасности – для обнаружения аномалий.

Обработка данных в реальном времени становится критически важной, поскольку позволяет оперативно реагировать на происходящие события. Например, в финансовых системах задержка даже в несколько секунд может привести к значительным убыткам, а в промышленности – к авариям. Таким образом, возникает необходимость создания архитектур, способных обеспечивать быструю, надежную и масштабируемую обработку потоковых данных.

ETL (Extract, Transform, Load) представляет собой классический процесс обработки данных, включающий три основных этапа: извлечение данных из источников, их преобразование и загрузку в целевую систему хранения [4]. На этапе извлечения данные собираются из различных источников, таких как базы данных, API, файлы или сенсоры. На этапе преобразования выполняются операции очистки, нормализации, агрегации и

обогащения данных. Завершающий этап предполагает загрузку подготовленных данных в хранилище, например, в аналитическую базу данных или data warehouse.

Традиционные ETL-системы ориентированы на пакетную обработку данных [5]. В этом случае данные накапливаются в течение определенного времени, после чего обрабатываются в виде пакетов. Такой подход удобен для аналитических задач, но не подходит для сценариев, требующих мгновенной обработки информации.

Streaming ETL, или потоковый ETL, представляет собой развитие классической концепции, адаптированное для работы с данными в реальном времени [6]. В данном подходе этапы извлечения, преобразования и загрузки выполняются непрерывно, по мере поступления данных. Это требует иной архитектуры системы, способной обеспечивать низкие задержки и высокую пропускную способность. В отличие от batch-подхода, streaming ETL ориентирован не на периодическую обработку, а на постоянный поток событий.

Архитектура систем потокового ETL строится вокруг нескольких ключевых компонентов, обеспечивающих полный цикл обработки данных. Основными элементами являются источники данных, транспортный слой, слой обработки и слой хранения.

Источники данных представляют собой системы, генерирующие поток информации. Это могут быть финансовые биржи, датчики IoT, пользовательские приложения, серверные логи и другие источники. Эти данные передаются в транспортный слой, который обычно реализуется с помощью брокеров сообщений. Брокеры сообщений обеспечивают надежную и масштабируемую доставку данных между компонентами системы, а также позволяют буферизовать поток и управлять нагрузкой.

Следующим компонентом является слой потоковой обработки. Здесь выполняются операции трансформации данных, такие как фильтрация, агрегация, объединение потоков и вычисление метрик. Для реализации этого слоя используются специализированные фреймворки, позволяющие обрабатывать данные с минимальными задержками.

Завершающим этапом является загрузка данных в системы хранения. В зависимости от задач, это могут быть базы данных реального времени, аналитические хранилища или распределенные файловые системы. Важно, чтобы система хранения поддерживала быстрый доступ к данным и могла эффективно работать с большими объемами информации.

Принцип работы пайплайна заключается в последовательной передаче данных через все указанные компоненты. Поток данных поступает от источника в брокер сообщений, затем передается в обработчик, где выполняются необходимые преобразования, после чего результат сохраняется в хранилище. Такой подход обеспечивает непрерывность обработки и минимизацию задержек.

В рамках данной архитектуры широко используются современные технологии. Для передачи данных часто применяется Apache Kafka, обеспечивающий высокую пропускную способность и отказоустойчивость [7]. Для обработки данных используются такие инструменты, как Apache Spark Streaming и Apache Flink, позволяющие реализовывать сложные вычисления над потоками. В качестве хранилищ применяются как традиционные базы данных, так и специализированные решения, например, NoSQL-системы [8]. На рисунке 1 представлена схема потока данных.

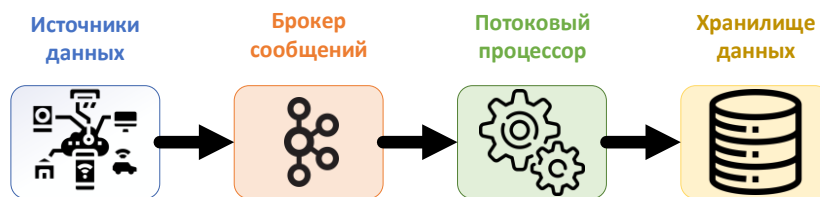


Рисунок 1 – Схема потока данных

Несмотря на широкое распространение потоковых ETL-систем, их разработка и эксплуатация сопряжены с рядом серьезных проблем. Одной из ключевых задач является минимизация задержек обработки данных [9]. В системах реального времени важно

обеспечить максимально быстрое прохождение данных через все этапы обработки, что требует оптимизации алгоритмов и использования высокопроизводительных технологий.

Другой важной проблемой является масштабируемость [10]. Потоки данных могут значительно увеличиваться в объеме, особенно в периоды пиковой нагрузки. Система должна быть способна адаптироваться к таким изменениям без потери производительности. Для этого используются распределенные архитектуры и механизмы горизонтального масштабирования.

Отказоустойчивость также играет критическую роль [11]. В условиях непрерывной обработки данных любые сбои могут привести к потере информации или нарушению целостности данных. Поэтому системы должны обеспечивать механизмы резервирования, репликации и восстановления после сбоев.

Особое внимание уделяется качеству и консистентности данных [12]. В распределенных системах сложно обеспечить строгую согласованность, особенно при высокой скорости обработки. Возникают проблемы дублирования событий, потери данных и нарушения порядка их поступления. Для решения этих задач применяются различные подходы, включая идемпотентные операции и контрольные точки.

Существует несколько архитектурных подходов к построению систем обработки потоковых данных. Наиболее известными являются Lambda Architecture и Kappa Architecture.

Lambda Architecture предполагает разделение системы на два слоя: пакетный и потоковый [13]. Пакетный слой отвечает за обработку полного объема данных и формирование точных результатов, в то время как потоковый слой обеспечивает быструю обработку новых данных с минимальной задержкой. Результаты обоих слоев объединяются для получения итогового результата. Такой подход обеспечивает высокую точность и надежность, однако усложняет архитектуру системы и требует поддержки двух различных процессов обработки.

Kappa Architecture предлагает более упрощенный подход, исключая пакетный слой [14]. Вся обработка выполняется в потоковом режиме, а при необходимости пересчета данных используется повторное воспроизведение потока. Это позволяет сократить сложность системы и снизить затраты на ее поддержку. Однако данный подход предъявляет более высокие требования к надежности и производительности потокового слоя. На рисунке 2 представлены различия между Lambda и Kappa архитектурами.

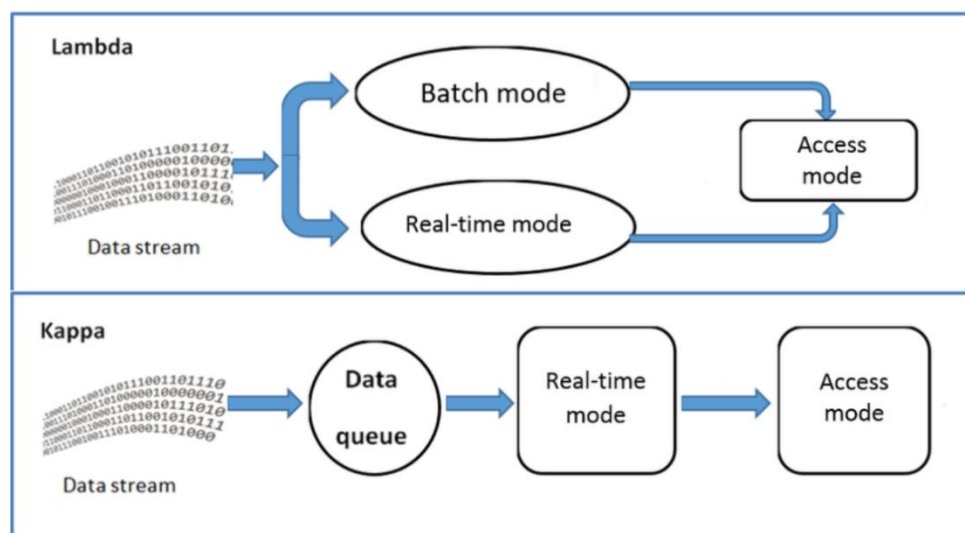


Рисунок 2 – Различия между Lambda и Kappa архитектурами

Криптовалютная индустрия является одним из наиболее ярких примеров использования потоковых ETL-систем. Биржи генерируют огромные объемы данных в режиме реального времени, включая котировки, сделки и изменения в ордерах. Эти данные необходимо оперативно собирать, обрабатывать и анализировать.

Сбор данных осуществляется через API бирж, после чего информация передаётся в потоковую систему. Здесь происходит нормализация данных, агрегация по временным интервалам и вычисление показателей, таких как объём торгов, волатильность и спред.

Обработанные данные используются для построения аналитических систем и алгоритмического трейдинга. В таких системах важна минимальная задержка, поскольку даже небольшое преимущество во времени может привести к значительной прибыли. Потоковые ETL-системы позволяют выявлять рыночные тренды, обнаруживать аномалии и автоматически принимать торговые решения.

Кроме того, такие системы применяются для мониторинга безопасности, выявления подозрительных транзакций и анализа блокчейн-данных.

Архитектура ETL-систем для обработки потоковых данных в реальном времени играет ключевую роль в современных информационных технологиях. Переход от пакетной обработки к потоковой обусловлен необходимостью оперативной реакции на события и работы с постоянно растущими объёмами данных.

Реализация таких систем требует решения сложных задач, связанных с задержками, масштабируемостью, отказоустойчивостью и консистентностью данных. Различные архитектурные подходы, такие как Lambda и Карра, предлагают разные способы балансировки этих требований.

Перспективы развития потоковых ETL-систем связаны с дальнейшим снижением задержек, интеграцией с технологиями машинного обучения и расширением областей применения. В условиях цифровой экономики способность обрабатывать данные в реальном времени становится одним из ключевых конкурентных преимуществ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Потоковые данные [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.alachisoft.com/ru/foundations/real-time-processing/streaming-data/> (дата обращения: 11.04.2026).
2. Характеристики потоковых данных [Электронный ресурс]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-harakteristik-potokov-dannyh-generiruemyyh-web-serverom> (дата обращения: 11.04.2026).
3. Где применяются потоковые данные [Электронный ресурс]. – URL: https://ya.ru/neurum/c/tehnologii/q/v_kakih_otraslyah_primenyaetsya_potokovaya_eec29b61 (дата обращения: 12.04.2026).
4. Что такое ETL процессы [Электронный ресурс]. – URL: <https://practicum.yandex.ru/blog/chto-takoe-etl/> (дата обращения: 11.04.2026).
5. Пакетная обработка данных [Электронный ресурс]. – URL: <https://aws.amazon.com/ru/what-is/batch-processing/> (дата обращения: 13.04.2026).
6. Потоковая обработка данных [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.solix.com/ru/kb/stream-processing/> (дата обращения: 11.04.2026).
7. Apache kafka [Электронный ресурс]. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Apache_Kafka (дата обращения: 12.04.2026).
8. Виды NoSQL [Электронный ресурс]. – URL: <https://yandex.cloud/ru/blog/posts/2022/10/nosql> (дата обращения: 12.04.2026).
9. Минимизация задержек [Электронный ресурс]. – URL: <https://habr.com/ru/companies/mws/articles/312038/> (дата обращения: 11.04.2026).
10. Масштабируемость [Электронный ресурс]. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (дата обращения: 11.04.2026).
11. Отказоустойчивость [Электронный ресурс]. – URL: <https://ytsaurus.tech/docs/ru/user-guide/data-processing/reliability> (дата обращения: 13.04.2026).
12. Согласованность данных [Электронный ресурс]. – URL: <https://habr.com/ru/companies/vk/articles/723734/> (дата обращения: 13.04.2026).

13. Lambda architecture [Электронный ресурс]. – URL:
<https://bigdataschool.ru/blog/what-is-lambda-architecture/> (дата обращения: 13.04.2026).
14. Kappa architecture [Электронный ресурс]. – URL:
<https://habr.com/ru/companies/otus/articles/769350/> (дата обращения: 11.04.2026).

Артемов Артем Васильевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры прикладной информатики и информационных технологий

E-mail: artemov-3569157@bk.ru

УДК 004.89:625.7/.8

*Научный руководитель:
Шамраев Анатолий Анатольевич,
доцент кафедры информационных
и робототехнических систем,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

К.Е. БАДАНИС
K.E. BADANIS

СТРУКТУРА СИСТЕМЫ «УМНЫЙ ГОРОД» И МЕСТО В НЕЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПОДСИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ

STRUCTURE OF THE «SMART CITY» SYSTEM AND THE PLACE OF THE AUTOMATED ROAD CONDITION MONITORING SUBSYSTEM WITHIN IT

В данной статье рассматривается структура системы «Умный город» и место в ней автоматизированной подсистемы мониторинга состояния дорожного покрытия. На примере Белгородской области показаны результаты внедрения интеллектуальных транспортных систем (ИТС) в рамках национального проекта. Предложена автоматизированная подсистема на основе акселерометра и навигационного модуля для идентификации дефектов дорожного покрытия. Описаны возможности интеграции данных с облачными платформами и Центром организации дорожного движения (ЦОДД) для оперативного реагирования и оптимизации ремонта дорог.

Ключевые слова: «Умный город», интеллектуальные транспортные системы, мониторинг дорожного покрытия, акселерометр, автоматизированная подсистема, ЦОДД, дорожное покрытие.

This article examines the structure of the Smart City system and the place of an automated road condition monitoring subsystem within it. Using the Belgorod region as an example, the results of implementing intelligent transport systems (ITS) under a national project are presented. An automated subsystem based on an accelerometer and a navigation module is proposed for identifying road surface defects. The possibilities of data integration with cloud platforms and the Traffic Management Center (TMC) for rapid response and optimization of road repairs are described.

Keywords: «Smart City», intelligent transport systems, road condition monitoring, accelerometer, automated subsystem, Traffic Management Center (TMC), road surface.

Интеллектуальные транспортные системы (ИТС) выступают технологической основой концепции «Умный город», представляя собой иерархическую программно-аппаратную платформу, которая обеспечивает сбор, агрегацию и аналитическую обработку телематических данных от распределенной сети датчиков транспортного потока, систем фото-видеофиксации, адаптивных светофорных объектов и дорожных метеостанций. Функционирование ИТС базируется на принципах адаптивного управления в режиме реального времени, что позволяет реализовывать динамическое перераспределение транспортных потоков, приоритезацию общественного транспорта, прогнозирование заторов и оперативное реагирование на нештатные ситуации. Интеграция ИТС в городскую инфраструктуру обеспечивает количественно измеримое повышение пропускной способности улично-дорожной сети, снижение коэффициента аварийности, оптимизацию временных затрат участников движения и уменьшение экологической нагрузки за счет минимизации простоев транспортных средств (ТС), что в совокупности формирует устойчивую и ресурсоэффективную среду функционирования городской агломерации.

В Белгородской области в рамках национального проекта «Безопасные качественные дороги» [1] реализуется системный подход к цифровизации управления дорожным движением, что является одним из ключевых направлений концепции «Умного города». За два года реализации мероприятий на развитие ИТС в регионе было направлено 160 млн рублей. В 2020 году утверждена транспортная стратегия по внедрению и модернизации ИТС, ориентированная на автоматизацию процессов управления движением в городских агломерациях с населением свыше 300 тысяч человек [2].

В рамках стратегии на участках с интенсивным движением установлено 106 детекторов транспорта, 122 дорожных контроллера, 42 обзорные видеокамеры, размещенные на наиболее загруженных участках улично-дорожной сети для мониторинга ситуации в реальном времени. Все данные стекаются в региональный Центр организации дорожного движения (ЦОДД). Внедренное оборудование в комплексе с модернизированным программным обеспечением обеспечивает автоматическое перераспределение фаз светофорных циклов с учетом актуальной загруженности перекрестков, а также фиксацию трафика на центральных магистралях и въездных маршрутах города Белгорода. Реализация мероприятий позволила достичь следующих показателей эффективности: увеличение пропускной способности дорог в границах агломерации на 10%; повышение средней скорости движения транспортного потока на 11% [3].

Работы по развитию ИТС в нашем регионе продолжаются. Планируется создание новых подсистем и модулей, а также масштабирование существующих решений. На эти цели в рамках национального проекта предусмотрено направление дополнительно 90 млн рублей. В свою очередь, исследования [4-6] показывают, что данные датчиков (акселерометров), установленных на ТС, могут быть использованы для идентификации дефектов дорожного покрытия, таких как выбоины, трещины и колеи. Данные о состоянии дорожного покрытия можно объединить с другими источниками (автомобильным трафиком, светофорными объектами, GPS-системами) на единой платформе, построенной на облачных технологиях, что обеспечит:

- синхронизацию информации – данные акселерометров можно загружать в облако и анализировать данные в реальном времени; интеграция с ЦОДД или сервисами вроде «Яндекс Карты» позволит обновлять карты с отметками о дефектах;

- оперативное реагирование – при обнаружении глубокой выбоины (например, > 0,1 м) система автоматически фиксирует координаты с последующим уведомлением дорожных служб; корректирует маршруты ТС через навигационные приложения, чтобы минимизировать повреждения подвески ТС;

- оптимизация ремонта дорог – на основе приоритетности дефектов (глубина, интенсивность движения, время с момента обнаружения) появляется возможность формировать график работ; система может предлагать временные ограничения скорости в зонах с изношенным дорожным покрытием, уменьшая нагрузку на дорогу.

Предлагается интегрировать в ИТС автоматизированную подсистему мониторинга состояния дорожного покрытия. На рисунке 1 показано место автоматизированной подсистемы мониторинга состояния дорожного покрытия в системе «Умного города».

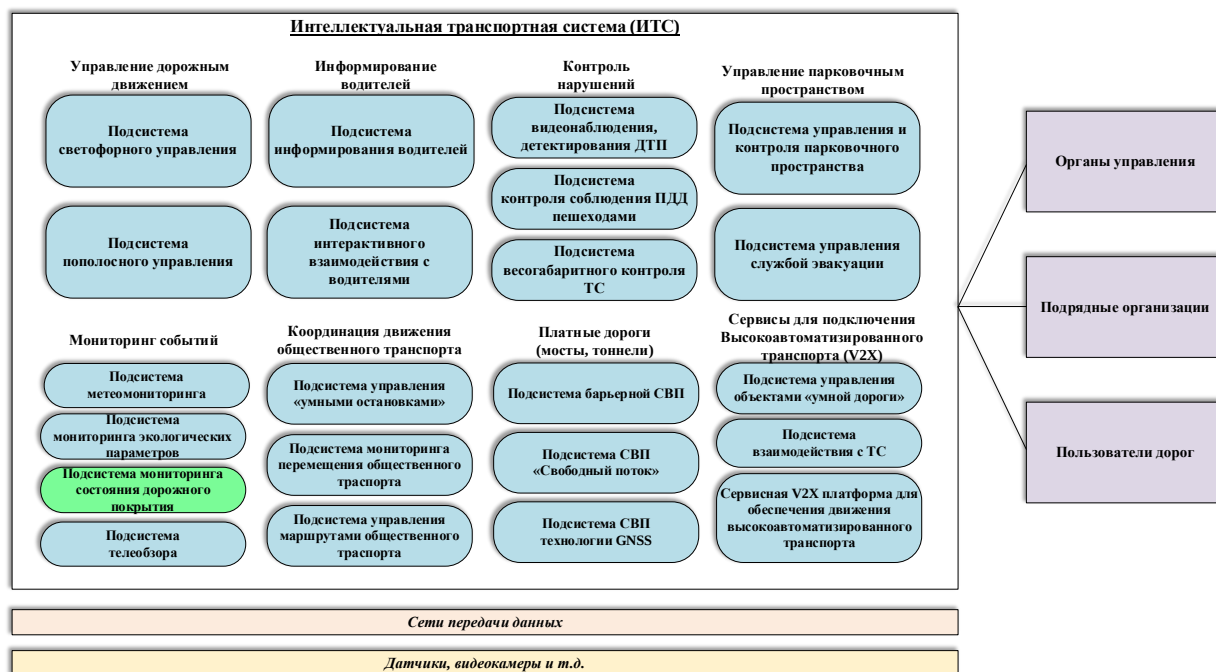


Рисунок 1 – Место автоматизированной подсистемы мониторинга состояния дорожного покрытия в системе «Умного города»

Автоматизированная подсистема мониторинга состояния дорожного покрытия позволяет определить состояние дорожного покрытия, местоположение неровности, классифицировать состояния дорожного покрытия для последующего принятия решения работниками дорожных служб, связанного с проведением ремонтных мероприятий. Автоматизированная подсистема может правильно оценивать уровни неровности дорожного покрытия, даже с некоторыми помехами от небольших неровностей или выбоин.

В процессе движения ТС акселерометр фиксирует данные о непрерывном ускорении, а навигационный модуль определяет время и местоположение. Для обеспечения устойчивости навигационных определений в условиях возможного подавления или нестабильности спутникового сигнала применяется интеграция с инерциальной системой (на базе акселерометра), позволяющая восстанавливать траекторию движения методом счисления пути (*dead reckoning*) [7]. Микроконтроллер выполняет алгоритмы обработки первичных данных. По завершении маршрута информация передается на центральный сервер. Следует отметить, что собранные данные не требуются в режиме реального времени. Полученные данные используются для изучения долгосрочных изменений, а предупреждения, инициированные автоматизированной подсистемой, не требуют реакции от дорожных служб в течение минут или часов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безопасные качественные дороги [Электронный ресурс] : национальный проект. – Режим доступа: <https://xn--80aapampemcchfmo7a3c9ehj.xn--p1ai/projects/bezopasnye-kachestvennye-dorogi/>
2. Интеллектуальные транспортные системы [Электронный ресурс] / Росавтодор. – Режим доступа: <https://dr.rosavtodor.gov.ru/departament/deyatelnost-dr/intellektualnye-transportnye-sistemy>
3. В Белгородской области продолжается развитие интеллектуальной транспортной системы [Электронный ресурс] : официальный сайт Губернатора и Правительства Белгородской области. – Режим доступа: <https://belregion.ru/press/news/index.php?ID=68843>
4. P. Mohan, V. N. Padmanabhan, and R. Ramjee, “Nericell: Rich monitoring of road and traffic conditions using mobile smartphones,” in Proceedings of the 6th ACM Conference on Embedded Network Sensor Systems (SenSys '08). ACM, 2008, pp. 323–336.
5. K. Chen, M. Lu, G. Tan, and J. Wu, “CRSM: Crowdsourcing based road surface monitoring,” in Proc. of the 11th IEEE/IFIP International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing (EUC), November 2013, pp. 2151–2158.
6. De Zoysa, K., Keppitiyagama, C., Seneviratne, G.P., Shihan, W.W.A.T.: A public transport system based sensor network for road surface condition monitoring. In: Proceedings of the 2007 Workshop on Networked Systems for Developing Regions, p. 9. ACM (2007)
7. Дерябин В. В. Системы счисления пути судна на основе нейронных сетей // Транспортное дело России. – 2015. – №. 5. – С. 137-141.

Баданис Кирилл Евгеньевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Аспирант кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: badanis@bsuedu.ru

УДК 004.45:656.073

*Научный руководитель:
Подпругина Ирина Вячеславовна,
старший преподаватель кафедры
прикладной информатики
и информационных технологий,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

Е.В. ВОДКА, А.И. ПОДПРУГИН
E.V. VODKA, A.I. PODPRUGIN

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ ДЛЯ АКВАПАРКА
С УЧЕТОМ ТРЕБОВАНИЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
DESIGN AND MODELING OF A TELECOMMUNICATION NETWORK
FOR A WATER PARK TAKING INTO ACCOUNT INFORMATION
SECURITY REQUIREMENTS**

В работе рассматривается вопрос проектирования и моделирования защищенной телекоммуникационной инфраструктуры для аквапарка с учетом требований к обработке персональных данных. Проведен анализ предметной области, определены функциональные и нефункциональные требования к сети, а также выявлены актуальные угрозы информационной безопасности для подобных объектов. Разработана логическая структура сети на основе технологии VLAN с выделением изолированных сегментов для различных служб (администрация, кассы, видеонаблюдение, гостевой Wi-Fi). Практическая реализация проекта выполнена в среде моделирования Cisco Packet Tracer, где настроены протоколы маршрутизации, DHCP и механизмы безопасности. В качестве средств защиты предложено использование списков контроля доступа и межсетевого экрана. Представлен расчет стоимости сетевого оборудования и дана оценка соответствия спроектированной сети нормативным требованиям в области информационной безопасности.

Ключевые слова: телекоммуникационная сеть, информационная безопасность, аквапарк, проектирование сети, VLAN, Cisco Packet Tracer, защита персональных данных, сетевое моделирование.

The paper considers the issue of designing and modeling a secure telecommunications infrastructure for an aquapark, taking into account the requirements for processing personal data. An analysis of the subject area has been carried out, functional and non-functional requirements for the network have been identified, and actual threats to information security for such facilities have been identified. A logical network structure based on VLAN technology has been developed with the allocation of isolated segments for various services (administration, ticket offices, video surveillance, guest Wi-Fi). The practical implementation of the project was carried out in the Cisco Packet Tracer simulation environment, where routing protocols, DHCP, and security mechanisms are configured. The use of access control lists and a firewall is proposed as a means of protection. The calculation of the cost of network equipment is presented and an assessment of the compliance of the designed network with regulatory requirements in the field of information security is given.

Keywords: telecommunication network, information security, water park, network design, VLAN, Cisco Packet Tracer, personal data protection, network modeling.

В современных условиях индустрия развлечений и гостеприимства характеризуется высокой степенью зависимости от информационных технологий. Аквапарк представляет собой сложный технологический объект, объединяющий инженерные системы, системы видеонаблюдения, контроля доступа, биллинга и предоставления услуг посетителям [1,2]. Традиционные «плоские» сети и устаревшее оборудование не способны обеспечить необходимый уровень надежности, масштабируемости и, что критически важно, защиты информации, особенно при обработке персональных данных гостей [3]. В связи с этим актуальной является задача разработки проекта современной телекоммуникационной сети, сегментированной и защищенной в соответствии с нормативными требованиями.

Целью работы является проектирование и моделирование телекоммуникационной сети для аквапарка, обеспечивающей надежную передачу данных и соответствующей базовым требованиям информационной безопасности.

При выполнении работы использованы методы системного анализа, структурного проектирования сетей, а также методы моделирования сетевого взаимодействия. В качестве инструмента моделирования выбрана среда Cisco Packet Tracer, позволяющая эмулировать работу реального сетевого оборудования и протоколов. При проектировании структуры сети использована технология виртуальных локальных сетей (VLAN) стандарта IEEE 802.1Q для логического разделения трафика различных подразделений и систем аквапарка [4,5].

Разработанная сетевая инфраструктура имеет иерархическую архитектуру и включает следующие функциональные сегменты:

- сегмент администрации и бухгалтерии;
- сегмент операционных систем (кассы, система контроля и управления доступом);
- сегмент системы видеонаблюдения и охраны;
- серверный сегмент (для хранения данных, биллинга и управления);
- гостевой Wi-Fi сегмент.

Для обеспечения логической изоляции и безопасности трафика спроектирована таблица распределения IP-адресов и VLAN, представленная в таблице 1.

Таблица 1 – Распределения IP-адресов и VLAN

№ VLAN	IP адрес и маска	Назначение
1	2	3
10	192.168.10.0 255.255.255.0	Кассы
11	192.168.11.0 255.255.255.0	Бухгалтерия
12	192.168.12.0 255.255.255.0	Администрация
20	192.168.20.0 255.255.255.0	Охрана
21	192.168.21.0 255.255.255.0	Медпункт
22	192.168.22.0 255.255.255.0	Кафе
23	192.168.23.0 255.255.255.0	Серверная
24	192.168.24.0 255.255.255.0	Wi-Fi

Физическая топология сети предполагает использование ядра сети на базе маршрутизатора и управляемых коммутаторов уровня доступа. Структурная схема логической сети аквапарка представлена на рисунке 1.

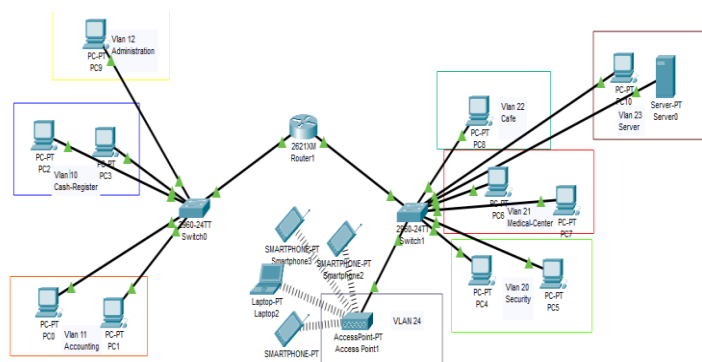


Рисунок 1 – Логическая структура телекоммуникационной сети аквапарка

В ходе работы проведен анализ и подбор сетевого оборудования с учетом требований к производительности и отказоустойчивости. В качестве ядра сети предложен маршрутизатор Huawei AR651, обеспечивающий маршрутизацию между VLAN и поддержку функций безопасности. На уровне доступа используются коммутаторы Cisco Catalyst C9200-24P-A с поддержкой PoE+ для питания точек доступа и камер видеонаблюдения. Для организации беспроводного доступа выбраны точки доступа Ubiquiti UniFi U6-Mesh, устойчивые к условиям повышенной влажности[6].

Моделирование сети выполнено в программной среде Cisco Packet Tracer. На коммутаторах настроены виртуальные сети (VLAN) и транковые (Trunk) порты для передачи

тегированного трафика. На маршрутизаторе реализована технология «Router-on-a-Stick» с созданием сабинтерфейсов для каждой VLAN, что обеспечивает связность между различными подсетями. Для автоматической выдачи IP-адресов конечным устройствам на маршрутизаторе настроен DHCP-сервер с отдельными пулами (DHCP Pool) для каждого VLAN[7.8].

Алгоритм настройки межсетевого взаимодействия включает следующие этапы:

- создание баз данных VLAN на управляемых коммутаторах;
- назначение портов доступа (Access) соответствующим VLAN;
- конфигурирование транкового порта между коммутатором и маршрутизатором;
- настройка сабинтерфейсов на маршрутизаторе с инкапсуляцией IEEE 802.1Q и присвоением IP-адресов шлюзов по умолчанию;
- настройка динамической маршрутизации (протокол RIP) для связи с внешними сетями и Интернет.

Для обеспечения информационной безопасности в рамках модели реализованы списки контроля доступа (ACL). Расширенные ACL применены на интерфейсах маршрутизатора для фильтрации трафика [9,10].

В результате выполнения работы была спроектирована и смоделирована телекоммуникационная сеть аквапарка с учетом требований информационной безопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баланов А. Н. Защита информационных систем. Кибербезопасность : учебное пособие для СПО / А. Н. Баланов. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2025. – 84 с. – ISBN 978-5-507-53004-5. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/464183>
2. Вавилин Я. А. Информационные технологии в управлении качеством и защита информации : учебное пособие для СПО / Я. А. Вавилин, В. Г. Солдатов, И. Г. Манкевич, . – Санкт-Петербург : Лань, 2025. – 196 с. – ISBN 978-5-507-51438-0. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/447245>
3. Верещагина, Е. А. Установка и базовая настройка систем обслуживания сетевой инфраструктуры : учебное пособие для СПО / Е. А. Верещагина, А. Л. Золкин, А. В. Фролов. – Санкт-Петербург : Лань, 2025. – 96 с. – ISBN 978-5-507-52342-9. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/488960>
4. Внуков, А. А. Основы информационной безопасности: защита информации : учебное пособие для среднего профессионального образования / А. А. Внуков. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2024. – 161 с. – (Профессиональное образование). – ISBN 978-5-534-13948-8. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/542340>
5. Грекул, В. И. Проектирование информационных систем : учебник и практикум для среднего профессионального образования / В. И. Грекул, Н. Л. Коровкина, Г. А. Левочкина. – 2-е изд. – Москва : Издательство Юрайт, 2025. – 404 с. – (Профессиональное образование). – ISBN 978-5-534-19506-4. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/566739>

Водка Евгений Валерьевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры автоматизированных систем и технологий

E-mail: 1670486@bsuedu.ru

Подпругин Александр Ильич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Ассистент кафедры прикладной информатики и информационных технологий

E-mail: podprugin@bsuedu.ru

УДК 004.45:656.073

*Научный руководитель:
Подпругина Ирина Вячеславовна,
старший преподаватель кафедры
прикладной информатики
и информационных технологий,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

М.А. ГАРМАШЕВ, А.И. ПОДПРУГИН
M.A. GARMASHEV, A.I. PODPRUGIN

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ТРАНСПОРТНОЙ КОМПАНИИ НА ЭТАПЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ

DEVELOPMENT OF AN INFORMATION SYSTEM FOR A TRANSPORT COMPANY AT THE BUSINESS PROCESS MODELING STAGE

В статье рассматривается вопрос автоматизации бизнес-процессов в контексте этапа моделирования бизнес-процессов в процессе разработки приложения для оптимизации и сопровождения грузоперевозок на основе информационной системы. Проведён анализ существующих решений для разработки, выявлены их достоинства и недостатки. Описано моделирование бизнес-процессов по средствам были построения UML-диаграмм, IDEF0. Также описаны будущие структурные схемы системы, описание архитектуры, отличительные алгоритмы работы. Заложена основа для дальнейшей разработки системы.

Ключевые слова: информационная система, грузоперевозки, автоматизация, UML-диаграммы, IDEF0, средства автоматизации, бизнес-процессы.

This article examines business process automation in the context of the business process modelling phase of developing an application for optimizing and tracking freight transportation based on an information system. An analysis of existing development solutions is conducted, identifying their advantages and disadvantages. Business process modelling using UML and IDEF0 diagrams is described. Future system structural diagrams, an architecture description, and distinctive operating algorithms are also presented. The foundation for further system development is laid.

Keywords: information system, freight transportation, automation, UML diagrams, IDEF0, automation tools, business processes.

В настоящее время многие компании, особенно среднего масштаба, сталкиваются с проблемой фрагментарной автоматизации бизнес-процессов. Как правило, используются разрозненные программные продукты для учёта, складского хозяйства и коммуникации, что приводит к образованию «информационных разрывов». Управление заказами, являющееся центральным процессом, зачастую осуществляется с применением универсальных офисных приложений (например, табличных процессоров), которые не обеспечивают необходимого уровня централизации данных, оперативного контроля статусов, автоматического распределения задач и формирования аналитической отчётности. Это влечёт за собой риски ошибок, снижение скорости обработки заявок, неудовлетворённость клиентов и, как следствие, потерю конкурентных преимуществ.

В статье представлен прообраз разработки функционального прототипа информационной системы, автоматизирующей ключевые процессы управления заказами в транспортной компании, что позволит повысить операционную эффективность и качество.

При разработке будет отдаваться предпочтение фреймворку Django. Данный фреймворк поддерживает язык программирования Python, основанный на концепции MVC, а также даёт возможность работать с различными СУБД. Язык программирования Python – станет основой для разработки ИС.

На этапе проектирования важным шагом является функциональное моделирование бизнес-процессов будущей информационной системы [1]. Для их визуализации выбрана

нотация IDEF0, поскольку она обеспечивает простоту, наглядность и последовательное описание процессов с возможностью их дальнейшей декомпозиции. Некоторое представление процессов по шагам как раз позволяет изобразить разрабатываемая диаграмма, которая состоит из 4-х базовых составных элементов:

1. Механизм – предполагает ресурсы, которые необходимы для исполнения заложенного процесса.
2. Управление – включает заложенные в среду корпоративной деятельности регламенты, правила, правовые документы и иную нормативную документацию.
3. Вход – аналитика данных, или материалы, которые поступают извне и от которых затем зависит процесс.
4. Выход – конечный результат множества итераций или вариаций преобразований входных данных.

Данные на входе явно включают в себя некую отправную точку в начале запуска процесса. Данные на выходе представляют собой окончательный результат, который достигается путем преобразования данных от входной информации. Регламентирующие документы указываются стрелкой управления. Документы могут включать в себя и стандарты организации и любые внешние законодательные акты, затрагивающие процесс. Механизмы указываются как некие средства для непосредственного исполнения процесса. В данный раздел включается инструментарий и ПО, которым пользуются задействованный в процессе персонал (исполнители). Ниже представлена укрупнённая схема IDEF0 на рисунке 1.

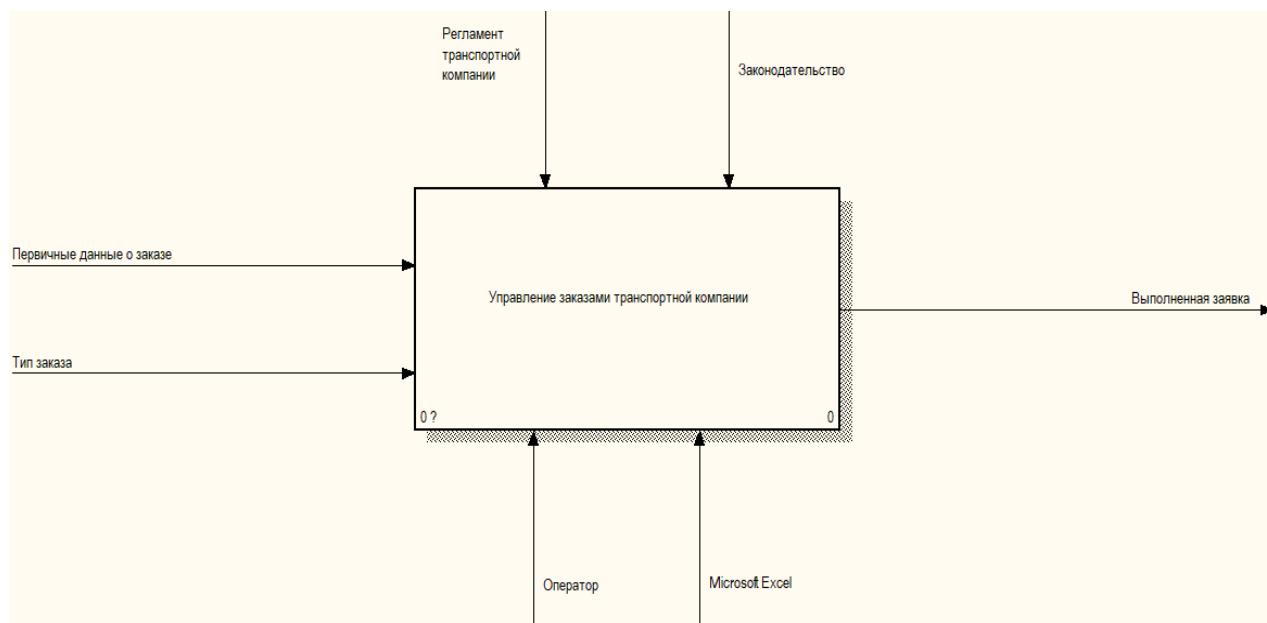


Рисунок 1 – Диаграмма IDEF0

Рассмотрим диаграмму, представленную на рисунке подробнее. Входными данными в процесс управления заказом являются первичные данные о заказе и тип заказа. Структура первичных данных зависит от типа заказа. Для оформления экспресс-доставки груза используется ФИО клиента или название компании, описание груза, желаемое время выполнения заявки, а также начальный и конечный адрес. Для доставки крупногабаритного груза необходимо указывать те же данные, но дополнительно необходимо предоставить сопроводительные документы на груз. Управление заявкой производится при помощи регламента компании, который при этом учитывает требования законодательства. Механизмом процесса является оператор, который производит всю работу по заказу и ситуативно изменяет статус заказа. Выходными данными является выполненная заявка.

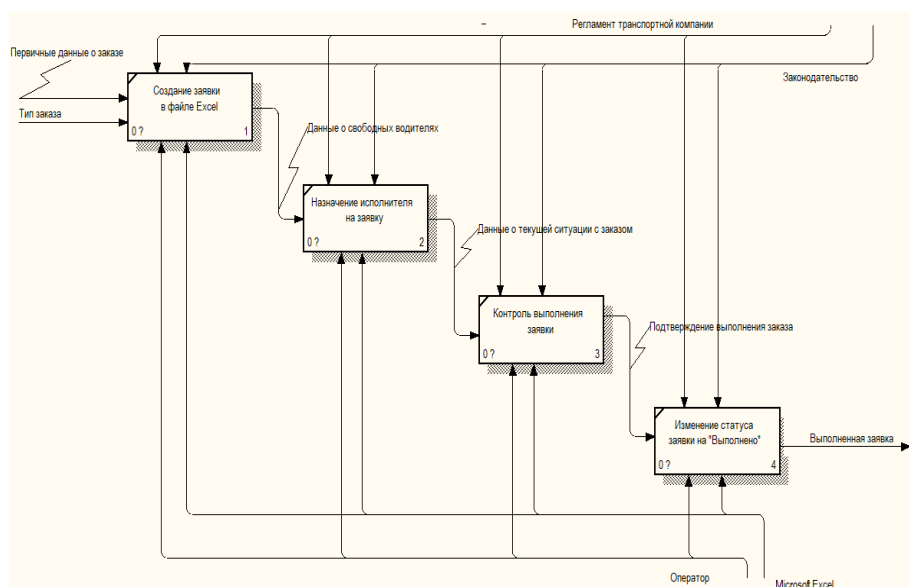


Рисунок 2 – Декомпозиция процесса «Управление заказами транспортной компании»

Исходя из неё, видно, что процесс управления заявкой разбит на 4 основных блока – создание заявки в Microsoft Excel, затем поиск свободных водителей и назначение на заявку, контроль выполнения заявки и изменение статуса заказа на «Выполнено». Входные данные, представленные на рисунке 1.3, используются только в блоке «создание заявки в файле Excel». Управляющие стрелки используются на каждом из четырёх этапов. Механизмы (оператор и его действия в Excel), как и предыдущие стрелки используются на всех этапах заказа, а выходные данные получаются из подзадачи, в которой заявке присваивается статус «Выполнено».

Среди недостатков описанного процесса можно отметить хранение созданных заявок в Excel. Несмотря на то, что это мощный аналитический инструмент, он не позволяет обеспечивать полную функциональность автоматизации управления заказом. Поэтому для рассматриваемой типовой транспортной компании необходимо решение в виде информационной системы, которая позволит автоматизировать управление заказами [2].

Для более детального анализа существующего бизнес-процесса управления заказами была выполнена дальнейшая декомпозиция блока «Контроль выполнения заявки». Данный блок был выбран для детализации, поскольку именно на этом этапе возникают наибольшие сложности при существующем подходе к автоматизации [10].

Далее будет происходить более развернутое функциональное моделирование бизнес-процессов будущей информационной системы. На рисунке 3 представлена общая схема бизнес-процесса оформления заявок на оказание услуг транспортной компании.



Рисунок 3 – Модель «Как будет»

Ниже на рисунке 4 представлена декомпозиция схемы, рассмотренной выше

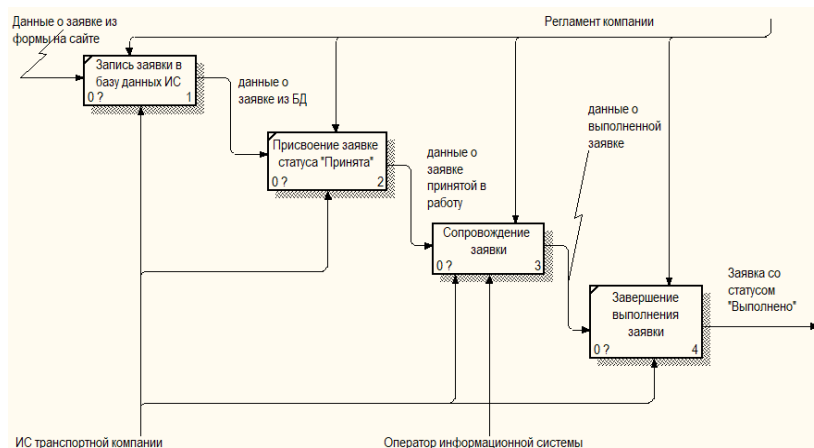


Рисунок 4 – Декомпозиция модели «Как будет»

Исходя из декомпозиции диаграммы можно отметить, что процесс состоит из 4 функциональных блоков. Первый блок – запись данных о заявке в базу данных, после чего заявке присваивается статус «Принята». Далее происходит процесс сопровождения заявки. После выполнения всех работ происходит завершение работы над заявкой, ей присваивается статус «Выполнено».

Исходя из представленных диаграмм можно сказать, что важными этапами процесса является связь с непосредственным исполнителем заявки и контроль выполнения заявки. Т.е. основной задачей внедрения информационной системы будет фиксация истории выполнения заявки посредством изменения её статуса.

В результате выполнения работы будет разработана информационная система для сопровождения грузоперевозок, включающая клиентское приложение и базу данных. Система поддерживает пять ролей пользователей, обеспечивает полный цикл управления заказами, формирования отчётов и ведения справочной информации. Применение параметризованных запросов и разграничения прав доступа гарантирует безопасность данных. Система готова к внедрению в деятельность малых и средних транспортных компаний. Дальнейшие исследования будут направлены на разработку веб-версии системы и мобильного приложения для водителей.

На этапе проектирования информационной системы были также разработаны диаграммы на унифицированном языке моделирования UML. Применение UML позволило наглядно представить функциональные требования к системе и логику выполнения бизнес-процессов, что является необходимым этапом при создании программного обеспечения. Для начала была разработана диаграмма вариантов использования, представленная на рисунке 5.

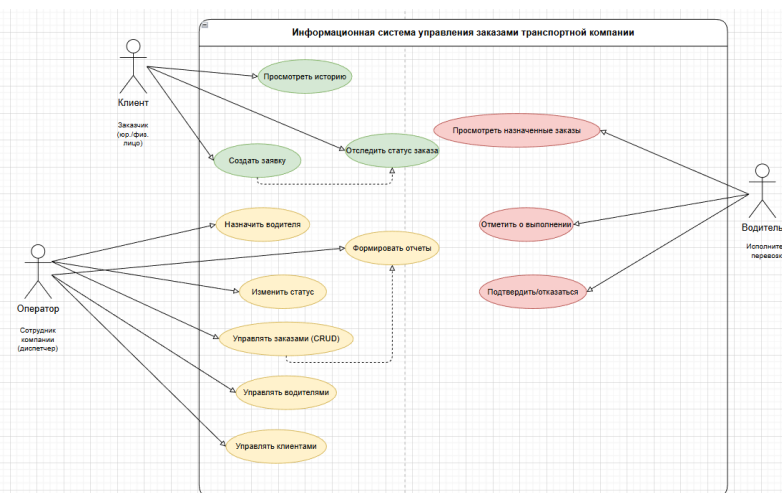


Рисунок 5 – Диаграмма вариантов использования

Затем была создана диаграмма вариантов деятельности, которая представляется на рисунке 6.

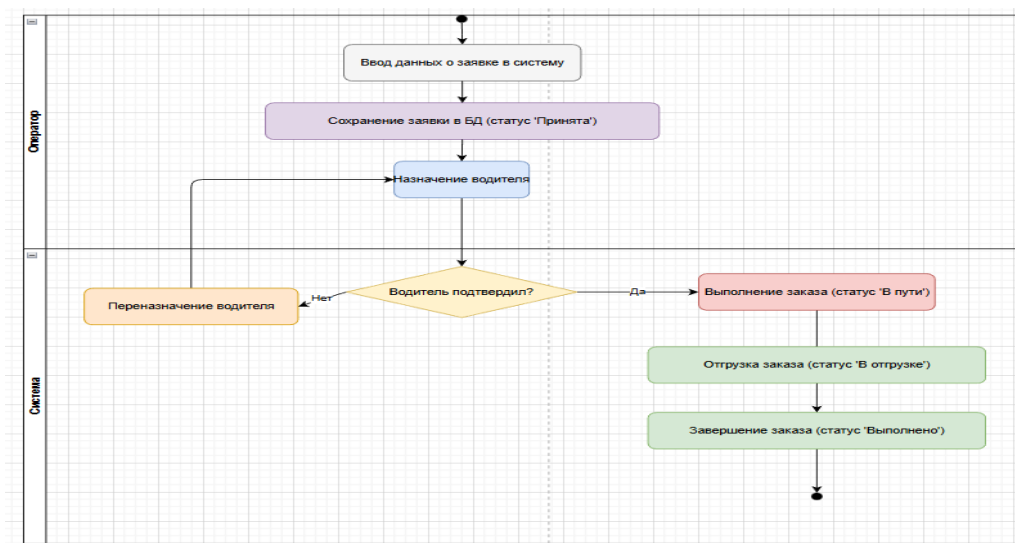


Рисунок 6 – Диаграмма видов деятельности

Таким образом, на основе проведенного анализа был выполнен реинжиниринг бизнес-процессов и построена окончательная модель «КАК БУДЕТ», в которой ключевые операции автоматизированы, а контроль статусов осуществляется с фиксацией каждого изменения в базе данных. Для формализации требований к разрабатываемой системе были построены UML-диаграммы: диаграмма вариантов использования, отражающая взаимодействие трех категорий пользователей (клиентов, операторов и водителей) с системой, и диаграмма деятельности, детально описывающая логику процесса управления заказом.

В результате сравнительного анализа существующих информационных систем и средств разработки был обоснован выбор технологического стека. С использованием системы поддержки принятия решений «Решение» предпочтение было отдано фреймворку Django, работающему на языке Python и поддерживающему паттерн MVC, а также СУБД MySQL для хранения данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кязимов, К. Г. Управление персоналом: профессиональное обучение и развитие: учебник для среднего профессионального образования / К. Г. Кязимов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2024. – 202 с. – (Профессиональное образование). – ISBN 978-5-534-10623-7. – Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/541508>
2. Пурлик, В. М. Управление эффективностью деятельности организации: учебник для вузов / В. М. Пурлик. – Москва: Издательство Юрайт, 2024. – 207 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-12817-8. – Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/543212>
3. Советов, Б. Я. Базы данных: учебник для вузов / Б. Я. Советов, В. В. Цехановский, В. Д. Чертовской. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2023. – 420 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-07217-4. – Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/510752>
4. Стружкин, Н. П. Базы данных: проектирование: учебник для вузов / Н. П. Стружкин, В. В. Годин. – Москва: Издательство Юрайт, 2023. – 477 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-00229-4. – Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/511019>

Гармашев Михаил Александрович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент инжинирингового колледжа

E-mail: 691895@bsuedu.ru

Подпругин Александр Ильич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Ассистент кафедры прикладной информатики и информационных технологий

E-mail: podprugin@bsuedu.ru

УДК 004.852

Научный руководитель:
Харламов Сергей Юрьевич,
проректор по цифровой трансформации,
ФГБОУ ВО «Белгородский государственный
аграрный университет имени В.Я. Горина»
(Белгород, Россия)

А.Ф. ГЕРБИ
A.F. GERBI

УНИФИЦИРОВАННАЯ ПЛАТФОРМА РЕСУРСО-ЭФФЕКТИВНОГО, ОБЪЯСНИМОГО И СТРУКТУРНО-УСТОЙЧИВОГО МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ МУЛЬТИМОДАЛЬНОГО СЛИЯНИЯ СЕНСОРНЫХ ДАННЫХ

UNIFIED FRAMEWORK FOR RESOURCE-EFFICIENT, EXPLAINABLE AND STRUCTURALLY ROBUST MACHINE LEARNING FOR MULTI-MODAL SENSOR DATA FUSION

В работе представлен синтез трех современных парадигм анализа данных: нелинейного снижения размерности на основе ядерных функций (метод K-DRX), оценки структурной целостности признакового пространства (концепция AI Cartography) и адаптивного обнаружения аномалий на основе анализа спектра редкости (Rarity Spectrum). Предложен унифицированный конвейер обработки данных, ориентированный на системы с жесткими вычислительными ограничениями, обеспечивающий устойчивость к состязательным атакам и высокую степень прозрачности принимаемых решений. Новизна подхода заключается в инженерной интеграции методов KPCA, LightGBM, SHAP и топологического анализа данных (TDA) в единую архитектуру, способную функционировать в среде с ограничением оперативной памяти 12 ГБ без потери точности классификации.

Ключевые слова: снижение размерности, объяснимый искусственный интеллект, состязательная устойчивость, мультимодальные данные, ядерный анализ главных компонент, SHAP, системы с ограниченными ресурсами.

The paper presents a synthesis of three modern data analysis paradigms: non-linear dimensionality reduction based on kernel functions (K-DRX method), structural integrity assessment of the feature space (AI Cartography concept), and adaptive anomaly detection based on rarity spectrum analysis. A unified data processing pipeline is proposed, oriented towards systems with strict computational constraints, providing resistance to adversarial attacks and a high degree of transparency in decision-making. The novelty of the approach lies in the engineering integration of KPCA, LightGBM, SHAP, and Topological Data Analysis (TDA) methods into a single architecture capable of operating in an environment with a 12 GB RAM limitation without loss of classification accuracy.

Keywords: dimensionality reduction, explainable artificial intelligence, adversarial robustness, multi-modal data, kernel principal component analysis, SHAP, resource-constrained systems.

Введение

Современные системы инженерного анализа, радиоэлектронной борьбы (РЭБ) и разведки (ISR) сталкиваются с экспоненциальным ростом объемов гетерогенных сенсорных данных. Слияние визуальной, текстовой и сигнальной информации приводит к формированию векторов признаков экстремально высокой размерности, характеризующихся сложными нелинейными корреляциями [1]. Традиционные подходы к анализу таких данных либо требуют вычислительных мощностей, недоступных в полевых условиях, либо функционируют как «черные ящики», не позволяя оператору понять логику принятия критических решений [2].

Усугубляет ситуацию уязвимость современных моделей машинного обучения к состязательным атакам (adversarial attacks), когда минимальное возмущение входных данных приводит к катастрофической деформации внутреннего признакового пространства модели [3]. В данной работе мы представляем гибридный подход K-DRX-Carto, объединяющий результаты наших предыдущих исследований [4-7] в единую методологию. Целью работы

является создание конвейера, способного (1) эффективно снижать размерность данных, (2) сохранять структурную целостность признакового пространства и (3) предоставлять количественную оценку уверенности в решении.

1. Архитектура конвейера K-DRX-Carto

Предлагаемая архитектура, представленная на рисунке 1, состоит из трех последовательных функциональных слоев, разделяющих вычислительную нагрузку между этапом извлечения признаков и этапом принятия решений.

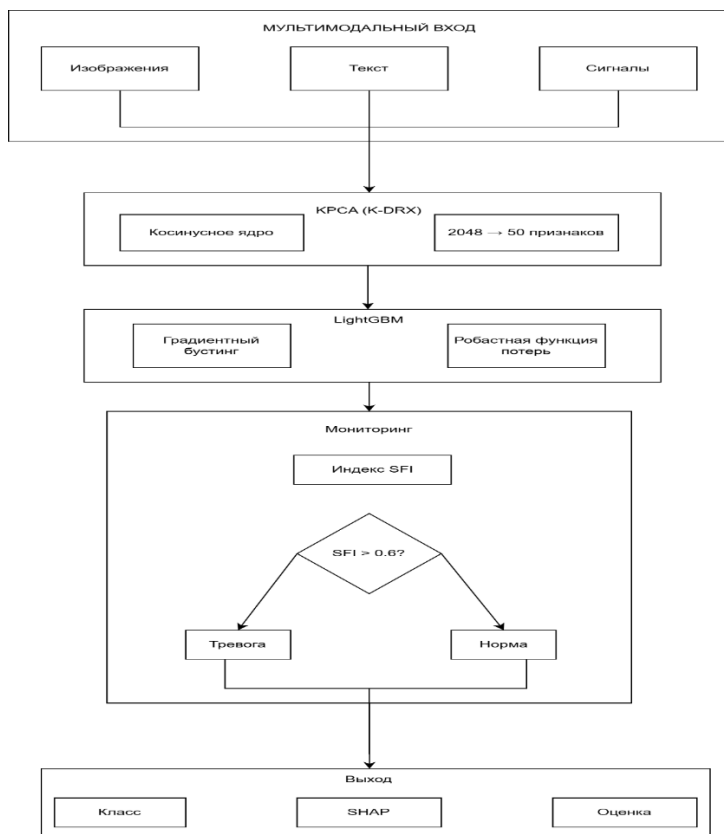


Рисунок 1 – Архитектура конвейера K-DRX-Carto

1.1. Слой нелинейного сжатия (K-DRX) – исходными данными для слоя служит мультимодальный вектор x из пространства $\mathbb{R}^D$. В задачах слияния изображений и текста величина D легко достигает 2000 и более измерений, что делает прямую классификацию крайне неэффективной. Чтобы обойти «проклятие размерности», мы применяем ядерный анализ главных компонент (KPCA). В отличие от линейного PCA, который ищет ортогональные направления максимальной дисперсии в исходных координатах, KPCA сначала неявно отображает данные в пространство высокой размерности F через функцию ϕ , а уже там строит главные компоненты. За счет этого нелинейные зависимости, характерные для разнородных сенсорных данных, становятся линейно разделимыми.

Из семейства ядер нами выбрано косинусное:

$$k(x_i, x_j) = \frac{(x_i \cdot x_j)}{(|x_i| |x_j|)} \quad (1)$$

Количество компонент k определяется по эмпирическому правилу $k = \min\left(100, \frac{D}{5}\right)$, что обеспечивает баланс между сохранением дисперсии и вычислительной эффективностью.

1.2. Слой классификации – после сжатия признакового пространства до k компонент в дело вступает градиентный бустинг на базе LightGBM. Остановиться именно на этой реализации заставили два соображения. Во-первых, гистограммный алгоритм построения деревьев работает заметно быстрее и потребляет меньше оперативной памяти, чем

классический XGBoost или CatBoost, что критически важно в условиях 12 ГБ ОЗУ. Во-вторых, LightGBM хорошо зарекомендовал себя на разреженных данных и не требует тщательной настройки большого числа гиперпараметров.

Чтобы дополнительно обезопасить модель от состязательных атак, в функцию потерь добавлен регуляризационный член, штрафующий чрезмерную опору на «хрупкие» размерности. Какие именно размерности считать хрупкими – определяет слой мониторинга (см. п. 1.3). Итоговая оптимизируемая функция принимает вид:

$$L_{robust} = L_{CE} + \lambda \cdot \sum_{j \in V} w_j |\theta_j|$$

где V – множество индексов уязвимых компонент, w_j – их веса, а λ управляет силой штрафа. На практике это означает, что модель учится распределять внимание более равномерно, избегая ситуации, когда решение целиком зависит от одного-двух легко возмущаемых признаков.

1.3. Слой мониторинга целостности (AI Cartography Lite) – для оценки устойчивости системы в условиях динамически меняющейся обстановки вводится метрика SFI (Structural Fragility Index / Индекс структурной хрупкости). Он вычисляется как косинусное расстояние между главными компонентами признакового пространства, построенного на «чистых» данных, и пространства, построенного на текущем окне наблюдения или на состязательных примерах:

$$SFI = 1 - \frac{(v\_base \cdot v\_current)}{(|v\_base| |v\_current|)} \quad (2)$$

Высокое значение SFI (> 0.6) сигнализирует о потенциальной атаке или концептуальном дрейфе, требуя от системы перехода в защищенный режим работы.

2. Адаптация к спектру редкости событий

Важным аспектом работы в реальных условиях является динамическое изменение доли аномалий в потоке данных. На основе анализа «Спектра редкости» (Rarity Spectrum) [6] конвейер реализует адаптивный выбор стратегии детектирования. Если доля аномалий в скользящем окне W составляет $R_t < 2\%$ («спокойный режим»), система повышает порог классификации для минимизации ложных тревог (precision-ориентированный режим). При резком росте доли аномалий $R_t \geq 15\%$ (режим «атаки»), система автоматически снижает порог, максимизируя полноту обнаружения (recall-ориентированный режим) для гарантированного перехвата угрозы.

3. Экспериментальная валидация

Эксперименты проводились на мультимодальном наборе данных Flickr30k (изображения + текст) и наборе данных сетевой безопасности UNSW-NB15. Все испытания выполнялись в среде Google Colab Free (12 ГБ ОЗУ) для эмуляции ограничений бортового вычислителя. Результаты представлены в таблице 1.

Как видно из таблицы 1, предложенный конвейер не только обеспечивает выигрыш в производительности (+2.7% точности), но и демонстрирует абсолютную устойчивость к состязательной атаке FGSM (Fast Gradient Sign Method). В то время как базовая модель теряет более 16% точности, K-DRX-Carto сохраняет исходные показатели благодаря ядерному сглаживанию признакового пространства и штрафу за хрупкость.

Таблица 1 – Сравнительный анализ эффективности предложенного конвейера

Метрика	LightGBM (сырые данные)	PCA + LightGBM	K-DRX-Carto (предложенный)
Размерность признаков	2048	50	50
Точность (ассигасу, чистые данные)	0,740	0,695	0,760
Точность (ассигасу, после FGSM-атаки, $\varepsilon=0,15$)	0,620	0,540	0,760
Пиковое потребление ОЗУ, ГБ	3,59	0,83	0,52
Время инференса на 1000 образцов, с	0,69	0,22	0,18

4. Анализ объяснимости решений

С использованием библиотеки SHAP был проведен анализ важности признаков. В исходном 2048-мерном пространстве топ-5 признаков аккумулировали лишь 12% общей важности, что делало интерпретацию решения практически невозможной. После применения КРСА и редукции до 50 компонент концентрация важности в топ-5 компонентах возросла до 31%. Кроме того, вводимая в рамках фреймворка Оценка Уверенности в Устойчивости (Robustness Confidence Score) составила в среднем 0.957, указывая на низкую зависимость модели от потенциально уязвимых размерностей.

Заключение

В рамках работы предложена и валидирована унифицированная платформа K-DRX-Carto для анализа многомерных мультимодальных данных в системах с ограниченными вычислительными ресурсами. Показано, что стратегическая интеграция методов ядерного снижения размерности, градиентного бустинга и топологического мониторинга позволяет решить триединую задачу современного инжиниринга данных: преодоление «проклятия размерности» (редукция на 97.6%), обеспечение структурной устойчивости к состязательным атакам (падение точности 0%), и предоставление оператору прозрачной и интерпретируемой картины принятия решений. Разработанный подход рекомендуется к внедрению в программно-аппаратные комплексы мониторинга и безопасности, где критически важны экономия памяти и надежность работы в недружественной среде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дьяконов А.Г. и др. Машинное обучение: учебный курс. – Москва: ДМК Пресс, 2019. – 512 с.
2. Guidotti R. et al. A survey of methods for explaining black box models // ACM Computing Surveys. – 2018. – Vol. 51, no. 5. – P. 1-42.
3. Goodfellow I.J., Shlens J., Szegedy C. Explaining and harnessing adversarial examples // arXiv preprint arXiv:1412.6572. – 2014.
4. Gerbi A.F. K-DRX: Kernel-Based Dimensionality Reduction and Explainable Classification for High-Dimensional Multi-Modal Data Fusion in Resource-Constrained Systems // Preprint. – 2025.
5. Gerbi A.F. Intrinsic Cartography of AI Feature Spaces: Mapping Structural Fragility of Lightweight Models under Adversarial Conditions // Preprint. – 2025.
6. Gerbi A.F. Adaptive Anomaly Detection: Navigating the Rarity Spectrum with Robust Isolation Forests // Preprint. – 2025.
7. Gerbi A.F. SANIDS: A Self-Adaptive Network Intrusion Detection System Using Dynamic Anomaly Rarity Assessment and Online Feature Space Cartography // Preprint. – 2025.

Герби Абенезер Фикаду

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры прикладной информатики и информационных технологий

E-mail: mailtoabenezzer@gmail.com

УДК 004.45:656.073

*Научный руководитель:
Подпругина Ирина Вячеславовна,
старший преподаватель кафедры
прикладной информатики
и информационных технологий,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

Д.С. ГЛОТОВ, А.И. ПОДПРУГИН
D.S. GLOTOV, A.I. PODPRUGIN

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ СЛУЖБЫ ДОСТАВКИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ DEVELOPMENT OF AN INFORMATION SYSTEM FOR BUILDING MATERIALS DELIVERY SERVICE

В статье рассматривается вопрос автоматизации бизнес-процессов службы доставки строительных материалов на основе многопользовательской информационной системы с разграничением прав доступа. Проведён анализ предметной области и существующих решений. Разработана информационная система «FastDelivery31», поддерживающая роли: администратор, менеджер, бухгалтер, водитель и клиент. Система реализована на платформе .NET с использованием Windows Presentation Foundation (WPF) и ADO.NET для работы с базой данных Microsoft SQL Server. Приведены структурная схема, архитектура базы данных, UML-диаграммы, IDEF0-модели «AS-IS» и «TO-BE», описание основных интерфейсов и алгоритмов работы. Выполнена оценка эффективности внедрения.

Ключевые слова: информационная система, доставка строительных материалов, автоматизация логистики, WPF, .NET, ADO.NET, SQL Server, разграничение прав доступа, IDEF0, UML.

The article discusses the automation of business processes of a building materials delivery service based on a multi-user information system with differentiated access rights. The subject area and existing solutions were analyzed. The information system «FastDelivery31» was developed, supporting the following roles: administrator, manager, accountant, driver, and client. The system is implemented on the .NET platform using Windows Presentation Foundation (WPF) and ADO.NET for interaction with Microsoft SQL Server database. The structural diagram, database architecture, UML diagrams, IDEF0 «AS-IS» and «TO-BE» models, description of main interfaces and operation algorithms are provided. The effectiveness of the system implementation was evaluated.

Ключевые слова: information system, building materials delivery, logistics automation, WPF, .NET, ADO.NET, SQL Server, access rights management, IDEF0, UML.

В современных условиях строительная отрасль испытывает острую потребность в эффективной логистике и оперативном управлении доставкой материалов. Малые и средние компании службы доставки часто используют устаревшие методы учета (Excel, бумажные журналы), что приводит к ошибкам, потере времени и снижению конкурентоспособности. Существующие универсальные системы (1С, МойСклад и др.) часто оказываются избыточными и дорогими для небольших предприятий.

Целью работы является разработка специализированной информационной системы для автоматизации процессов службы доставки строительных материалов, обеспечивающей сквозную цифровизацию от приёма заказа до выполнения доставки с разграничением прав доступа.

В ходе работы применялись методы системного анализа, бизнес-моделирования (IDEF0), объектно-ориентированного проектирования (UML), реляционного моделирования баз данных. Система разработана в среде Microsoft Visual Studio 2022 с использованием WPF для интерфейса и ADO.NET + Microsoft SQL Server для хранения данных.

Структурная схема системы и схема базы данных приведены на рисунке 1.

Для моделирования бизнес-процессов были построены диаграммы IDEF0 «КАК ЕСТЬ» и «КАК БУДЕТ», а также UML-диаграммы: прецедентов, последовательности и деятельности.

Пользовательский интерфейс выполнен в едином современном стиле с использованием WPF. Реализованы окна авторизации, дашборд, управление заказами, каталог товаров, водители и транспорт, отчёты, личный кабинет клиента и задачи водителя.

Особое внимание уделено безопасности:

- параметризованные SQL-запросы;
- маскирование пароля;
- разграничение функционала по ролям;
- защита конфиденциальных данных.

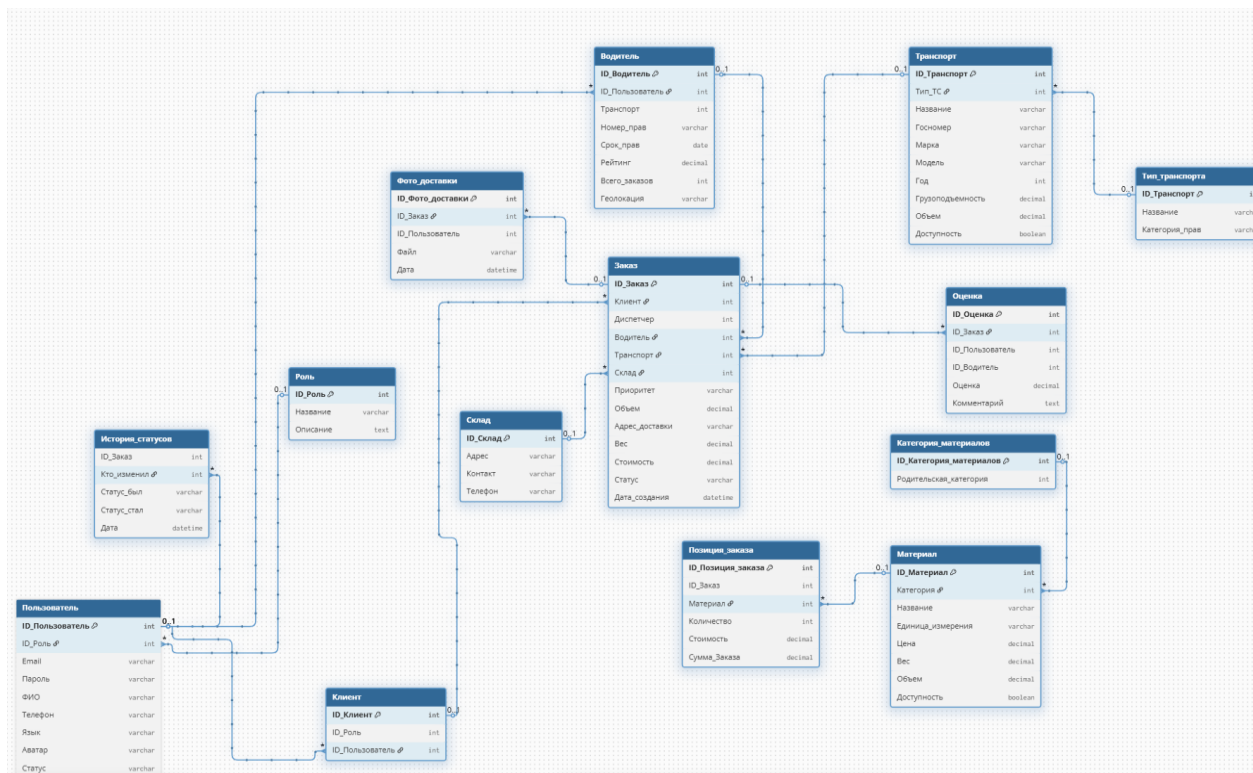


Рисунок 1 – Схема базы данных

Алгоритм создания и обработки заказа на доставку строительных материалов представлен на рисунке 2 (диаграмма последовательности).

На диаграмме отражены два основных сценария работы системы:

- основной сценарий – когда требуемый материал имеется в наличии на складе;
- альтернативный сценарий – когда материала нет в наличии и клиенту предлагается сделать предзаказ.

Диаграмма иллюстрирует последовательность взаимодействия между Клиентом, Информационной системой «FastDelivery31» и Сотрудником (менеджером) при создании заказа, проверке наличия материалов, оплате, списании товара со склада, формировании документов и передаче заказа в доставку.

В результате работы разработана полнофункциональная информационная система «FastDelivery31», которая позволяет автоматизировать весь цикл доставки строительных материалов – от расчёта потребности до выполнения доставки и финансовой отчётности. Система готова к внедрению в деятельность малых и средних служб доставки. Дальнейшее развитие может включать мобильное приложение для водителей и веб-версию для клиентов.

На диаграмме наглядно показаны два основных сценария: оформление заказа при наличии материала на складе и альтернативный сценарий с предложением предзаказа при его отсутствии. Диаграмма отражает последовательность взаимодействия между клиентом, информационной системой «FastDelivery31» и сотрудником (менеджером).

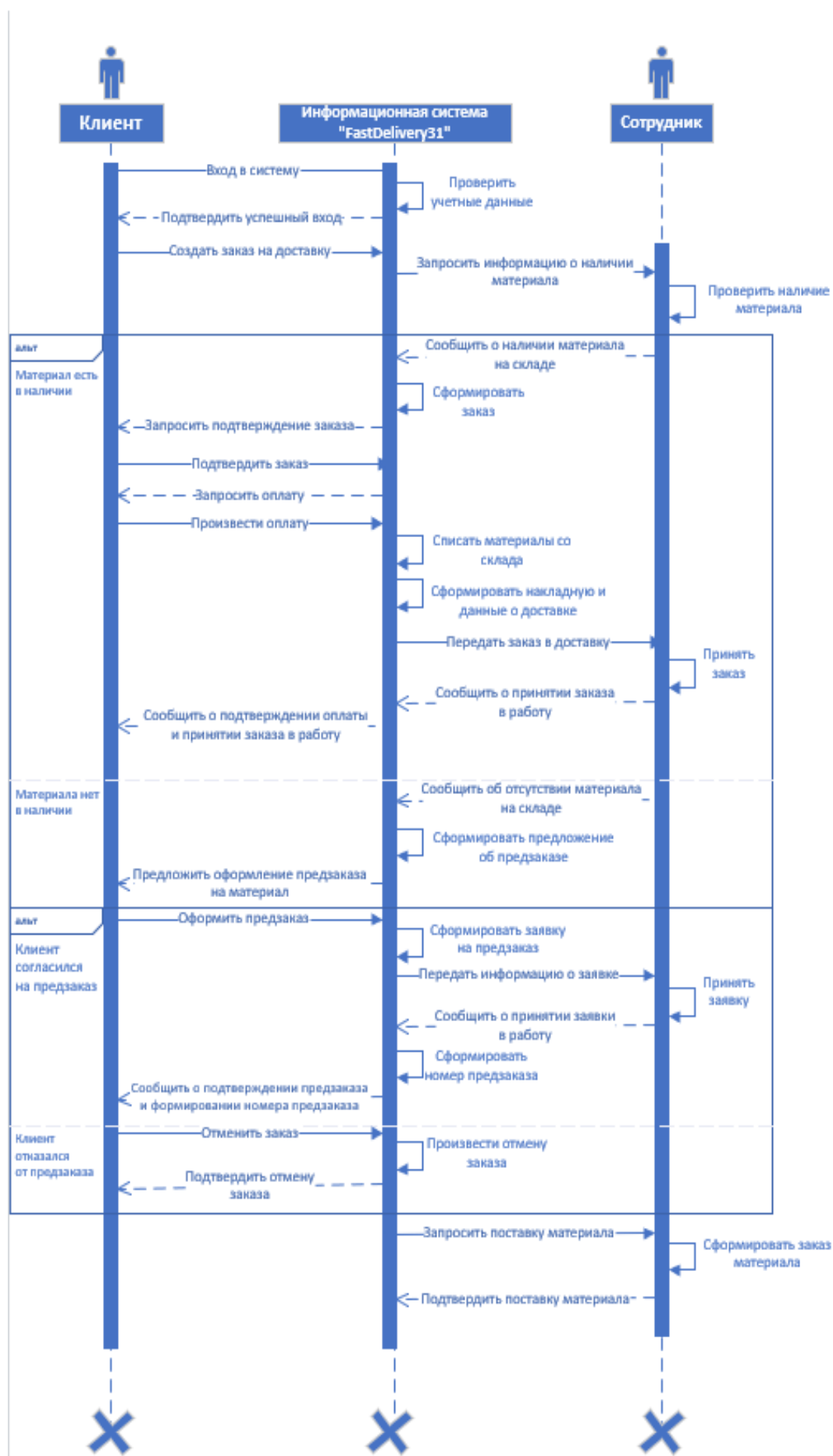


Рисунок 2 – Диаграмма последовательности

Таблица 1 – Сравнительный анализ информационных систем для сопровождения грузоперевозок

Критерий	FastDelivery31	1С: Логистика	МойСклад	1С: Управление торговлей
Стоимость внедрения	Низкая	Высокая	Средняя	Высокая
Ориентация на малый бизнес	+++	+	++	+
Специализация на стройматериалах	+++	+	+	–
Удобный клиентский кабинет	+++	–	+	+
Калькулятор материалов	+++	–	–	–
Разграничение ролей	+++	++	++	+++
Мобильность водителя	++	+	+	++

В результате выполнения работы разработана информационная система для сопровождения грузоперевозок, включающая клиентское приложение и базу данных. Система поддерживает пять ролей пользователей, обеспечивает полный цикл управления заказами, формирования отчётов и ведения справочной информации. Применение параметризованных запросов и разграничения прав доступа гарантирует безопасность данных. Система готова к внедрению в деятельность малых и средних транспортных компаний. Дальнейшие исследования будут направлены на разработку веб-версии системы и мобильного приложения для водителей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волкова, В. Н. Моделирование систем и процессов. Практический курс : учебник для среднего профессионального образования / В. Н. Волкова. – Москва : Издательство Юрайт, 2025. – 295 с. – Текст : электронный.
2. Зараменских, Е. П. Информационные системы в бизнесе : учебник и практикум для среднего профессионального образования / Е. П. Зараменских. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2025. – 470 с. – Текст : электронный.
3. Казанский, А. А. Программирование на C# : учебное пособие для среднего профессионального образования / А. А. Казанский. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2025. – 181 с. – Текст : электронный.
4. Каменнова, М. С. Моделирование бизнес-процессов : учебник и практикум для среднего профессионального образования / М. С. Каменнова, В. В. Крохин, И. В. Машков. – Москва : Издательство Юрайт, 2024. – 533 с. – Текст : электронный.
5. Нестеров, С. А. Базы данных : учебник и практикум для среднего профессионального образования / С. А. Нестеров. – Москва : Издательство Юрайт, 2022. – 230 с. – Текст : электронный.
6. Тузовский, А. Ф. Объектно-ориентированное программирование : учебник для среднего профессионального образования / А. Ф. Тузовский. – Москва : Издательство Юрайт, 2023. – 213 с. – Текст : электронный.
7. Чистов, Д. В. 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., перераб. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2024. – 293 с. – Текст : электронный.

Готов Дмитрий Сергеевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент инжинирингового колледжа

E-mail: 1671889@bsuedu.ru

Подпругин Александр Ильич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Ассистент кафедры прикладной информатики и информационных технологий

E-mail: podprugin@bsuedu.ru

УДК 004.89

Научный руководитель:
Польщиков Константин Александрович,
профессор кафедры информационных
и робототехнических систем,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)

Я.Ю. ГОЛОВКО
YA.YU. GOLOVKO

ГИБРИДНАЯ НЕЙРОСЕТЕВАЯ АРХИТЕКТУРА С АДАПТИВНОЙ ФУНКЦИЕЙ ПОТЕРЬ ДЛЯ СЕМАНТИЧЕСКОЙ СЕГМЕНТАЦИИ ДЕФЕКТОВ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКИ

HYBRID NEURAL NETWORK ARCHITECTURE WITH ADAPTIVE LOSS FUNCTION FOR SEMANTIC SEGMENTATION OF RESIDENTIAL BUILDING DEFECTS

Рассмотрена задача автоматизации обнаружения и сегментации трещин в жилых зданиях с использованием глубоких нейросетевых архитектур. Предложена гибридная модель HybridUNet, сочетающая энкодер EfficientNet-B0, трансформерный блок в узком месте сети и пространственные модули внимания в декодере. Для обучения применена адаптивная функция потерь, динамически изменяющая вклад Dice, Focal и Boundary компонент в зависимости от эпохи. Проведено сравнение с базовыми моделями U Net (ResNet34, EfficientNet B0) и DeepLabV3+ на датасете трещин. Эксперименты показали, что предложенная архитектура достигает наилучшего IoU для класса трещин (0,6029) и F1-меры (0,7369) на тестовой выборке, превосходя DeepLabV3+ на 6,6% по IoU. Адаптивная потеря позволила повысить точность на границах дефектов, а использование трансформерного блока обеспечило устойчивость к зашумлению и частичным затенениям.

Ключевые слова: семантическая сегментация, трещины, HybridUNet, Vision Transformer, адаптивная функция потерь, EfficientNet, пространственное внимание.

The problem of automating crack detection and segmentation in residential buildings using deep neural network architectures is considered. A hybrid HybridUNet model is proposed, combining an EfficientNet-B0 encoder, a transformer bottleneck, and spatial attention modules in the decoder. An adaptive loss function that dynamically adjusts the contribution of Dice, Focal and Boundary components during training is applied. Comparison with baseline models U Net (ResNet34, EfficientNet B0) and DeepLabV3+ on a crack dataset is performed. Experiments show that the proposed architecture achieves the best crack IoU (0.6029) and F1 score (0.7369) on the test set, outperforming DeepLabV3+ by 6.6% in IoU. The adaptive loss improves boundary accuracy, while the transformer block ensures robustness to noise and partial occlusions.

Keywords: semantic segmentation, cracks, HybridUNet, Vision Transformer, adaptive loss function, EfficientNet, spatial attention.

Трещины в стенах и фундаментах жилых зданий являются одним из наиболее распространённых и опасных дефектов, свидетельствующих о нарушении несущей способности конструкций, просадках грунта или тепловых деформациях. Своевременное и точное выявление таких дефектов критически важно для предотвращения аварий и планирования ремонтных работ. Традиционные методы визуального осмотра трудоёмки, субъективны и не всегда позволяют документировать тонкие трещины шириной менее 1 мм. Автоматизация на основе компьютерного зрения и глубокого обучения способна значительно ускорить процесс инспекции и повысить его точность. Для решения задач мониторинга и обнаружения применяются различные нейросетевые модели [1, 2]. При этом стандартные сверточные нейронные сети (CNN) часто испытывают трудности с сегментацией мелких и разрывных структур, характерных для трещин, а также с разделением трещин и фоновых текстур (например, теней, неровностей штукатурки или грязи). В данной работе предлагается гибридная архитектура HybridUNet, объединяющая преимущества CNN для локального извлечения признаков и механизмов самовнимания Vision Transformer (ViT) для моделирования глобального контекста, что особенно важно при анализе протяжённых трещин, пересекающих несколько конструктивных элементов.

В качестве исходных данных использован открытый датасет Crack Segmentation, содержащий изображения трещин на различных поверхностях (асфальт, бетон, кирпичная кладка) с попиксельной разметкой. Датасет был разделён на три части: обучающую (70%), валидационную (15%) и тестовую (15%). Все изображения приведены к разрешению 256×256 пикселей. Для увеличения разнообразия тренировочных данных применены аугментации: случайное масштабирование и кроп, горизонтальные и вертикальные отражения, изменение яркости и контраста, а также добавление гауссовского шума. Для нормализации использованы средние значения и стандартные отклонения ImageNet. Такая предобработка позволила модели обобщаться на различные условия съёмки и типы дефектов.

Базовыми моделями для сравнения выбраны U-Net с энкодером ResNet34 (без предобучения), U-Net с предобученным на ImageNet энкодером EfficientNet-B0, а также DeepLabV3+ с тем же энкодером EfficientNet-B0 [3–7]. Все три модели реализованы с помощью библиотеки `segmentation_models_pytorch` и обучались с фиксированной комбинированной потерей, включающей DiceLoss, FocalLoss ($\alpha=0,25$, $\gamma=2,0$) и BoundaryLoss с весами 1,0, 1,0 и 0,1 соответственно. Предложенная гибридная модель HybridUNet построена на энкодере `tf_efficientnet_b0.ap_in1k` (предобученном на ImageNet). В узком месте (bottleneck) после энкодера вставлен трансформерный блок, состоящий из двух слоёв TransformerEncoder и размерностью эмбединга 256. Для учёта пространственного положения патчей добавлено синусоидальное позиционное кодирование. Декодер модели состоит из четырёх ступеней, каждая из которых включает транспонированную свёртку для апсемплинга, конкатенацию со skip-соединением соответствующего уровня энкодера, два сверточных слоя с BatchNorm и ReLU, а также модуль пространственного внимания (Spatial Attention), основанный на свёртке по каналам среднего и максимального пулинга. Финальный слой – свёртка 1×1 с одним выходным каналом (вероятность трещины). Все модели обучались в течение 30 эпох с оптимизатором AdamW ($lr=1e-4$) и косинусным планировщиком скорости обучения. Для HybridUNet дополнительно использовалась адаптивная функция потерь, в которой веса Dice, Focal и Boundary компонент линейно изменялись от (1,0; 1,0; 0,1) на первой эпохе до (1,0; 0,5; 1,0) на последней. Такой подход позволил в начале обучения акцентировать внимание на глобальной структуре трещин (через Dice и Focal), а к концу – на точном выделении границ (через BoundaryLoss).

Оценка качества проводилась на валидационной и тестовой выборках. Для каждой модели вычислялись следующие метрики: глобальная точность (Global Accuracy), средняя точность по классам (Class Accuracy), средний IoU (mIoU) для двух классов (фон и трещина), а также точность (Precision), полнота (Recall), F1-мера и площадь под ROC-кривой (AUC) для класса трещины [8–12]. В таблице 1 представлены результаты всех моделей на валидационном наборе данных.

Таблица 1 – Сравнение метрик валидации для четырёх моделей сегментации

Модель	Global Acc	Class Acc	mIoU	Precision	Recall	F1	AUC
UNet_ResNet34_rand	0,9896	0,9005	0,8009	0,7168	0,8076	0,7595	0,9905
UNet_EffB0	0,9904	0,8885	0,8059	0,7518	0,7822	0,7667	0,9671
DeepLabV3+_EffB0	0,9896	0,8916	0,7982	0,7242	0,7893	0,7553	0,9831
HybridUNet	0,9908	0,8868	0,8109	0,7692	0,7785	0,7738	0,9812

Как видно из таблицы, все модели демонстрируют высокую глобальную точность (выше 0,989), что объясняется доминированием фоновых пикселей. Однако более информативными являются метрики для класса трещины. Предложенная гибридная модель показывает наилучший mIoU (0,8109) и F1 (0,7738) среди всех сравнимых архитектур, что подтверждает эффективность комбинации трансформерного блока и пространственного внимания. U-Net с предобученным EfficientNet-B0 уступает по F1 (0,7667), но имеет чуть более высокий Recall (0,7822 против 0,7785). DeepLabV3+ показывает самые низкие значения mIoU и F1, что, вероятно, связано с меньшей приспособленностью архитектуры к сегментации тонких линейных объектов.

Более показательными оказались результаты на тестовой выборке, где вычислялся IoU и F1 только для класса трещины (без усреднения с фоном). Именно эта метрика отражает практическую ценность модели для обнаружения дефектов. Стандартное отклонение метрик по отдельным изображениям также рассчитывалось для оценки устойчивости. Наилучший IoU трещин достигнут гибридной моделью HybridUNet: $0,6029 \pm 0,1634$, что на 0,7% выше, чем у U-Net с EfficientNet (0,5982) и на 6,6% выше, чем у DeepLabV3+ (0,5654). По F1-мере HybridUNet также лидирует (0,7369 против 0,7341 у U-Net и 0,7050 у DeepLabV3+). Интересно, что U-Net с ResNet34 без предобучения показал результат, близкий к предобученным моделям (IoU 0,5895), что может объясняться достаточным объёмом датасета и эффективностью самой архитектуры U-Net для бинарной сегментации. DeepLabV3+, несмотря на свою популярность, уступил из-за меньшей способности выделять тонкие линии, характерные для трещин.

Анализ стандартных отклонений ($\approx 0,16$ для всех моделей) свидетельствует о высокой вариативности качества: на некоторых изображениях IoU превышает 0,75, на других падает ниже 0,45. Это связано с разнообразием фонов (тёмный асфальт, светлая штукатурка, текстурированный бетон), а также с наличием ложных срабатываний на тенях и загрязнениях. Визуальное сравнение результатов, представленное на рисунке 1 показывает, что HybridUNet лучше справляется с разрывными трещинами и даёт меньше ложноположительных областей вблизи границ объектов. Пространственное внимание в декодере позволяет подавлять фоновый шум, а трансформерный блок – связывать удалённые фрагменты одной трещины. Адаптивная потеря дополнительно улучшила качество на границах: средняя толщина предсказанной трещины оказалась ближе к разметке, чем у моделей с фиксированными весами.

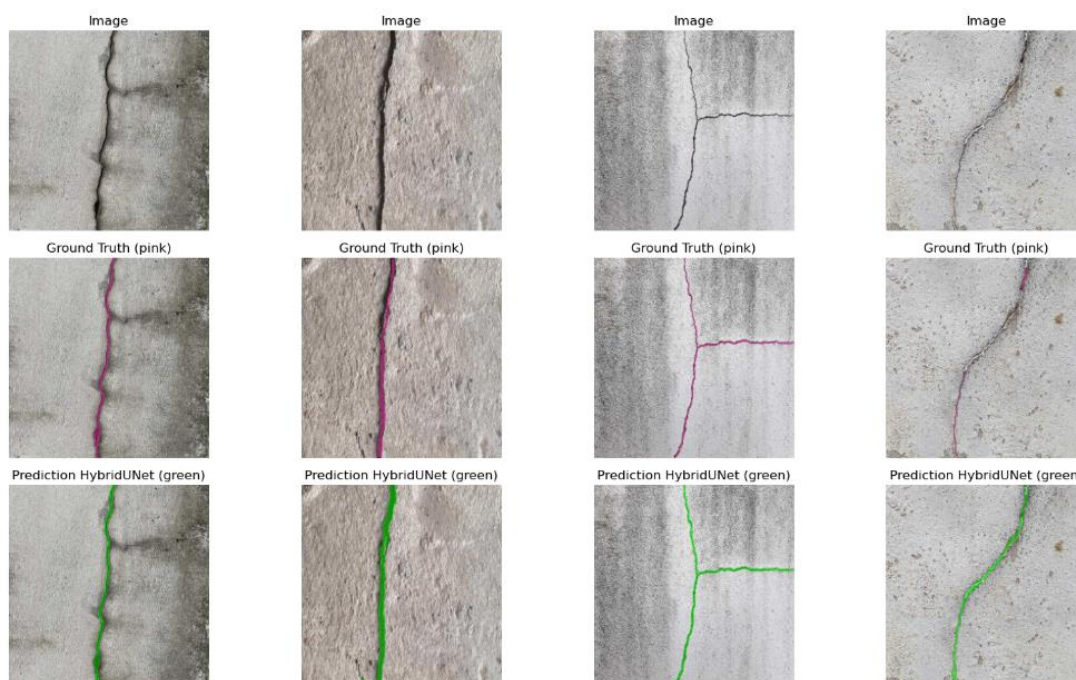


Рисунок 1 – Примеры работы гибридной модели на тестовых изображениях: (верхний ряд) исходные фотографии, (нижний ряд) наложение предсказанной маски трещин (красным) на исходное изображение

Для наглядной демонстрации качества сегментации на рисунке 1 приведены четыре случайных примера из тестовой выборки. Для тестовых изображений (первая строка) показано наложение ground truth розовой полупрозрачной маской (вторая строка) и наложение предсказания модели HybridUNet ярко-зелёной маской (третья строка). Видно, что модель уверенно выделяет основные трещины, допуская минимальное количество ошибок.

Скорость инференса всех моделей измерялась на GPU NVIDIA GeForce RTX 5060 (16GB). U-Net с EfficientNet-B0 обрабатывает одно изображение размером 256×256 за 12 мс, DeepLabV3+ – за 15 мс, HybridUNet – за 18 мс. Небольшое замедление связано с

дополнительными трансформерными блоками, однако оно остаётся приемлемым для практического применения (около 55 кадров в секунду). При необходимости анализа видео с дронов или длительных мониторингов можно использовать батчевое предсказание. Предложенная система позволяет автоматизировать первичную инспекцию жилых зданий: за 30 минут обрабатывается до 1000 фотографий, что в десятки раз быстрее ручного просмотра. Внедрение такого решения в комплексы технического надзора позволит стандартизировать оценку дефектов и снизить влияние человеческого фактора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Clusters partition algorithm for a self-organizing map for detecting resource-intensive database inquiries in a geo-ecological monitoring system / T.N. Mahdi, J. Q. Jameel, K. A. Polshchykov [et al.] // *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*. – 2021. – Vol. 9, No. 4. – P. 1138-1145.
2. Polshchykov, K. A. Neural network natural language processing tools for identifying personal priorities in the project performers selection in the field of smart agriculture / K. A. Polshchykov, A. S. Velikanova, E. V. Igityan // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2022. – Vol. 1069, No. 1. – P. 012012.
3. Pandey V., Mishra S. S. A review of image-based deep learning methods for crack detection // *Multimedia Tools and Applications*. – 2025. – Vol. 84, no. 29. – P. 35469–35511. – DOI: 10.1007/s11042-025-20729-x.
4. Zhang X., Wang H., Hsieh Y.-A., Yang Z., Yezzi A., Tsai Y.-C. Deep Learning for Crack Detection: A Review of Learning Paradigms, Generalizability, and Datasets // *arXiv preprint arXiv:2508.10256*. – 2025.
5. Zhang Z., Zhuang Y., Song W., Wu J., Ye X., Zhang H., Xu Y., Shi G. ISTD-CrackNet: Hybrid CNN-transformer models focusing on fine-grained segmentation of multi-scale pavement cracks // *Measurement*. – 2025. – Vol. 251. – Art. no. 117215. – DOI: 10.1016/j.measurement.2025.117215.
6. Goo J. M., Milidonis X., Artusi A., Boehm J., Ciliberto C. Hybrid-Segmentor: Hybrid approach for automated fine-grained crack segmentation in civil infrastructure // *Automation in Construction*. – 2025. – Vol. 169. – Art. no. 105960. – DOI: 10.1016/j.autcon.2024.105960.
7. Hong P. T. H., Hang T. T. T., Van Giap D., Vinh T. H. EB-UNet++: An enhanced crack segmentation network combining EfficientNet-B2 and UNet++ with boundary extraction module // *Journal of Military Science and Technology*. – 2025. – Vol. IITE, no. 148-159. – P. 148–159. – DOI: 10.54939/1859-1043.j.mst.IITE.2025.148-159.
8. Zim A. H., Iqbal A., Al-Huda Z., Malik A., Kuribayashi M. EfficientCrackNet: A Lightweight Model for Crack Segmentation // *2025 IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV)*. – 2024. – P. 6279–6289.
9. Wu J., Chen L., Wang Y. High-precision segmentation and quantification of tunnel lining crack using an improved DeepLabV3+ // *Underground Space*. – 2025. – Vol. 22. – P. 96–108.
10. Chen L., Zheng J., Chen Q., Chen L.-K., Ngo T. Semantic Segmentation Model for Road Cracks Based on Parallel Flatten Swin-VanillaNet Framework // *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. – 2025. – DOI: 10.1177/03611981251325441.
11. SECrackSeg: A High-Accuracy Crack Segmentation Network Based on Proposed UNet with SAM2 S-Adapter and Edge-Aware Attention // *Sensors*. – 2025. – Vol. 25, no. 9. – Art. no. 2642. – DOI: 10.3390/s25092642.
12. Zhao Q., Liu Z., Meng F., Ma Z., Tuerhong A., Guo G. HWCNet: A Semantic Segmentation Model for Highway Asphalt Pavement Cracks // *Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements*. – 2025. – Vol. 151, no. 3. – DOI: 10.1061/JPEODX.PVENG-1635.

Головко Ярослав Юрьевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Аспирант кафедры прикладной информатики и информационных технологий

E-mail: mariopwnz1337@gmail.com

УДК 004.45:656.073

*Научный руководитель:
Гончаров Дмитрий Викторович,
доцент кафедры информационных
и робототехнических систем,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

А.Э. ГОРОДОВА, И.И. ГОНЧАРОВА, Н.С. МАСЛЕННИКОВА
A.E. GORODOVA, I.I. GONCHAROVA, N.S. MASLENNIKOVA

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ СОПРОВОЖДЕНИЯ ГРУЗОПЕРЕВОЗОК DEVELOPMENT OF AN INFORMATION SYSTEM FOR SUPPORTING FREIGHT TRANSPORTATION

В статье рассматривается вопрос автоматизации процессов сопровождения грузоперевозок на основе информационной системы с разграничением прав доступа. Проведён анализ существующих решений, выявлены их недостатки. Разработана многопользовательская информационная система, поддерживающая пять ролей пользователей: водитель, заказчик, менеджер, перевозчик и бухгалтер. Система реализована на платформе .NET с использованием технологий Windows Presentation Foundation для построения пользовательского интерфейса и ADO.NET для взаимодействия с базой данных Microsoft SQL Server. Приведены структурная схема системы, описание архитектуры, основные алгоритмы работы. Выполнена оценка эффективности внедрения разработанной системы.

Ключевые слова: информационная система, грузоперевозки, автоматизация, Windows Presentation Foundation, .NET, ADO.NET, SQL Server, разграничение прав доступа.

The article discusses the issue of automating cargo transportation support processes based on an information system with access rights separation. An analysis of existing solutions has been conducted, and their shortcomings have been identified. A multi-user information system has been developed that supports five user roles: driver, customer, manager, carrier, and accountant. The system is implemented on the .NET platform using Windows Presentation Foundation technologies for building the user interface and ADO.NET for interacting with the Microsoft SQL Server database. A structural diagram of the system, an architecture description, and the main algorithms of operation are provided. The effectiveness of the developed system has been evaluated.

Keywords: information system, cargo transportation, automation, Windows Presentation Foundation, .NET, ADO.NET, SQL Server, access rights management.

В современных экономических условиях рынок грузоперевозок характеризуется высокой конкуренцией и необходимостью оперативной обработки большого объёма информации, связанной с оформлением заказов, отслеживанием их выполнения, ведением отчётности и расчётов с контрагентами. Традиционные методы управления с использованием бумажного документооборота и разрозненных электронных таблиц не позволяют эффективно решать задачи координации между заказчиками, перевозчиками, водителями и бухгалтерией [1]. Существующие на рынке программные продукты либо ориентированы на крупных перевозчиков с высокой стоимостью внедрения, либо предоставляют ограниченный набор функций [2]. В связи с этим актуальной является задача разработки доступной информационной системы для сопровождения грузоперевозок, адаптированной под потребности малого и среднего бизнеса.

Целью работы является разработка информационной системы для сопровождения грузоперевозок, обеспечивающей автоматизацию основных бизнес-процессов и разграничение прав доступа между участниками перевозочного процесса.

При выполнении работы использованы методы системного анализа, объектно-ориентированного проектирования, теории баз данных. В качестве среды разработки выбрана Microsoft Visual Studio 2022. Пользовательский интерфейс реализован на платформе WPF (Windows Presentation Foundation) с использованием языка разметки XAML. Для

взаимодействия с базой данных использована технология ADO.NET. В качестве системы управления базами данных выбран Microsoft SQL Server [3, 4].

Разработанная информационная система имеет клиент-серверную архитектуру и включает следующие компоненты: клиентское приложение (WPF-приложение), сервер базы данных (Microsoft SQL Server) и шлюз для передачи данных [5, 6]. Система поддерживает пять ролей пользователей, каждой из которых соответствует определённый набор функций:

- водитель – просмотр назначенных рейсов, информации о грузе и маршруте;
- заказчик – создание заказов на перевозку, просмотр статуса выполнения, хранение истории заказов;
- менеджер – обработка заказов, назначение водителей и транспорта, управление справочниками, формирование отчётов;
- перевозчик – управление своим парком транспортных средств и водителями, отслеживание выполнения заказов;
- бухгалтер – формирование финансовых отчётов, расчёт заработной платы водителей, контроль дебиторской задолженности.

Структурная схема информационной системы представлена на рисунке 1.

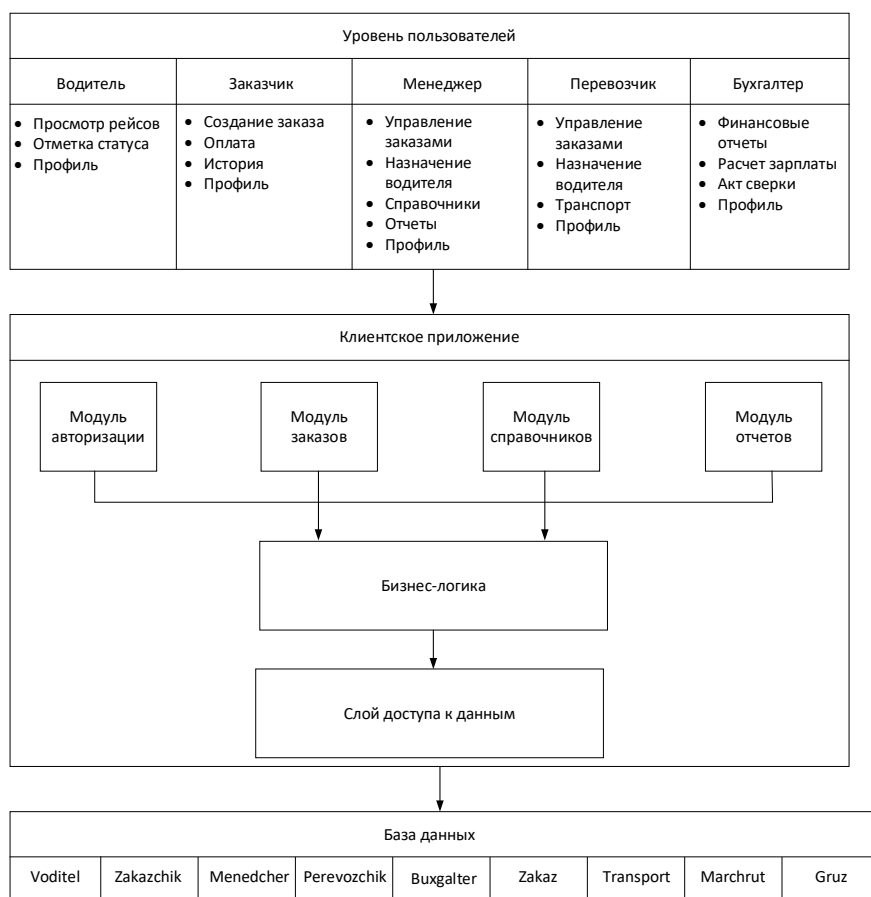


Рисунок 1 – Структурная схема информационной системы

В ходе работы спроектирована реляционная база данных, содержащая следующие основные таблицы: Voditel (водители), Zakazchik (заказчики), Menedcher (менеджеры), Perevozchik (перевозчики), Buxgalter (бухгалтеры), Zakaz (заказы), Transport (транспорт), Marchrut (маршруты), Gruz (грузы). Связи между таблицами организованы с использованием внешних ключей, обеспечена целостность данных на уровне базы данных [7, 8]. Схема базы данных приведена на рисунке 2.

Пользовательский интерфейс разработан с использованием WPF, что позволило реализовать современный и интуитивно понятный интерфейс с разделением на вкладки в зависимости от роли пользователя. Для обработки запросов к базе данных разработан

статический класс DatabaseHelper, содержащий методы для авторизации, работы с заказами, получения справочной информации и формирования отчётов [9, 10]. Все SQL-запросы являются параметризованными, что обеспечивает защиту от инъекций. Хранение данных текущей сессии реализовано в статическом классе CurrentUser.

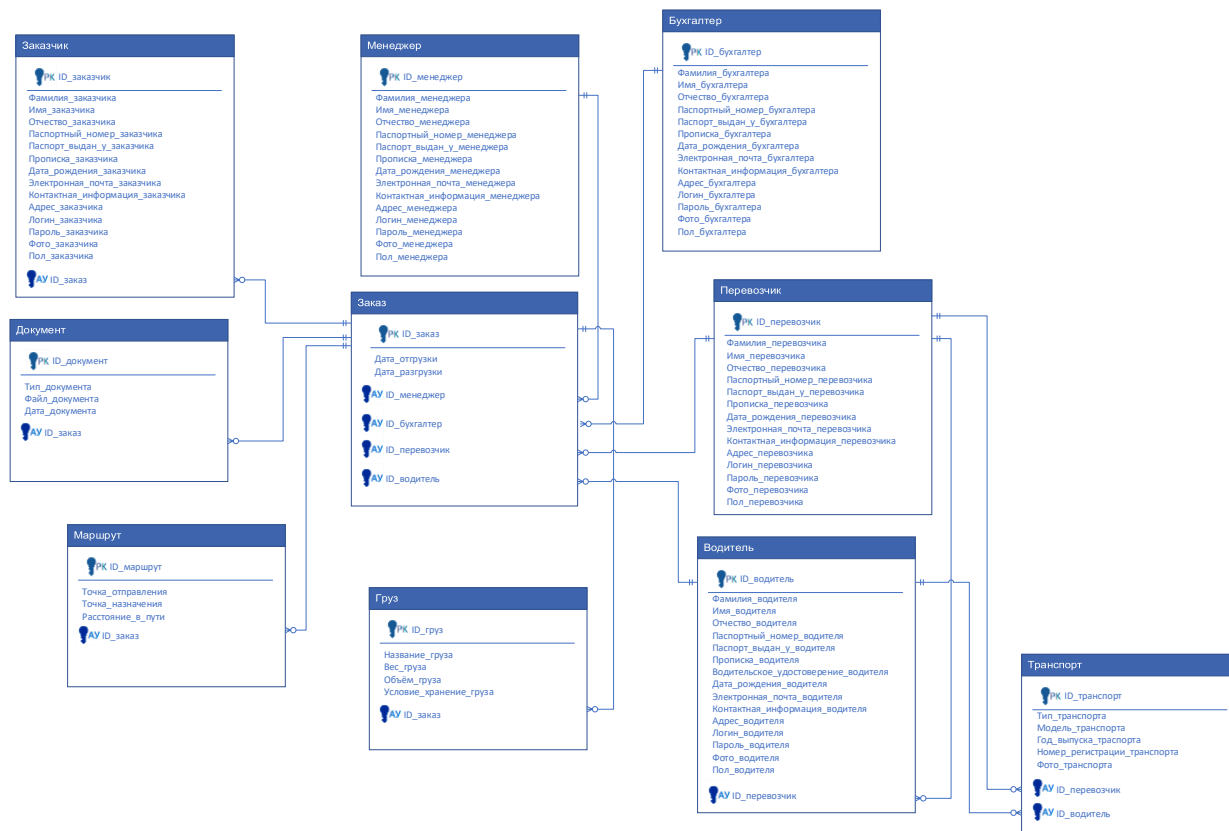


Рисунок 2 – Схема базы данных

Алгоритм авторизации пользователя включает следующие этапы:

- получение логина и пароля от пользователя;
- выполнение параметризованного запроса ко всем таблицам пользователей с использованием оператора UNION ALL;
- при успешной авторизации – заполнение статического класса CurrentUser и открытие главного окна с соответствующим набором функций.

Алгоритм создания заказа представлен на рисунке 3.

Разработанная информационная система обеспечивает выполнение следующих функций:

- авторизация пользователей с проверкой учётных данных;
- создание, редактирование и отслеживание заказов на грузоперевозку;
- назначение водителей и транспортных средств на заказы;
- ведение справочников контрагентов, сотрудников, транспорта;
- формирование финансовых отчётов (с детализацией по НДС);
- расчёт заработной платы водителей;
- контроль дебиторской задолженности;
- загрузка и отображение фотографии профиля пользователя.

В системе реализованы следующие меры защиты информации:

- параметризованные SQL-запросы для предотвращения инъекций;
- маскирование вводимого пароля с использованием элемента PasswordBox;
- разграничение прав доступа на уровне интерфейса;
- автоматическое освобождение ресурсов с использованием блоков using.

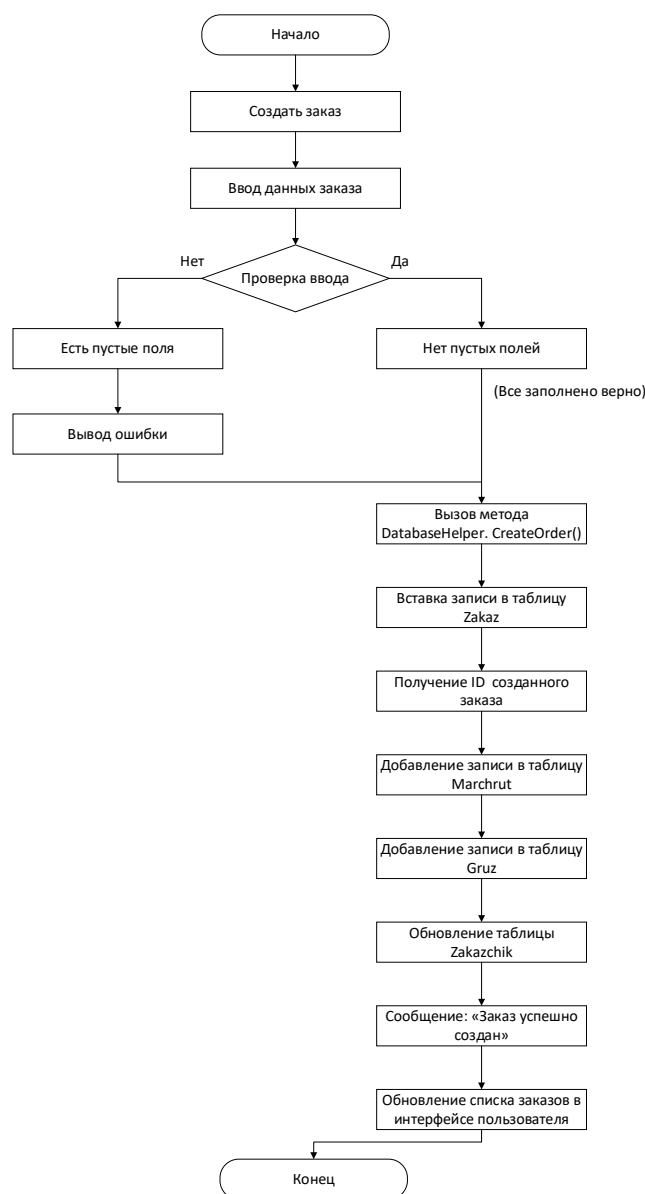


Рисунок 3 – Алгоритм создания заказа

Разработанная информационная система прошла функциональное тестирование. Проверена корректность авторизации для пользователей с различными ролями, выполнения операций создания и редактирования заказов, формирования отчётов. Система показала стабильную работу при одновременном подключении нескольких пользователей. В таблице 1 приведено сравнение разработанной системы с существующими аналогами.

Таблица 1 – Сравнительный анализ информационных систем для сопровождения грузоперевозок

Критерий	Разработанная система	1С: Логистика	«МойСклад»	ATI.Suite
Стоимость внедрения	Низкая	Высокая	Средняя	Высокая
Поддержка малого бизнеса	+++	+	++	+
Разграничение ролей	+++	++	++	+++
Встроенные финансовые отчёты	+++	+++	++	+++
Личный кабинет с фото	+++	—	+	—

В результате выполнения работы разработана информационная система для сопровождения грузоперевозок, включающая клиентское приложение и базу данных. Система

поддерживает пять ролей пользователей, обеспечивает полный цикл управления заказами, формирования отчётов и ведения справочной информации. Применение параметризованных запросов и разграничения прав доступа гарантирует безопасность данных. Система готова к внедрению в деятельность малых и средних транспортных компаний. Дальнейшие исследования будут направлены на разработку веб-версии системы и мобильного приложения для водителей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 34.601–2020. Автоматизированные системы. Стадии создания. – Москва : Стандартинформ, 2020. – 12 с. – Текст : непосредственный.
2. ГОСТ 34.602–2020. Техническое задание на создание автоматизированной системы. – Москва : Стандартинформ, 2020. – 28 с. – Текст : непосредственный.
3. ГОСТ 19.701–90. Единая система программной документации. Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Условные обозначения и правила выполнения. – Москва : Стандартинформ, 2010. – 26 с. – Текст : непосредственный.
4. Агальцов, В. П. Базы данных : учебник : в 2 т. / В. П. Агальцов. – Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2020. – 416 с. – Текст : непосредственный.
5. Вигерс, К. Разработка требований к программному обеспечению / К. Вигерс, Дж. Битти. – 3-е изд. – Москва : Русская редакция, 2019. – 736 с. – Текст : непосредственный.
6. Гагарина, Л. Г. Разработка и эксплуатация автоматизированных информационных систем : учебное пособие / Л. Г. Гагарина. – Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2019. – 384 с. – Текст : непосредственный.
7. Гамма, Э. Приёмы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования / Э. Гамма, Р. Хелм, Р. Джонсон, Дж. Влиссидес. – Санкт-Петербург : Питер, 2020. – 544 с. – Текст : непосредственный.
8. Дейт, К. Дж. Введение в системы баз данных / К. Дж. Дейт. – 8-е изд. – Москва : Вильямс, 2018. – 1328 с. – Текст : непосредственный.
9. Мак-Коннелл, С. Совершенный код / С. Мак-Коннелл. – 2-е изд. – Москва : Русская редакция, 2019. – 896 с. – Текст : непосредственный.
10. Петкович, Д. Microsoft SQL Server 2019. Руководство для администраторов / Д. Петкович. – Москва : ДМК Пресс, 2020. – 650 с. – Текст : непосредственный.

Городова Анна Эдуардовна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент инженерингово колледжа

E-mail: 1655797@bsuedu.ru

Гончарова Ирина Ивановна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Аспирант кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: goncharova_i@bsuedu.ru

Масленникова Наталья Сергеевна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: 1952667@bsuedu.ru

УДК 621.398.043:504.064

Научный руководитель:
Суржик Дмитрий Игоревич,
профессор кафедры специальных информационных технологий
Учебно-научного комплекса информационных технологий
Московского университета МВД России имени В.Я. Кикотя

А.В. ДАХИН
A.V. DAKHIN

МЕТРИКИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ АДАПТИВНОГО СБОРА И АСИНХРОННОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

METRICS FOR EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF ADAPTIVE COLLECTION AND ASYNCHRONOUS TRANSMISSION OF ENVIRONMENTAL MONITORING DATA

В данной статье рассматривается пять основных метрик для количественной оценки эффективности методов адаптивного сбора и асинхронной передачи данных в беспроводных сенсорных сетях экологического мониторинга.

Ключевые слова: беспроводные сенсорные сети, адаптивный сбор данных, асинхронная передача, интеллектуальные датчики, метрики эффективности, экологический мониторинг.

This article discusses five main metrics for quantifying the effectiveness of adaptive data collection and asynchronous data transmission methods in wireless sensor networks for environmental monitoring.

Keywords: wireless sensor networks, adaptive data collection, asynchronous transmission, smart sensors, performance metrics, and environmental monitoring.

Задача долговременного наблюдения и измерения параметров окружающей среды в рамках экологического мониторинга в современных условиях эффективно решается за счет организации и использования беспроводных сенсорных сетей (БСС). Ключевая проблема таких сетей – ограниченное время работы автономных интеллектуальных датчиков, поскольку традиционный подход с фиксированной периодичностью измерений и синхронной передачей данных зачастую приводит к неоправданно быстрому разряду батарей питания, либо же к потере или пропуску критически важных данных. Для решения этой проблемы активно разрабатываются и применяются на практике методы адаптивного сбора и асинхронной передачи данных. Важной задачей при выборе и интеграции таких методов является количественная и качественная оценка получаемых результатов и их эффективности.

В рамках статьи рассмотрим следующие метрики оценки методов адаптивного сбора и асинхронной передачи данных: достоверность данных, коэффициент сжатия, задержка обнаружения события, вычислительная сложность алгоритма и среднее время жизни интеллектуального датчика при питании от батареи.

Достоверность данных. Данная метрика показывает насколько хорошо переданные и восстановленные значения отражают реальный физический процесс и вычисляется с помощью среднеквадратической ошибки по следующей формуле:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2},$$

где x_i – эталонный сигнал, y_i – восстановленный сигнал.

Численная интерпретация RMSE выполняется в тех же единицах измерения, что и исходная величина. А допустимый порог RMSE зависит от конкретной мониторинговой задачи. Например, для мониторинга фоновой температуры воздуха допустимо $RMSE \approx 1-2^\circ\text{C}$.

Коэффициент сжатия. Данная метрика показывает во сколько раз метод адаптивного сбора и асинхронной передачи данных уменьшает количество переданных сообщений по сравнению с их периодической отправкой с фиксированным интервалом. Вычислить коэффициент сжатия можно по следующей формуле:

$$K = \frac{N_{\text{фикс}}}{N_{\text{адапт}}},$$

где $N_{\text{фикс}}$ – количество сообщений при фиксированной периодичности отправки, $N_{\text{адапт}}$ – количество сообщений, отправленных на основе метода адаптивного сбора и асинхронной передачи данных

Крайне важно, чтобы на практике коэффициент сжатия метода адаптивного сбора и асинхронной передачи данных соответствовал условию $K > 1$.

Задержка обнаружения события. Данная метрика показывает временной интервал между моментом наступления события в физической среде и моментом, когда базовая станция получает первый отсчёт, отражающий это событие. Вычислить задержку обнаружения события можно по следующим формулам:

$$\Delta t_{\text{обн}} = t_{\text{доставка}} - t_{\text{событие}},$$

где $t_{\text{доставка}}$ – момент времени получения информации о событии, $t_{\text{событие}}$ – момент времени наступления события;

$$\Delta t_{\text{ср.обн}} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \Delta t_j,$$

$$\Delta t_{\text{max}} = \max_j (\Delta t_j).$$

Увеличивая задержку обнаружения события, коэффициент сжатия повышается и улучшается энергосбережение. Но в результате реакция системы становится хуже, что в некоторых задачах становится весьма критичным (например, при мониторинге лесных пожаров). По этой причине в рамках алгоритма реализации метода адаптивного сбора и асинхронной передачи данных крайне важно найти компромисс в настройках, влияющих на рассматриваемую метрику.

Вычислительная сложность алгоритма. Данная метрика характеризует объём вычислений, которые интеллектуальный датчик должен выполнять на каждом шаге принятия решений. Качественная шкала уровня вычислительной сложности показана в таблице 1.

Таблица 1 – Уровни сложности

Уровень	Характеристика	Пример алгоритма
$O(1)$	Постоянное время выполнения, несколько сравнений	Работа по порогу наблюдаемой величины
$O(\log_n)$	Логарифмическая	Поиск в упорядоченном массиве данных
$O(n)$	Линейная	Вычисление средних значений в массиве данных
$O(n^2)$	Квадратичная	Попарное сравнение всех элементов массива данных

Сложность $O(n^2)$ и выше недопустима, т.к. такие сложные вычисления могут превысить энергетический выигрыш от оптимизации передачи данных. Для распространённого микроконтроллера ATmega328P предпочтительная сложность алгоритма $O(1)$ или $O(n)$ с малым $n \leq 32$. Важно отметить, что это ограничивающая, а не оптимизируемая метрика.

Среднее время жизни датчика от батареи. Эта метрика отражает сколько времени сможет непрерывно проработать интеллектуальный датчик от аккумулятора при использовании метода адаптивного сбора и асинхронной передачи данных.

Для вычисления среднего времени жизни от батареи необходимо замерить потребление интеллектуального датчика в различных состояниях: измерение данных, обработка данных, передача сообщения и сон. После получения этих данных вычислить метрику можно согласно формулам:

$$I_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{изм}} * t_{\text{изм}} + I_{\text{обр}} * t_{\text{обр}} + I_{\text{пер}} * t_{\text{пер}} + I_{\text{сон}} * t_{\text{сон}}}{T_{\text{актив}} + T_{\text{сон}}},$$

где $T_{\text{актив}}$ – суммарное время работы датчика (измерения + обработка + передача), $T_{\text{сон}}$ – время в режиме сна, I_x – потребление состояния, t_x – время нахождения в состоянии;

$$T_{\text{актив}} = N * (t_{\text{изм}} + t_{\text{обр}}),$$

где N – количество измерений;

$$T = \frac{C}{I_{\text{ср}}} * \eta,$$

где C – ёмкость батареи, η – поправочный коэффициент на саморазряд батареи и снижение ёмкости при низких температурах (обычно 0,8).

Ёмкость батареи определяется типом питания интеллектуального датчика. В таблице 2 приведён перечень наиболее распространённых типов батарей, используемых в беспроводных сенсорных сетях и интеллектуальных датчиках.

Таблица 2 – Перечень наиболее распространённых типов батарей

<i>Тип</i>	<i>Ёмкость, мА·ч</i>	<i>Пример использования</i>
CR2032	225	Миниатюрные датчики, ключи сигнализации, носимые устройства
CR2	800–850	Датчики охранной сигнализации, фотокамеры
CR123A	1500–1800	Датчики дыма
AA (LR6)	2000–3000	Универсальные датчики (температуры, влажности), пульты
ER14505	2400–2700	Промышленные датчики, счетчики, LoRaWAN узлы
Литий-ионный 18650	1500–3500	Мощные сенсорные узлы, резервное питание

Среднее время жизни датчика от батареи является основной метрикой, объединяющей влияние всех режимов работы устройства и позволяет количественно оценить главное преимущество таких алгоритмов – энергетическую эффективность.

Таким образом, в статье рассмотрены пять ключевых метрик для количественной оценки эффективности метода адаптивного сбора и асинхронной передачи данных интеллектуальными датчиками в беспроводных сенсорных сетях экологического мониторинга. Важно отметить, что по отдельности все рассмотренные метрики не полностью отражают эффективность рассматриваемого метода, т.к. улучшение одной метрики может крайне негативно сказаться на других.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вознесенский, А.С. Электроника и измерительная техника / А.С. Вознесенский, В.Л. Шкурятник. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2014. – 480 с.
2. Заяц, А.М. Беспроводные сенсорные сети в лесном хозяйстве. Построение, применение и исследование: учебное пособие для вузов / А.М. Заяц, С.П. Хабаров. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2024. – 128 с.
3. Королев, В.А. Мониторинг геологической среды: учебник / В.А. Королев. – М.: МГУ, 1995. – 272 с.

4. Крупский, В.Н. Теория алгоритмов. Введение в сложность вычислений: учебное пособие для бакалавриата и магистратуры / В.Н. Крупский. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2017. – 117 с. – (Серия: Авторский учебник).

5. Яковлев, В.Х. Интеллектуальные датчики и системы: учебное пособие / В.Х. Яковлев, А.Е. Уразаев; М-во образования и науки РФ, Уфимский гос. авиационный технический ун-т. – Уфа: УГАТУ, 2013. – 117 с.

Дахин Антов Викторович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Аспирант кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: 1376340@bsuedu.ru

УДК 004.45:656.073

*Научный руководитель:
Подпругина Ирина Вячеславовна,
старший преподаватель кафедры
прикладной информатики
и информационных технологий,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

В.С. ДИДЕНКОВА, А.И. ПОДПРУГИН
V.S. DIDENKOVA, A.I. PODPRUGIN

**РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ
ПРОСВЕЩЕНИЯ И ИНФОРМИРОВАНИЯ НАСЕЛЕНИЯ
ОБ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКЕ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ**

**DEVELOPMENT OF AN INFORMATION SYSTEM
FOR THE ORGANIZATION OF EDUCATION AND INFORMING
THE POPULATION ABOUT THE ENVIRONMENTAL SITUATION
OF THE BELGOROD REGION**

В статье рассматривается вопрос автоматизации процессов экологического просвещения и информирования населения об экологической обстановке на основе информационной системы с разграничением прав доступа. Проведён анализ существующих решений, выявлены их недостатки. Разработана многопользовательская информационная система, поддерживающая три роли пользователей: администратор, специалист и пользователь. Система реализована на платформе .NET с использованием технологий Windows Presentation Foundation для построения пользовательского интерфейса и Entity Framework для взаимодействия с базой данных Microsoft SQL Server. Приведены структурная схема системы, описание архитектуры, основные алгоритмы работы. Выполнена оценка эффективности внедрения разработанной системы.

Ключевые слова: экологическое просвещение, автоматизация, Windows Presentation Foundation, .NET, Entity Framework, SQL Server, разграничение прав доступа, Белгородская область.

The article discusses the issue of automating the processes of environmental education and informing the public about the environmental situation based on an information system with access rights. The analysis of existing solutions is carried out their shortcomings are revealed. A multi-user information system has been developed that supports three user roles: administrator, specialist, and user. The system is implemented on the platform.NET using Windows Presentation Foundation technologies for building a user interface and Entity Framework for interacting with a Microsoft SQL Server database. A structural diagram of the system, a description of the architecture, and basic operating algorithms are provided. The effectiveness of the implementation of the developed system has been assessed.

Keywords: environmental education, automation, Windows Presentation Foundation, .NET, Entity Framework, SQL Server, access rights differentiation, Belgorod Region.

В настоящее время процесс экологического информирования и просвещения в Белгородской области сталкивается с рядом системных проблем. Информация о состоянии окружающей среды зачастую является разрозненной, публикуется на разных веб-ресурсах без единой структуры и адаптации для широкого круга пользователей. Данный фактор приводит к тому, что отсутствие единой информационной платформы затрудняет доступ граждан к актуальным и комплексным данным о состоянии окружающей среды, снижая эффективность просветительской работы [3]. Данная ситуация актуализирует необходимость создания специализированной информационной системы, которая была бы ориентирована именно на задачи просвещения и информирования.

Целью работы является повышение эффективности экологического просвещения и информирования населения Белгородской области за счет разработки специализированной информационной системы.

При выполнении работы использованы методы системного анализа, объектно-ориентированного проектирования, теории баз данных. В качестве среды разработки выбрана

Microsoft Visual Studio 2022. Пользовательский интерфейс реализован на платформе WPF (Windows Presentation Foundation). Для взаимодействия с базой данных использована технология Entity Framework. В качестве системы управления базами данных выбран Microsoft SQL Server [9, 14].

Разработанная информационная система «ЭкоБелогорье» имеет клиент-серверную архитектуру и включает клиентское приложение (WPF-приложение) и сервер базы данных (Microsoft SQL Server). Система поддерживает три роли пользователей, каждой из которых соответствует определённый набор функций:

- администратор: авторизация в системе, просмотр всех материалов, изучение материала на модерации, утверждение материала, отклонение материала с указанием причины, отправление материала на доработку, управление пользователями, просмотр истории входа в систему, просмотр обращений пользователей, отправление ответов на обращение, формирование отчётов, экспорт отчётов в форматах Excel и PDF;

- специалист: авторизация в системе, создание экологических материалов, сохранение материала как черновика, отправление материала на модерацию, просмотр своих материалов, доработка отклонённого материала, просмотр обращений граждан, отправление ответов на обращения, формирование отчёта по своим материалам, экспорт отчётов в форматах Excel и PDF;

- пользователь: авторизация в системе, просмотр всех материалов, отправление обращения, выбор видимости ответа, просмотр своих обращений и ответов на них, просмотр профиля.

На рисунке 1 представлена контекстная диаграмма IDEF0 «КАК ЕСТЬ», отображающая текущий процесс: входные потоки (данные о среде, обращения), управление (законодательство, нацпроект «Экология»), механизмы (ведомственные сайты, офисное ПО, специалисты), выходы (информация на разных сайтах, ответы, отчёты).

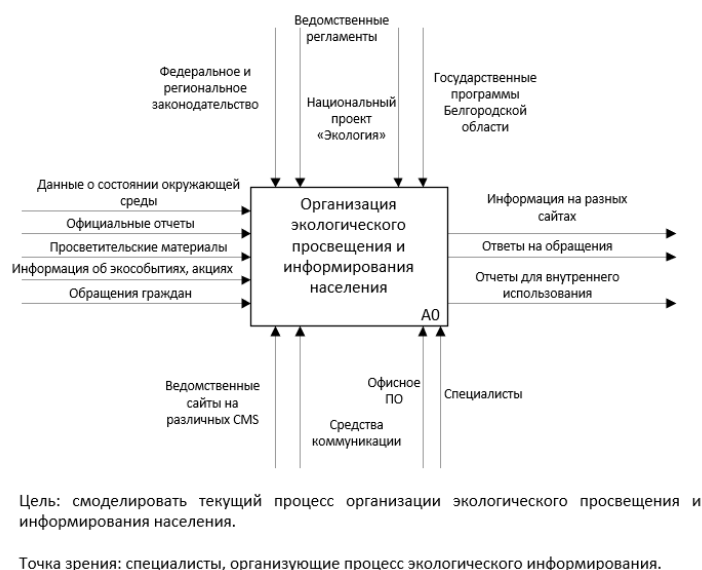


Рисунок 1 – Контекстная диаграмма IDEF0 «КАК ЕСТЬ»

На основе анализа текущего процесса, выполненного с помощью модели «КАК ЕСТЬ», были выявлены такие недостатки как: разрозненность экологических данных, отсутствие единой платформы, слабую обратную связь с населением. Для устранения этих недостатков был проведен реинжиниринг бизнес-процессов – фундаментальное переосмысление и радикальное перепроектирование ключевых процессов с целью достижения улучшений в критических показателях, как скорость, качество и доступность экологической информации для населения [3].

Результатом реинжиниринга стала функциональная модель «КАК БУДЕТ» в нотации IDEF0, показывающая работу информационной системы после внедрения. На рисунке 2 представлена контекстная диаграмма.

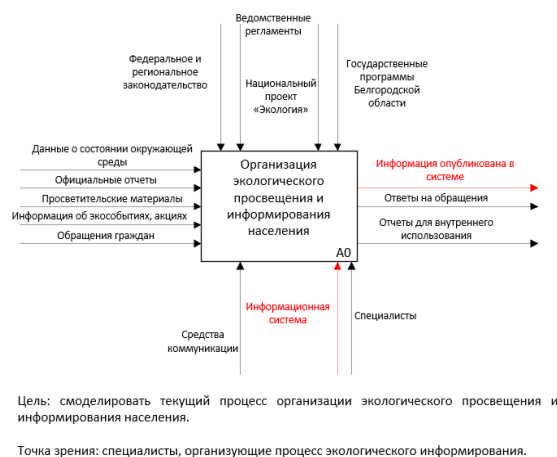


Рисунок 2 – Контекстная диаграмма IDEF0 «КАК БУДЕТ»

Основные изменения: вместо «Офисного ПО» используется «Информационная система», выходной поток «Информация на разных сайтах» заменён на «Информация опубликована в системе» (единый портал). Преимущества: отказ от бумажных носителей, уменьшение временных затрат, минимизация человеческого фактора, оперативный доступ населения к актуальным данным [12].

Пользовательский интерфейс разработан с использованием Windows Presentation Foundation (WPF), что позволило реализовать современный и интуитивно понятный интерфейс с разделением на вкладки в зависимости от роли пользователя. Для взаимодействия с базой данных использована технология Entity Framework, которая избавляет от необходимости ручного написания SQL-запросов и обеспечивает объектно-ориентированный доступ к данным. Информация об авторизованном пользователе сохраняется в переменных текущей сессии (логин, роль, идентификатор) и передаётся между окнами приложения.

Алгоритм авторизации пользователя включает следующие этапы:

- получение логина и пароля от пользователя;
- выполнение запроса к базе данных через Entity Framework для проверки наличия пользователя с введённым логином и паролем;
- при успешной авторизации – сохранение данных о пользователе (ID, ФИО, роль) и открытие главного окна, набор функций в котором определяется ролью (администратор, специалист или пользователь);
- при неуспешной авторизации – вывод сообщения «Неверный логин или пароль» без закрытия окна авторизации.

Разработанная информационная система обеспечивает выполнение следующих функций:

- авторизация пользователей с проверкой учётных данных и разделением интерфейса по ролям;
- создание экологических материалов (новости, статьи, инструкции) с возможностью сохранения черновиков и отправки на модерацию;
- модерация материалов: утверждение, отклонение с указанием причины, отправка на доработку;
- управление пользователями (блокировка, активация, смена роли и статуса активности);
- просмотр истории входов в систему с фиксацией времени, пользователя и результата попытки;
- обработка обращений граждан: получение заявок, подготовка и отправка ответов, изменение статуса;
- формирование отчётов с экспортом в форматы Excel и PDF;
- редактирование профиля пользователя.

В системе реализованы следующие меры защиты информации:

- использование Entity Framework, который автоматически генерирует безопасные параметризованные запросы, исключая SQL-инъекции;
- маскирование вводимого пароля с использованием элемента PasswordBox;
- разграничение прав доступа на уровне интерфейса;
- автоматическое освобождение ресурсов с использованием блоков using.

В ходе ручного тестирования системы были проверены все ключевые функции системы «ЭкоБелогорье»: авторизация пользователей с разными ролями, создание и модерация экологических материалов, обработка обращений граждан, управление пользователями и формирование отчётов с экспортом в Excel и PDF. Все проверенные сценарии отработали корректно, ошибок и сбоев не выявлено. Интерфейс системы интуитивно понятен, сообщения об ошибках информативны, переходы между вкладками выполняются без задержек.

В таблице 1 приведено сравнение разработанной системы с существующими аналогами.

Таблица 1 – Сравнительный анализ информационных систем для экологического просвещения

Критерий	Разработанная система «ЭкоБелогорье»	Росприроднадзор	Региональные геоportалы	Тематические эко-порталы (Ecoportal)
Единая платформа для данных (воздух, вода, почва)	+++	+ (данные разрознены)	+ (только картография)	++ (но нет региональной привязки)
Адаптация информации для населения	+++	– (технические отчёты)	– (профессиональные инструменты)	++ (новости, статьи)
Обратная связь с гражданами (обращения)	+++ (электронная форма, статусы, ответы)	+ (формы, но без прозрачности статуса)	–	– (комментарии, без заявок)
Просветительский контент (инструкции, мероприятия)	+++	–	–	+++ (но федеральный уровень)
Региональная специфика (Белгородская область)	+++	+ (отчёты по области)	++ (данные по региону)	– (общий по РФ)
Автоматическое формирование отчётов и экспорт	+++ (Excel, PDF)	–	–	–
Разграничение ролей	+++	–	–	–

В результате выполнения работы разработана информационная система «ЭкоБелогорье», включающая клиентское приложение (WPF) и базу данных Microsoft SQL Server. Система поддерживает три роли пользователей (администратор, специалист, житель), обеспечивает полный цикл публикации экологических материалов, обработки обращений граждан и формирования отчётности. Применение Entity Framework и разграничения прав доступа гарантирует безопасность данных. Система готова к внедрению в деятельность органов экологического просвещения Белгородской области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богатырев, В. А. Надежность информационных систем : учебное пособие для среднего профессионального образования. Москва : Издательство Юрайт, 2023. – 318 с. – Текст : электронный.

2. Грекул, В. И. Проектирование информационных систем : учебник и практикум для среднего профессионального образования. Москва : Издательство Юрайт, 2023. – 423 с. – Текст : электронный.

3. Илюшечкин, В. М. Основы использования и проектирования баз данных : учебник для среднего профессионального образования. Москва : Издательство Юрайт, 2022. – 213 с. – Текст : электронный.

4. Ларионов, Н. М. Промышленная экология : учебник и практикум для среднего профессионального образования. Москва : Издательство Юрайт, 2025. – 472 с. – Текст : электронный.

Диденкова Вероника Сергеевна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент инжинирингово колледжа

E-mail: 1655506@bsuedu.ru

Подпругин Александр Ильич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Ассистент кафедры прикладной информатики и информационных технологий

E-mail: podprugin@bsuedu.ru

УДК 681.3.15

Научный руководитель:
Иващук Олег Орестович,
ассоциированный профессор,
КГУТИ имени Ш. Есенова
(Актау, Казахстан)

А.М. ЕЛЕУОВА
A.M. YELEUOVA

**РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА
РЕНТГЕНОВСКИХ СНИМКОВ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО
ВЫЯВЛЕНИЯ ПРИЗНАКОВ ПНЕВМОНИИ**

**DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT SYSTEM FOR ANALYZING
X-RAY IMAGES FOR AUTOMATIC DETECTION
OF PNEUMONIA SIGNS**

В статье описан практический опыт создания медицинского ИТ-продукта – системы поддержки принятия врачебных решений «MedAI». Мы сместили фокус с абстрактной теории на прикладные аспекты программной инженерии: от первичной очистки датасета рентгенограмм до финальной сборки десктопного интерфейса. В работе детально разбирается, как именно легкая сверточная сеть (ResNet-18) была объединена с облачной языковой моделью Gemini 2.0 Flash через API-запросы. Также мы приводим описание нашего визуального интерфейса на базе фреймворка Gradio и механизма «Smart Fallback», который защищает программу от зависаний при сбоях сетевого соединения. В результате нам удалось получить рабочий диагностический инструмент с показателем полноты (Recall) 96,0% и общей точностью 94,0%, который полностью готов к установке в поликлиниках.

Ключевые слова: программная инженерия, разработка приложений, искусственный интеллект в медицине, сверточные нейронные сети, ResNet-18, компьютерное зрение, системы поддержки принятия врачебных решений, интеграция API, Gemini.

The article describes the practical experience of creating a medical IT product the “MedAI” clinical decision support system. We shifted the focus from dry theory to the applied aspects of software engineering: from the initial cleaning of the X-ray dataset to the final assembly of the desktop interface. The paper details exactly how a lightweight convolutional network (ResNet-18) was combined with the Gemini 2.0 Flash cloud language model via API requests. We also describe our visual interface based on the Gradio framework and the “Smart Fallback” mechanism, which insures the program against freezing during internet disconnections. As a result we managed to get a working diagnostic tool with a Recall of 96.0% and an overall accuracy of 94.0%, which is fully ready for installation in clinics.

Keywords: software engineering, application development, artificial intelligence in medicine, convolutional neural networks, ResNet-18, computer vision, clinical decision support systems, API integration, Gemini.

Введение

Несмотря на активное внедрение компьютерных томографов, обычный рентген всё еще остается главным инструментом для выявления легочных инфекций. Особенно это актуально для удаленных регионов с большими расстояниями (например, в Мангистауской области), где быстро доставить пациента к узкому специалисту просто невозможно. Дежурному врачу в ауле приходится оценивать снимок самостоятельно и принимать решение о лечении прямо на месте.

Читать такие снимки сложно. Патологические очаги при пневмонии выглядят как легкая дымка, которая часто прячется за ребрами или сливается с сосудами. А если учесть, что в сезон простуд врач-рентгенолог просматривает по 150–200 снимков за день, проблема становится критической. Из-за банальной усталости снижается острота зрительного восприятия, и специалист может пропустить начало воспаления или, наоборот, перестраховаться и назначить антибиотики здоровому человеку.

ИТ-сфера давно пытается помочь медицине, создавая алгоритмы компьютерного зрения. Нейросети действительно отлично справляются с поиском аномалий на пиксельном уровне. Но когда мы попытались изучить готовые коммерческие сервисы, то столкнулись с

проблемой «черного ящика». Почти все они просто выдают врачу вероятность (например, «Пневмония 85%»). Для реальной работы этого мало. Врачу нужна аргументация: почему программа так решила, что происходит с корнями легких, какие синусы задеты.

Именно поэтому мы решили разработать собственное приложение «MedAI». Наша цель – создать не просто классификатор, а бимодальную систему. Мы хотели, чтобы программа сначала находила патологию с помощью математики, а затем сама писала развернутый, понятный врачу текстовый протокол.

Материалы и методы исследования

Разработку мы разбили на несколько понятных шагов. Для обучения алгоритма компьютерного зрения потребовалась надежная база данных. Мы взяли открытый архив «Chest X-Ray Images (Pneumonia)» из Mendeley Data, в котором собраны снимки детей от 1 до 5 лет. После чистки данных в нашем распоряжении осталось 5863 файла.

Таблица 1 – Структура и количественное распределение набора медицинских данных

Клинический класс	Обучающая выборка	Тестовая выборка	Итого снимков
НОРМА	1349	234	1583
ПНЕВМОНИЯ	3890	390	4280
ВСЕГО	5239	624	5863

При первичном анализе собранного датасета, который представлен в таблице 1, мы столкнулись с классической проблемой машинного обучения – сильным перекосом классов. Снимков с пневмонией оказалось 73%, а здоровых всего 27%. Если подать эти данные на вход сети в исходном виде, алгоритм просто адаптируется под дисбаланс классов: начнет классифицировать все снимки как пневмонию для минимизации ошибки и перестанет фактически анализировать визуальные признаки. Чтобы обойти эту уловку, мы переписали функцию перекрестной энтропии (Weighted Cross-Entropy Loss), добавив корректирующие веса для классов:

$$w_0 = \frac{N_{total}}{(2 * N_{normal})}, w_1 = \frac{N_{total}}{(2 * N_{pneumonia})} \quad (1)$$

где w_0 , w_1 – весовые коэффициенты для классов «Норма» и «Пневмония» соответственно; N_{total} – общее количество изображений в выборке; N_{normal} , $N_{pneumonia}$ – количество снимков в соответствующих классах. Данная корректировка позволяет градиентному спуску более жестко штрафовать алгоритм за ошибки на изображениях миноритарного класса. Благодаря этому математической корректировке, градиентный спуск начинает сильнее штрафовать алгоритм за ошибки на редких снимках здоровых легких, заставляя его учиться равномерно.

Дальше мы занялись препроцессингом самих картинок. Рентгенограммы приходили в разных форматах и размерах. С помощью скриптов из библиотеки torchvision мы выстроили конвейер:

1. **Масштабирование:** принудительно обрезали края снимка (CenterCrop), чтобы отсечь лишние детали вроде плечевых суставов, и привели картинки к единому размеру 224*224 пикселя.

2. **Коррекция контраста:** чтобы программно вытянуть скрытые тени, мы прогнали изображения через алгоритм CLAHE. Он локально выравнивает гистограмму, делая инфильтраты более заметными, но при этом не засвечивает весь кадр.

3. **Нормализация:** привели яркость к стандарту ImageNet по формуле:

$$x_{normal} = \frac{(x - \mu)}{\sigma} \quad (2)$$

где x – исходное значение яркости пикселя; μ – среднее арифметическое значение интенсивности по всей выборке; σ – среднеквадратичное отклонение. Применение данного преобразования ускоряет сходимость нейронной сети и предотвращает проблему затухающих градиентов при использовании глубоких архитектур. В качестве основного вычислительного «мотора» мы выбрали архитектуру ResNet-18. И на это была веская причина. В поликлиниках нет серверов с мощными видеокартами, там стоят обычные офисные ПК. Модель ResNet-18 после компиляции весит всего 45 мегабайт, что позволяет ей обеспечивать высокую скорость инференса даже на слабых процессорах. К тому же, её архитектура с остаточными связями ($H(x) = F(x) + x$) отлично решает проблему затухающего градиента.

Обучали мы её не с нуля, а используя Transfer Learning. Взяли веса, уже натренированные на миллионах картинок, и «заморозили» начальные слои сети. А вот последний слой-классификатор заменили на свой (с выходами Норма и Пневмония) и переобучали только его. Использовали оптимизатор Adam с шагом $\text{lr} = 0.0001$. Для искусственного расширения обучающей выборки и предотвращения эффекта переобучения были применены методы аугментации данных. В процессе обучения входные изображения динамически подвергались случайным пространственным трансформациям (поворотам, горизонтальным отражениям), а также коррекции уровня яркости.

Интеграция с LLM и защита от сбоев

Самая интересная часть нашего кода – это связь локальной нейросети с большой языковой моделью Gemini 2.0 Flash через API.

Работает это так: когда ResNet-18 пропускает снимок через свои слои, на выходе функция Softmax выдает нам вероятность патологии. Мы берем эту цифру, параллельно конвертируем саму картинку в текстовый формат Base64 и упаковываем всё это в JSON. Туда же вшивается наш промпт (Prompt Engineering), где мы задаем облачному ИИ роль врача-рентгенолога. Модель Gemini принимает этот пакет и возвращает нам красивый дифференциальный диагноз в разметке Markdown.

Но мы учитывали реалии. В сельской больнице интернет может пропасть в любую минуту. Поэтому мы с нуля написали модуль «Smart Fallback», чтобы программа не завершала работу с критической ошибкой. Сначала скрипт пытается установить соединение с сервером через алгоритм Exponential Backoff, который осуществляет повторные попытки, постепенно увеличивая интервалы между ними. Если сеть оказывается окончательно недоступна, программа автоматически переключается на резервный алгоритм работы. Управление берет на себя локальный генератор. Он оценивает логиты, полученные от нашей ResNet-18, и сам собирает клинический отчет из заготовленных текстовых блоков, честно предупреждая врача, что работает в автономном режиме.

Результаты и оптимизация интерфейса

Обучение нейронной сети проводилось в облачной вычислительной среде Google Colab с использованием графического ускорителя NVIDIA T. Чтобы не переобучить сеть, настроили Early Stopping. Оптимизатор нашел нужные веса на 8-й эпохе, и мы сохранили их в файл pneumonia_model.pth.

Потом начался этап тестирования. Мы собрали 100 новых снимков (50 здоровых и 50 больных), которые наша сеть до этого никогда не видела. Прогнали их через скрипт и посмотрели матрицу ошибок: алгоритм верно нашел 48 больных (TP) и 46 здоровых (TN), выдав 4 ложные тревоги (FP) и пропустив всего двух пациентов (FN).

Таблица 2 – Сводные метрики эффективности нейросетевого классификатора MedAI

Наименование метрики	Математическая формула	Значение (%)
Чувствительность	$TP / (TP + FN)$	96.0
Специфичность	$TN / (TN + FP)$	92.0
Точность	$TP / (TP + FP)$	92.3
Общая точность	$(TP + TN) / \Sigma$	94.0

Основные метрики оценки качества модели:

1. **Чувствительность (Recall)** – это метрика, отражающая способность алгоритма безошибочно выявлять целевую патологию среди всех фактически положительных случаев. Математически она вычисляется как отношение истинно положительных срабатываний к сумме истинно положительных и ложноотрицательных результатов. В контексте лучевой диагностики пневмонии этот показатель является критически важным. Чувствительность демонстрирует, какой процент реальных воспалительных инфильтратов нейросеть смогла успешно обнаружить на снимках. Низкая чувствительность (высокий процент ошибок типа False Negative) означает, что программа будет регулярно пропускать скрытые патологии, отправляя больных пациентов домой без назначения жизненно необходимой антибактериальной терапии.

2. **Специфичность (Specificity)** – это показатель, характеризующий способность классификатора корректно определять отсутствие патологии. Вычисляется как отношение истинно отрицательных результатов к общему числу фактически отрицательных случаев в выборке. С клинической точки зрения специфичность показывает, насколько хорошо модель распознает абсолютно здоровые легкие и не бьет ложную тревогу. Если специфичность алгоритма окажется низкой (высокая доля ошибок типа False Positive), программа начнет трактовать любые анатомические особенности, например, плотный сосудистый рисунок или тени от ребер, как признаки воспаления. В масштабах региональной поликлиники это неминуемо приведет к тотальной гипердиагностике, дополнительной нагрузке на врачей и необоснованному назначению пациентам тяжелых антибиотиков.

Наглядно весь спроектированный технологический конвейер (от препроцессинга до вывода в интерфейс), а также итоговые показатели эффективности системы представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Технологический цикл и ключевые метрики эффективности системы MedAI

Финальную графическую оболочку мы собрали на фреймворке Gradio. Чтобы глаза врача не уставали от яркого белого цвета, прописали кастомные CSS-стили в мягких светлых тонах с контрастным текстом. Файлы можно просто перетаскивать мышкой (Drag-and-Drop).

Самым удачным инженерным решением стала оптимизация памяти. Мы принудительно запретили фреймворку PyTorch считать градиенты при запуске приложения (добавили обертку `torch.no_grad()`). Это мгновенно снизило потребление оперативки с гигабайта до смешных 350-400 МБ. Теперь анализ одной картинки на обычном процессоре (CPU) длится всего 1,2 секунды.

Заключение

Нам удалось довести идею до реально работающего продукта. Приложение «MedAI» переросло стадию учебного проекта и сейчас представляет собой мощный, но при этом легковесный ИТ-инструмент для больниц.

В рамках проекта была решена одна из главных проблем медицинского искусственного интеллекта – проблема интерпретируемости алгоритмов («черного ящика»). Разработанная система не ограничивается выдачей абстрактных числовых вероятностей, а генерирует семантически связный и развернутый клинический протокол описания снимка, что обеспечивает существенную экономию времени специалиста. Локальная архитектура ResNet-18 берет на себя ресурсоемкие математические вычисления по выявлению патологий. В свою очередь, интегрированный модуль Smart Fallback гарантирует, что система сохранит стабильную работоспособность, даже при полном обрыве интернет-соединения в клинике. Подобное архитектурное решение оптимально подходит для оснащения мобильных флюорографических комплексов и региональных поликлиник в качестве надежного инструмента для подстраховки врачей-рентгенологов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гудфеллоу, И. Глубокое обучение / И. Гудфеллоу, И. Бенджио, А. Курвилль. – Текст: непосредственный. – Москва: ДМК Пресс, 2017. – 652 с.
2. Лекун, Я. Как учится машина. Революция в области нейронных сетей и глубокого обучения / Я. Лекун. – Текст: непосредственный. – Москва: Альпина Паблишер, 2021. – 344 с.
3. Чучалин, А.Г. Пневмония: актуальная проблема медицины / А.Г. Чучалин. – Текст: непосредственный. – Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2018. – 412 с.
4. Шолле, Ф. Глубокое обучение на Python / Ф. Шолле. – Текст: непосредственный. – Санкт-Петербург: Питер, 2018. – 400 с.
5. Морозов, С.П. Основы искусственного интеллекта в лучевой диагностике / С.П. Морозов, А.В. Владзимирский, В.З. Кледичз. – Текст: непосредственный. – Москва: Издательские решения, 2018. – 80 с.
6. Радченко, А.В. Применение сверточных нейронных сетей для классификации медицинских изображений / А.В. Радченко, Д.А. Соколов. – Текст: непосредственный // Вестник новых медицинских технологий. – 2021. – Т. 28, № 1. – С. 112-118.
7. He, K. Deep Residual Learning for Image Recognition / K. He, X. Zhang, S. Ren, J. Sun. – Text: unmediated // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). – 2016. – P. 770-778.
8. Litjens, G. A survey on deep learning in medical image analysis / G. Litjens, T. Kooi, B.E. Bejnordi // Medical Image Analysis. – 2017. – Vol. 42. – P. 60-88.

Елеуова Айша Махсотовна

Каспийский государственный университет технологий и инжиниринга им. Ш. Есенова (г. Актау, Казахстан)

Студент Факультета компьютерных наук и искусственного интеллекта

E-mail: eleuovaisha@gmail.com

УДК 631.3:004.896

*Научный руководитель:
Заява Ольга Геннадьевна,
старший преподаватель кафедры
информационных и робототехнических систем,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

Н.М. ЗАЙЧЕНКО, Т.А. НЕСТЕРОВА
N.M. ZAICHENKO, T.A. NESTEROVA

РАЗРАБОТКА УМНОЙ ТЕПЛИЦЫ DEVELOPMENT OF A SMART GREENHOUSE

В статье проводится сравнительный анализ двух типовых систем автоматизации теплиц, представляющих противоположные полюса рынка: бюджетного комплекта «Умница» и промышленного решения на базе программируемого реле ОВЕН ПР200. Рассмотрены функциональные возможности, технические характеристики, сенсорная база и исполнительные механизмы каждой системы. Выявлены ключевые недостатки обеих систем: функциональная ограниченность и низкая точность бюджетного решения при его доступной цене, а также высокая стоимость и сложность обслуживания промышленного комплекса. На основе проведённого анализа обоснована необходимость разработки малогабаритной роботизированной теплицы с оптимальным балансом функциональности, точности и стоимости для малых и средних хозяйств.

Ключевые слова: автоматизация теплиц, «Умница», ОВЕН ПР200, сравнительный анализ, микроклимат, роботизированная теплица.

The article provides a comparative analysis of two typical greenhouse automation systems representing the opposite poles of the market: the budget-friendly "Umnitsa" kit and the industrial solution based on the OVEN PR200 programmable relay. The article examines the functionality, technical specifications, sensor base, and actuators of each system. The key disadvantages of both systems are identified: the functional limitations and low accuracy of the budget-friendly solution, despite its affordable price, as well as the high cost and complexity of maintaining the industrial complex. Based on the analysis, the need to develop a small-sized robotic greenhouse with an optimal balance of functionality, accuracy, and cost for small and medium-sized farms has been substantiated.

Keywords: greenhouse automation, «Umnitsa», OVEN PR200, comparative analysis, microclimate, robotic greenhouse.

Современное сельское хозяйство всё активнее внедряет технологии автоматизации для повышения эффективности производства. Наиболее перспективным направлением является создание интеллектуальных тепличных комплексов, позволяющих минимизировать участие человека в процессах поддержания микроклимата, полива и вентиляции. Однако анализ рынка показывает, что существующие решения либо слишком дороги и сложны, либо функционально ограничены. В данной работе проведён сравнительный анализ двух типовых систем, представляющих противоположные полюса рынка автоматизации защищенного грунта.

Комплект «Умница» представляет собой бюджетное решение «под ключ», предназначенное для автоматизации небольших парников и бытовых теплиц площадью до 10–15 квадратных метров. Основная целевая аудитория – владельцы приусадебных участков и небольших фермерских хозяйств, желающих частично автоматизировать процессы выращивания без значительных финансовых вложений. Система обеспечивает подключение к домашней сети Wi-Fi, позволяя управлять теплицей через браузер персонального компьютера или мобильного устройства. Контроллер оснащён собственным дисплеем для отображения текущей информации и регистрирует параметры микроклимата на карту памяти MicroSD. В базовую комплектацию входят датчики температуры и влажности воздуха, освещённости, температуры почвы, концентрации углекислого газа и атмосферного давления. Управление исполнительными устройствами реализовано через семь релейных выходов с током нагрузки до 5 ампер. Стоимость комплекта составляет от 5 до 8 тысяч рублей [1].

Система работает по принципу «запрограммировал и забыл». Пользователь через веб-интерфейс задаёт пороговые значения температуры, влажности и времени полива. Контроллер опрашивает датчики и при достижении порога включает или выключает исполнительные устройства через реле. Управление приводами (например, открытие форточки) происходит по таймеру – контроллер подаёт питание на привод на фиксированное время, предполагая, что за это время механизм успеет сработать. Обратной связи от концевых выключателей нет. Все данные записываются на карту памяти MicroSD. Без подтверждения, что механизм реально сработал.



Рисунок 1 – Изображение теплицы

Однако в ходе анализа были выявлены существенные недостатки комплекта «Умница». Система не обеспечивает обратной связи по положению исполнительных механизмов, что снижает точность управления и не позволяет диагностировать неисправности привода. Точность поддержания параметров невысока: погрешность измерения температуры составляет $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, влажности – $\pm 5\%$, что недостаточно для точного растениеводства. Таким образом, «Умница» является хорошим бюджетным решением, но функционально ограничена и не может считаться полноценной роботизированной системой [2].

Вторым рассмотренным решением является автоматизированная теплица на базе программируемого реле ОВЕН ПР200. Данная система предназначена для крупных фермерских хозяйств и агрохолдингов, ориентирована на круглогодичное промышленное выращивание овощных культур. Программируемое реле ПР200 относится к классу приборов «программируемое реле» и широко применяется для построения автоматизированных систем управления при решении задач локальной автоматизации. Прибор программируется в среде OwenLogic на языке FBD, поддерживает работу в сети RS-485 по протоколам Modbus RTU или Modbus ASCII в режиме Master или Slave. Для увеличения количества входов и выходов предусмотрены модули расширения серии ПРМ, обеспечивающие высокую гибкость при построении систем различной сложности.

Система на базе ПР200 способна решать широкий спектр задач: автоматическое управление режимами работы инженерных систем, поддержание заданных параметров микроклимата, контроль и диагностика состояния исполнительного оборудования, удалённое управление через облачный сервис OwenCloud. В теплицах, автоматизированных на базе ПР200, могут быть установлены системы вентиляции, отопления, зашторивания, испарительного охлаждения, искусственного освещения, подачи углекислого газа и полива с полным набором оборудования – от растворных узлов до дезинфекторов дренажа. Стоимость внедрения системы начинается от 1,5 миллиона рублей [3].

Система построена на промышленном программируемом реле ПР200. Пользователь (инженер-наладчик) пишет программу в среде OwenLogic на языке FBD, загружает её в контроллер. ПР200 опрашивает датчики (температура, влажность, CO₂, освещённость, уровень воды), обрабатывает сигналы по заложенному алгоритму (включая двухпозиционные регуляторы, недельные таймеры, логические элементы) и через модули расширения ПРМ управляет исполнительными устройствами: насосами, вентиляторами, актуаторами открытия фрамуг, нагревателями, светильниками. Система имеет обратную связь по положению механизмов через концевые выключатели. Данные передаются на SCADA-систему или в облачный сервис OwenCloud для удалённого мониторинга [4-5].



Рисунок 2 – Изображение теплицы (внутри)

Основными недостатками данного решения являются высокая стоимость, делающая его экономически недоступным для малых и средних хозяйств, а также необходимость обслуживания квалифицированным персоналом – инженерами по контрольно-измерительным приборам и автоматике. Программирование и изменение настроек требует специальных знаний и не может быть выполнено обычным пользователем.

Проведённый сравнительный анализ позволил выявить явный технологический разрыв на рынке систем автоматизации защищенного грунта. С одной стороны, существует бюджетное решение «Умница», которое доступно по цене, но функционально ограничено: оно не имеет обратной связи по положению исполнительных механизмов и не обеспечивает высокой точности поддержания параметров. С другой стороны, промышленная система на базе ПР200 обладает широкими функциональными возможностями и высокой точностью, но её стоимость и сложность обслуживания делают её неприменимой для малых форм хозяйствования [6].

Таким образом, существует объективная необходимость в разработке малогабаритной роботизированной теплицы, которая заняла бы промежуточное положение между этими двумя полюсами, обеспечивая оптимальный баланс функциональности, точности, надёжности и стоимости. Именно такую задачу решает разрабатываемая в рамках текущей выпускной квалификационной работы система на базе микроконтроллера Arduino Mega 2560, способная заполнить выявленный технологический разрыв и предложить доступное, но функционально полноценное решение для малых и средних хозяйств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Филатов, В.И. Разработка наземного мобильного робота, оснащенного системами адаптивной подвижности / В.И. Филатов, Д.В. Зезюлин, Д.Ю. Тюгин [и др.] // Транспортные системы. – 2018. – № 2(8). – С. 30-40.

2. Журавлев, Д.В. Мобильные робототехнические комплексы / Д.В. Журавлев, М.А. Сиваш, Д.И. Наумов. – Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2020. – 124 с.

3. Абдугулова, Ж.К. Автоматизированные системы управления теплицей, использующие платформу Arduino / Ж.К. Абдугулова, М.Е. Тлеген, Б.Б. Куанышбаев // Вестник КазАТК. – 2022. – Т. 122, № 3. – С. 339-349.

4. Бодин, О.Н. Бионические системы управления мобильными робототехническими комплексами / О.Н. Бодин, О.Е. Безбородова, А.Н. Спиркин, В.В. Шерстнев. – Пенза: Пензенский государственный университет, 2022. – 236 с.

5. Ван, Вэйянь. Сравнительный анализ современных систем автоматизированного управления микроклиматом в теплице / Вэйянь Ван, А.Р. Харисов // Научно-технический вестник Поволжья. – 2024. – № 5. – С. 120-125.

6. Петров, В.И. Микроконтроллеры в системах автоматизации: учебное пособие / В.И. Петров. – М.: ДМК Пресс, 2023. – 320 с.

Зайченко Николай Максимович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: leonidovic637@gmail.com

Нестерова Тамара Андреевна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: 1952797@bsuedu.ru

УДК 624.074, 528.48

*Научный руководитель:
Суржик Дмитрий Игоревич,
доцент кафедры информационных
и робототехнических систем,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

С.А. ИВАНОВ
S.A. IVANOV

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ ГЕОМЕТРИИ СЛОЖНЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ: ПОЭТАПНЫЙ ПОДХОД С ПРИМЕНЕНИЕМ ТАХЕОМЕТРОВ

OPTIMIZATION OF GEOMETRY CONTROL FOR COMPLEX METAL STRUCTURES: A STEP-BY-STEP APPROACH USING TOTAL STATIONS

В статье рассматривается методика поэтапного контроля геометрических параметров сложных пространственных металлоконструкций (на примере элементов ферм стадиона «Мордовия Арена»). Обоснована необходимость контроля на всех стадиях изготовления: от заготовки до финальной корректировки. Описаны рациональные методы контроля для каждого этапа, включая использование тахеометров для пространственных измерений и локального контроля на плите. Представлена стратегия предварительной правки основного сечения с учётом ожидаемых сварочных деформаций. Показано, что применение поэтапного подхода позволяет сократить время контроля и повысить точность изготовления конструкций.

Ключевые слова: контроль геометрии, металлоконструкции, тахеометр, сварочные деформации, предварительная правка, фермы, пространственные измерения.

The article discusses a step-by-step methodology for controlling the geometric parameters of complex spatial metal structures (using the example of truss elements from the Mordovia Arena stadium). The necessity of monitoring at all manufacturing stages – from raw material preparation to final adjustment – is justified. Efficient control methods for each stage are described, including the use of total stations for spatial measurements and local control on a plate. A strategy for pre-emptive correction of the main section considering expected welding deformations is presented. It is shown that the step-by-step approach reduces control time and improves the accuracy of structure fabrication.

Keywords: geometry control, metal structures, total station, welding deformations, pre-emptive correction, trusses, spatial measurements.

Введение

Современные строительные объекты, такие как стадионы и крупные общественные здания, требуют применения сложных пространственных металлоконструкций. Их точность изготовления напрямую влияет на безопасность, долговечность и эстетику сооружений. Традиционный подход к контролю геометрии – однократная проверка готовой конструкции – часто приводит к значительным затратам времени и ресурсов на исправление дефектов [1].

Цель данной статьи – представить поэтапную методику контроля геометрии сложных металлоконструкций с рациональным использованием тахеометров и других методов, позволяющую минимизировать сварочные деформации [2] и сократить сроки изготовления.

Объект исследования: элементы ферм сложной формы (на примере конструкций стадиона «Мордовия Арена»).

Предмет исследования: методы и критерии контроля геометрических параметров на различных этапах изготовления металлоконструкций.

Критерии достижения цели:

- снижение количества исправлений готовой конструкции;
- сокращение времени контроля за счёт рационального выбора методов на каждом этапе;

– обеспечение соответствия геометрии конструкции проектным требованиям в пределах допусков [1, 3].

Этапы контроля геометрии и применяемые методы

Контроль геометрии металлоконструкций должен проводиться на всех следующих этапах изготовления:

1. Этап заготовки. Проверка размеров и формы исходных материалов (труб диаметром 325 мм и 219 мм).
2. Этап сборки до сварки. Контроль взаимного расположения сегментов основного сечения (полумесяца длиной 12 м) перед сваркой.
3. Этап контроля сварки основного сечения. Проверка геометрии основного сечения и его правка при необходимости.
4. Этап контроля приварки патрубков и «крестов». Контроль пространственного положения патрубков (диаметр 219 мм) и «крестов» относительно основного сечения с помощью тахеометра [4-6].
5. Этап финальной проверки. Финальная проверка соответствия проектным требованиям.

Контроль основного сечения

Основное сечение элемента фермы – это плоская конструкция в форме полумесяца, состоящая из 5 сегментов трубы диаметром 325 мм, стыкуемых под разными углами. Для его контроля на этапе сборки до сварки и после сварки наиболее эффективен метод укладки на контрольную плиту с геометрией проекта.

На рисунке 1 представлена конструкция, уложенная на опорную плиту, – продемонстрирован процесс контроля отклонения её геометрии от проектных параметров. Критерий соответствия: отклонения не должны превышать 15 мм. Если значение превышено, основное сечение подлежит термической правке.



Рисунок 1 – Контроль отклонения конструкции от геометрии на плите

Стратегия упреждающей правки:

1. Основное сечение без патрубков и крестов можно выполнить с избыточным загибом (упреждением) вовнутрь, который компенсируется остаточными деформациями от приварки патрубков, что показано на рисунке 2.

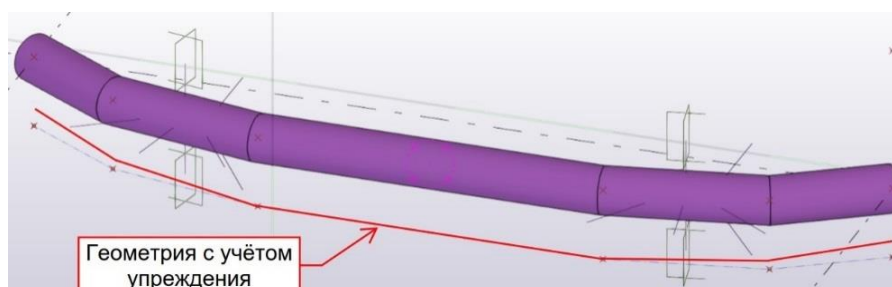


Рисунок 2 – Пример геометрии основного сечения с учётом упреждения

2. Поскольку патрубки располагаются только на наружной части полумесяца, их сварка приводит к дополнительному разворачиванию конструкции наружу. Упреждение позволяет после приварки патрубков получить проектную форму в пределах допуска, как показано на рисунке 3.

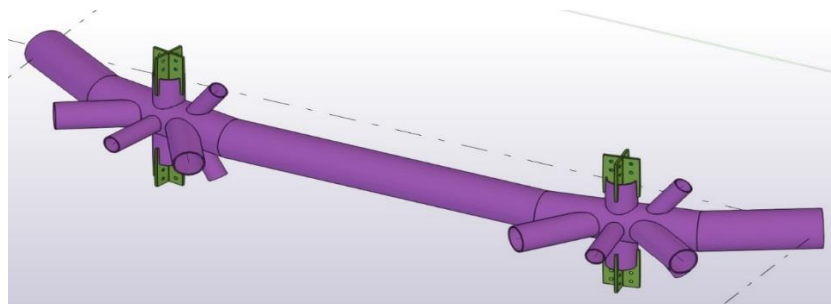


Рисунок 3 – Проектная форма конструкции после приварки патрубков и «крестов»

3. «Кресты» располагаются симметрично (сверху и снизу), поэтому их сварка компенсирует деформации друг друга, и упреждение для основного сечения не требуется.

Контроль патрубков и «крестов» с помощью тахеометра

После сварки основного сечения конструкция становится сложной пространственной фигурой. Для контроля установки патрубков и «крестов» необходим тахеометр [1, 3, 6]. Процесс включает следующие шаги:

1. Измерение фактических координат точек патрубков и «крестов».
2. Сравнение с теоретическими координатами:
 - в специальном ПО (сшивание облаков точек с 3D-моделью) [6];
 - на экране тахеометра с загруженными электронными координатами [5];
 - вручную с использованием листа бумаги с проектными координатами.
3. Расчёт отклонений, как разности между фактическими и проектными координатами.
4. Принятие решения:
 - принять конструкцию, если отклонения в допуске;
 - скорректировать положение элементов, если отклонения превышают допуск.

Важно отметить, что контроль патрубков и «крестов» должен проводиться только после полной сварки основного сечения. Если собрать элемент полностью до сварки основного сечения, остаточные напряжения от сварки стыков основного сечения и швов патрубков/крестов приведут к непредсказуемой деформации, которую сложно исправить.

Преимущества поэтапного подхода

Применение описанной методики даёт следующие преимущества:

1. Сокращение времени контроля. Основное сечение уже выправлено на предыдущем этапе, а сварочные деформации от приварки патрубков и крестов незначительны.
2. Снижение затрат на исправления. Выявление и устранение дефектов на ранних этапах минимизирует необходимость масштабных корректировок готовой конструкции.
3. Повышение точности. Поэтапный контроль позволяет точнее компенсировать сварочные деформации за счёт упреждающей правки.
4. Оптимизация использования тахеометра. Тахеометр применяется только там, где это действительно необходимо – для контроля пространственной геометрии после сварки основного сечения.
5. Улучшение качества сварных соединений. Контроль до сварки снижает риск возникновения напряжений, приводящих к трещинам или деформации.

Описанная методика была успешно применена при изготовлении элементов ферм для стадиона «Мордовия Арена». Конструкция включает:

- основное сечение: полумесяц из трубы Ø325 мм длиной 12 м;
- патрубки: трубы Ø219 мм, Ø140 мм, привариваемые в горизонтальной плоскости;

– «кресты»: патрубки с крестообразным окончанием для присоединения связей.

Результаты внедрения:

- время контроля сократилось на 25–30 %;
- количество исправлений готовой конструкции снизилось на 40 %;
- точность геометрии в пределах допуска составила 98 %.

Заключение

И так, в ходе исследования установлено, что поэтапный контроль геометрии металлоконструкций является обязательным условием обеспечения качества сложных пространственных конструкций. Реализация этого условия возможна через рациональное сочетание традиционных методов (контроль на плите) с современной тахеометрической съёмкой, что позволяет оптимизировать процесс и сократить временные затраты. Оптимальные результаты достигаются при строгом соблюдении технологической последовательности: в частности, контроль патрубков и «крестов» выполняют только после сварки основного сечения. Упреждающая правка на предшествующих этапах эффективно компенсирует остаточные сварочные деформации. Соответственно, применение тахеометров наиболее целесообразно на завершающем этапе – при контроле пространственной геометрии после сварки основного сечения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции». Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87 (с изменениями № 1, 3, 6). – М.: Минстрой России, 2012 (с изм. на 2023 г.).
2. Иванов, С. Н. Сварочные деформации и напряжения: теория и практика / С. Н. Иванов. – М.: Машиностроение, 2019. – 320 с.
3. ГОСТ Р 58892-2020 «Мониторинг технического состояния сооружений. Правила проведения».
4. Калинин, В. А. Изучение тахеометра: от простого к сложному / В. А. Калинин, Л. А. Грибкова // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2018. – № 2. – С. 231–234. – EDN XYBUOD.
5. Руководство по эксплуатации тахеометров Leica TS16. – Leica Geosystems, 2021.
6. SpatialAnalyzer User Manual. – New River Kinematics, 2022.

Иванов Сергей Александрович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Аспирант кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: umsivanov@mail.ru

УДК 614.25:004.773.6

Научный руководитель:
Олейниц Эльвира Валентиновна
преподаватель медицинского колледжа
НИУ «БелГУ», (Белгород, Россия)

М.А. ИГНАТОВ
M.A. IGNATOV

ПРОФИЛАКТИКА РЕСПИРАТОРНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ В НАЦИОНАЛЬНОМ РОССИЙСКОМ МЕССЕНДЖЕРЕ MAX: ОПЫТ РАЗРАБОТКИ КАНАЛА

PREVENTION OF RESPIRATORY DISEASES IN THE RUSSIAN NATIONAL MESSENGER MAX: EXPERIENCE IN CHANNEL DEVELOPMENT

В данной статье автор обосновывает выбор и освещает опыт информирования обучающихся и преподавателей профессионального образовательного учреждения о методах профилактики респираторных заболеваний при помощи использования современных цифровых инструментов. Описаны процесс создания канала «Школа профилактики респираторных заболеваний» в национальном мессенджере MAX, оформления и наполнения ресурса, способы привлечения аудитории.

Ключевые слова: национальный мессенджер MAX, профилактика респираторных заболеваний, грипп и ОРВИ, канал, цифровые инструменты.

In this article, the author substantiates the choice and highlights the experience of informing students and teachers at a vocational educational institution about methods for preventing respiratory diseases using modern digital tools. In given article author describes the process of creating the «School of Respiratory Disease Prevention» channel in the national MAX messenger, as well as the design and content development of the resource and methods for attracting an audience.

Keywords: National Messenger MAX, respiratory disease prevention, influenza and ARVI, messaging channel, digital tools.

По данным НИИ гриппа им. А.А. Смородинцева Минздрава России, в РФ ежегодно регистрируются сотни тысяч случаев гриппа, а в мире – десятки миллионов [5]. Инфекция поражает не только дыхательную систему, но и ЦНС, сердечно-сосудистую систему, почки. По оценкам ВОЗ, глобальная смертность от осложнений гриппа составляет от 290 тыс. до 650 тыс. случаев в год [4]. Экономический ущерб исчисляется миллиардами рублей из-за роста расходов на здравоохранение и снижения производительности труда. Особую группу риска представляют образовательные организации, где высокая плотность контактов ускоряет распространение инфекции среди учащихся и педагогов. При этом традиционные методы профилактической работы (беседы, печатные памятки) теряют свою эффективность среди молодёжной аудитории, предпочитающей получать информацию через экраны смартфонов.

Целью работы стало создание цифрового ресурса для предоставления достоверной научно-обоснованной информации по профилактике респираторных заболеваний среди обучающихся и преподавателей колледжа, формирования ответственного отношения к собственному здоровью.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- обосновать выбор цифровой платформы для проведения профилактической работы;
- разработать структуру ресурса;
- создать инструкцию для медработника по освоению цифровой платформы;
- разработать тематическую инфографику ресурса;
- привлечение аудитории.

Согласно данным Mediascope, молодёжь в возрасте 12–17 лет проводит в смартфонах около 6 часов ежедневно, а аудитория 18–24 лет – более 5 часов (август 2025 г.). При этом более половины всего времени (54%) пользователи посвящают социальным медиа и коммуникациям, что значительно превышает долю других активностей (август 2025 г.). Эти данные подтверждают, что целевая аудитория уже находится в цифровой среде, и мессенджеры представляют собой естественную и востребованную платформу для санитарного гигиенического просвещения [3].

По данным РИА Новости [10], ТАСС [9], Известия [2], пресс релизов ВК [1] в России наблюдается неуклонный рост числа зарегистрированных пользователей в мессенджере МАХ, что представлено на рисунке 1. Этим обусловлен наш выбор МАХ для создания канала «Школа профилактики респираторных заболеваний», потому что он работает стабильно, доступен пользователям по всей России. Использование отечественной платформы соответствует государственному курсу на замену иностранного программного обеспечения российскими аналогами. Для нас важно, чтобы связь с аудиторией не прерывалась – это ключевое условие для регулярной просветительской работы.

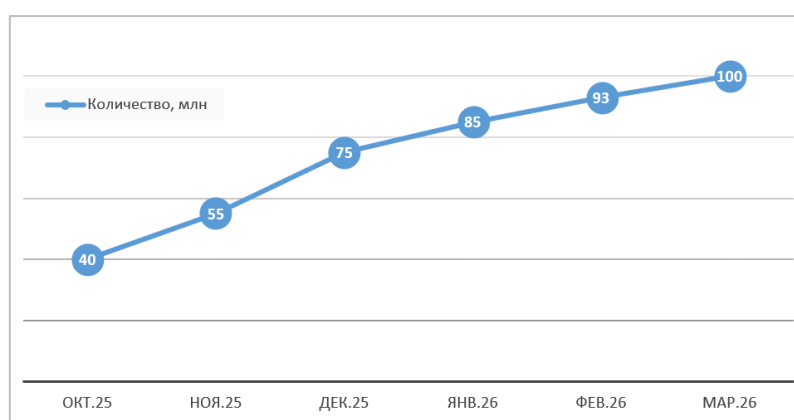


Рисунок 1 – Статистика пользователей мессенджера МАХ в РФ

На канале разбираются методы профилактики респираторных инфекций. К специфической профилактике относится вакцинация, к неспецифической – гигиена рук и соблюдение респираторного этикета. Также освещаются особенности подготовки организма к эпидемиологическому сезону и различия между гриппом и ОРВИ. Кроме того, рассматриваются факторы риска – например, влияние экологической обстановки, курения и образа жизни на работу дыхательной системы. На рисунке 2 представлены примеры наполнения канала.

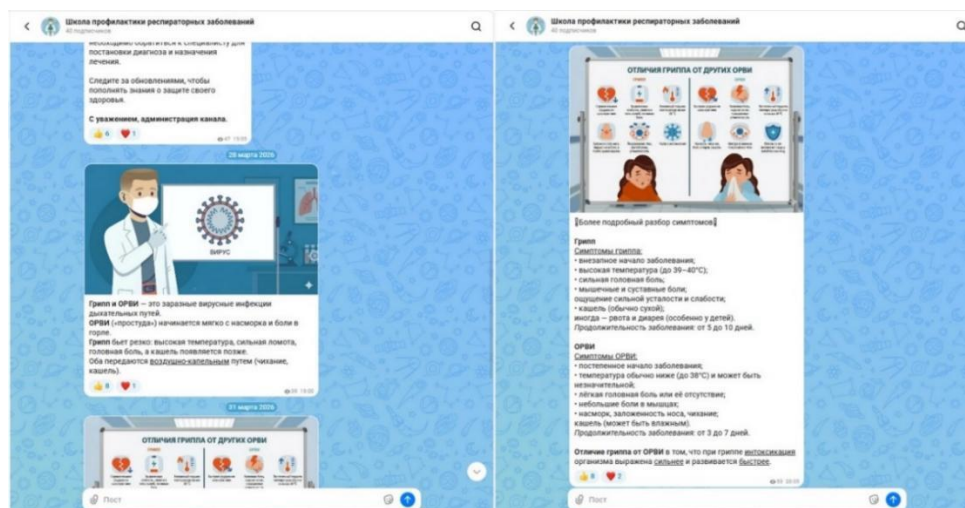


Рисунок 2 – Наполнение канала

Процесс создания авторского канала в мессенджере MAX включал несколько последовательных действий. Первоначально была выполнена настройка профиля канала, где потребовалось загрузить изображение аватара и составить текстовое описание, отражающее суть ресурса. На рисунке 3 показаны поля ввода основных параметров.

Тематическая инфографика для канала была разработана с применением генеративных нейросетевых моделей. В качестве исходных данных использовались реальные фотоматериалы, а также референс (описание) желаемого стиля визуализации. Нейросетевые инструменты позволили трансформировать фотографические изображения в стилизованную инфографику, адаптированную под восприятие аудиторией. На рисунке 4 можно увидеть один из вариантов полученной тематической инфографики.

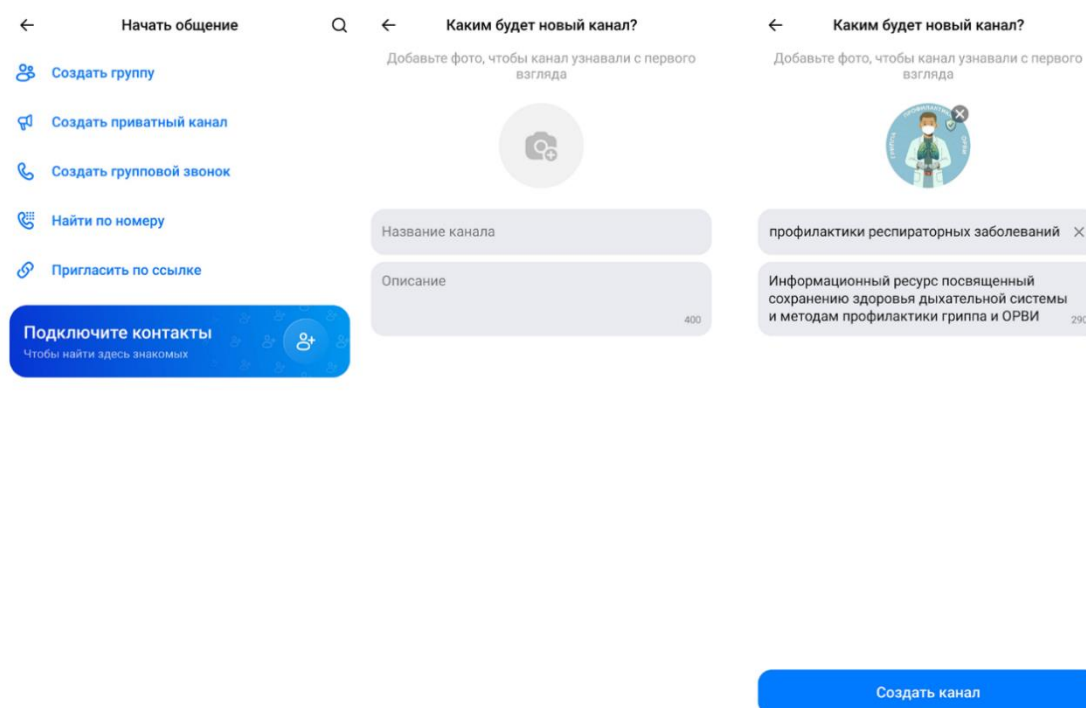


Рисунок 3 – Процесс создания канала

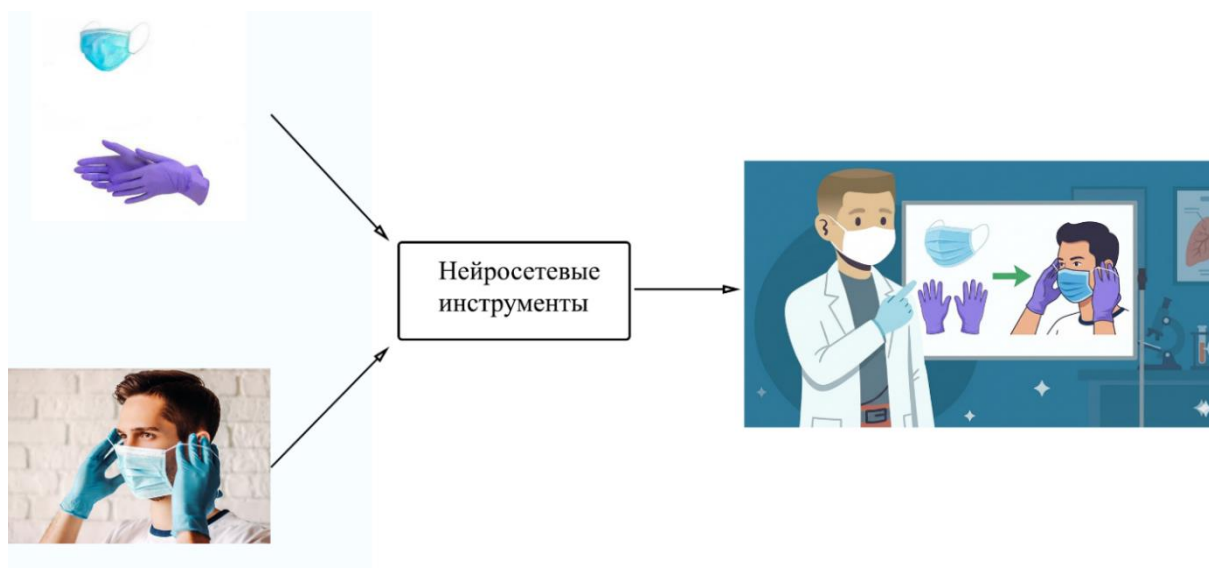


Рисунок 4 – Процесс создания тематической инфографики

В соответствии с требованиями платформы MAX, создание публичного канала становится доступным при соблюдении двух условий: наличие аудитории от

10 000 подписчиков и верификация владельца канала в качестве юридического лица или индивидуального предпринимателя. На текущем этапе пилотного проекта данные критерии не достигнуты, что является стандартной ситуацией для новых каналов в образовательной среде. При этом создание самого канала не требует указанных ограничений – любой пользователь МАХ может создать приватный канал без дополнительных условий [6]. В качестве альтернативного механизма обратной связи применяются встроенные реакции (оценка публикаций), а также количественные метрики вовлечённости: просмотры, сохранения, репосты и динамика подписной базы. По мере роста охвата и выполнения требований платформы функционал комментариев будет активирован в соответствии с техническими регламентами МАХ [6].

Публикация контента в данном мессенджере имеет простую структуру, понятную и доступную медицинским сестрам и фельдшерам, в чьи обязанности входит проведение профилактических мероприятий. Для создания поста достаточно прикрепить фотографию, добавить сопроводительный текст и нажать кнопку отправки. Указанные элементы можно увидеть на рисунке 5.

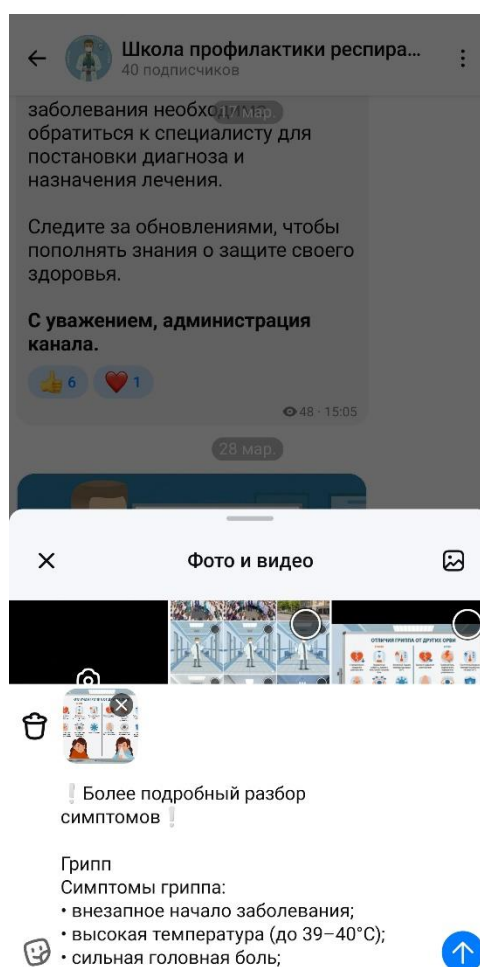


Рисунок 5 – Процесс публикации контента

Отсутствие сложных настроек позволяет сосредоточиться на наполнении канала без технических затруднений. Доступ к созданному каналу для пользователей организован двумя способами: через прямую ссылку или посредством сканирования QR-кода. Ссылка может быть размещена в текстовых материалах, а QR-код обеспечивает быстрый переход при наведении камеры смартфона. На рисунке 6 представлен QR-код для входа.

В ходе исследования обоснован выбор национального мессенджера МАХ, как цифровой платформы для проведения профилактики респираторных заболеваний. Использование российского мессенджера обеспечивает надежность хранения данных и независимость от зарубежных серверов.

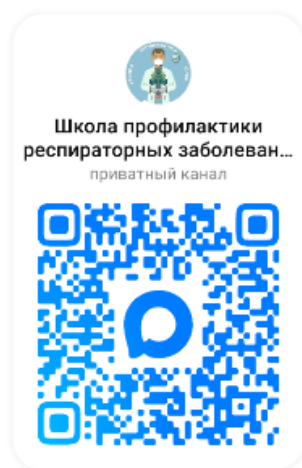


Рисунок 6 – QR-код для входа в канал

Предлагаемая нами структура канала имеет адаптированный медицинский контент под форматы мессенджер-коммуникации со студенческой молодёжью. Такой формат взаимодействия удобен для аудитории и соответствует современным стандартам мобильной коммуникации.

В профессиональной деятельности фельдшер или медицинская сестра образовательного учреждения может создать и вести работу по профилактике респираторных заболеваний.

Разработан единый стиль канала. Проводятся работы по привлечению аудитории (подписчиков).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В MAX зарегистрировались 100 миллионов пользователей // Сайт VK / Пресс-релизы. – Москва, 2026. – URL: <https://vk.company/ru/press/releases/12248/>
2. В мессенджере MAX зарегистрировались 75 млн пользователей // Сайт Известия / Интернет и технологии. – Москва, 2026. – URL: <https://iz.ru/2009879/v-messendzhere-makh-zaregistrirovalis-75-mln-polzovatelei-izi/>
3. В смартфоне // Сайт Исследовательская компания Mediascope / Презентации. – Москва, 2026. – URL: <https://mediascope.net/library/presentations/>
4. Грипп (сезонный) // Сайт ВОЗ / Информационные бюллетени. – WHO, 2026. – URL: [https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/influenza-\(seasonal\)](https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/influenza-(seasonal))
5. Еженедельный национальный бюллетень по гриппу и ОРВИ // Сайт ФГБУ «НИИ гриппа им. А.А. Смородинцева» Минздрава России. – Санкт-Петербург, 2026. – URL: <https://www.influenza.spb.ru/surveillance/flu-bulletin/>
6. Медик, В. А. Общественное здоровье и здравоохранение : учебник / В. А. Медик. – 5-е изд., перераб. – Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2024. – 656 с. – ISBN 978-5-9704-8662-7, DOI: 10.33029/9704-8662-7-РHN-2024-1-656. – Электронная версия доступна на сайте ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. URL: <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785970486627.html> (дата обращения: 10.04.2026). – Режим доступа: по подписке. – Текст: электронный
7. Создание канала в мессенджере MAX: инструкция для всех случаев // Сайт BotHelp. – Брянск, 2026. – URL: <https://bothelp.io/ru/blog/kak-sozdat-kanal-v-max>
8. Федеральная служба по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор) // Сайт Роскомнадзор. – Москва, 2026. – URL: <https://rkn.gov.ru/>
9. Число пользователей Max достигло 55 млн // Сайт ТАСС / Экономика и бизнес. – Москва, 2026. – URL: <https://tass.ru/ekonomika/25626143>

10. Число пользователей МАХ превысило 40 миллионов // Сайт РИА Новости / Мессенджер Мах. – Москва, 2026. – URL: <https://ria.ru/20251002/max-2045874431.html>

11. Эпидемиология : учебник / под ред. Н. И. Брико. – Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2023. – 648 с. – ISBN 978-5-9704-7227-9. – Электронная версия доступна на сайте ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. URL: <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785970472279.html> (дата обращения: 10.04.2026). – Режим доступа: по подписке. – Текст: электронный

Игнатов Максим Александрович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент медицинского колледжа

E-mail: 1675634@bsuedu.ru

УДК 004.45:656.073

*Научный руководитель:
Подпругина Ирина Вячеславовна,
старший преподаватель кафедры
прикладной информатики
и информационных технологий,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

К.П. КАДЫШЕВ, А.И. ПОДПРУГИН
K.P. KADYSHEV, A.I. PODPRUGIN

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНОГО МАГАЗИНА С УЧЕТОМ ТРЕБОВАНИЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

DESIGN AND MODELING OF A TELECOMMUNICATION NETWORK FOR A HARDWARE STORE TAKING INTO ACCOUNT INFORMATION SECURITY REQUIREMENTS

В статье рассматривается процесс проектирования и моделирования телекоммуникационной сети для строительного магазина с обязательным учётом требований информационной безопасности. Проведён анализ предметной области, выявлены основные бизнес-процессы, требующие сетевой поддержки. Сформулированы требования к сети, включая производительность, отказоустойчивость и защиту персональных данных. Выполнен анализ возможных угроз (внешних и внутренних) и обоснован выбор средств защиты информации: межсетевой экран, сегментирование на основе VLAN, антивирусная защита, шифрование трафика (HTTPS, VPN), система резервного копирования и организационные меры. Предложена архитектура сети с разделением на логические сегменты для кассовых терминалов, складского учёта и офисных сотрудников. Результаты могут быть использованы при построении защищённой сети в организациях розничной торговли.

Ключевые слова: телекоммуникационная сеть, строительный магазин, информационная безопасность, межсетевой экран, VLAN, угрозы, защита персональных данных, моделирование сети.

The article discusses the process of designing and modeling a telecommunication network for a hardware store, taking into account mandatory information security requirements. An analysis of the subject area is carried out, the main business processes requiring network support are identified. Requirements for the network, including performance, fault tolerance and personal data protection, are formulated. An analysis of possible threats (external and internal) is performed and the choice of information security tools is justified: a firewall, VLAN-based segmentation, antivirus protection, traffic encryption (HTTPS, VPN), a backup system and organizational measures. A network architecture with division into logical segments for cash terminals, warehouse accounting and office employees is proposed. The results can be used to build a secure network in retail organizations.

Keywords: telecommunication network, hardware store, information security, firewall, VLAN, threats, personal data protection, network modeling.

В современных условиях розничной торговли, в частности в сегменте строительных магазинов, информационные технологии становятся неотъемлемой частью операционной деятельности. Эффективная работа кассовых узлов, складского учёта, взаимодействие с поставщиками и клиентами, а также обработка персональных данных и платежной информации требуют наличия надёжной, производительной и защищённой телекоммуникационной инфраструктуры. Как отмечает О.И. Кутузов, «современные сети связи представляют собой сложные многофункциональные системы, предназначенные для передачи больших объемов информации с заданным качеством обслуживания» [3]. При этом обеспечение информационной безопасности, по определению А.В. Щербака, предполагает комплексный подход, включающий защиту от всех видов угроз на всех этапах жизненного цикла информации [5].

Целью данной работы является проектирование и моделирование телекоммуникационной сети строительного магазина с учётом требований информационной

безопасности, что позволит обеспечить эффективную передачу данных, высокую доступность и надёжность, а также бесперебойное функционирование всех бизнес-процессов.

В ходе предпроектного обследования выполнен анализ деятельности типового строительного магазина. Выделены ключевые узлы, нуждающиеся в сетевом подключении: кассовые терминалы (от 2 до 6), рабочие станции менеджеров и бухгалтерии, складские терминалы учёта товаров, сервер базы данных, видеокамеры наблюдения, точки доступа Wi-Fi для гостей и служебных планшетов. Определены требования к сети: высокая производительность (пропускная способность не менее 1 Гбит/с на магистрали), доступность не ниже 99,9%, отказоустойчивость за счёт резервирования каналов и питания, а также строгое соблюдение законодательства в области персональных данных (ФЗ-152) и стандартов безопасности платежных систем (PCI DSS).

Особое внимание уделено анализу возможных угроз. Внешние угрозы включают кибератаки с целью хищения баз данных клиентов и платежных реквизитов, DDoS-атаки, распространение вредоносного ПО (в том числе программ-шифровальщиков) через фишинговые письма. Как подчёркивает О.М. Замятина, «статистика показывает, что значительная часть инцидентов информационной безопасности связана с действиями сотрудников организации» [2]. Внутренние угрозы – непреднамеренные ошибки персонала (случайное удаление данных, передача информации по незащищённым каналам), умышленные действия обиженных сотрудников, подключение неавторизованных устройств.

На основе анализа угроз и требований выбраны следующие средства защиты информации:

- межсетевой экран (Firewall) – устанавливается на границе с интернетом, обеспечивает фильтрацию трафика и обнаружение атак (IDS/IPS). По определению А. Н. Баланова, он обеспечивает «контроль и фильтрацию проходящего через него сетевого трафика на основе заданных правил» [1];
- сегментация сети с помощью VLAN – создание изолированных логических сегментов для кассовой системы, складских терминалов, офисных ПК и видеонаблюдения. Это ограничивает распространение атак и несанкционированный доступ;
- антивирусная защита с централизованным управлением – обязательно для всех рабочих станций и серверов;
- шифрование данных – использование HTTPS для веб-интерфейсов, VPN для удалённого доступа сотрудников, шифрование хранимых баз данных.
- резервное копирование по принципу «3-2-1» (три копии, два разных носителя, одна вне площадки). Б.Я. Советов подчёркивает важность регулярного обучения сотрудников [4];
- организационные меры – политика паролей, разграничение прав доступа, журналы аудита, инструктаж персонала.

Разработана трёхуровневая архитектура сети. Первый уровень – коммутаторы доступа, на которых настроены VLAN. Второй уровень – роутеры отделов, выполняющие межсетевую маршрутизацию. Третий уровень – центральный роутер, обеспечивающий связь между отделами и выход на межсетевой экран.

Коммутатор Switch1 обслуживает VLAN 2 (кассовые терминалы) и VLAN 3 (офисные ПК). Порты Fa0/1 и Fa0/2 настроены как access в соответствующих VLAN. Порт Fa0/3 – trunk к роутеру Router_Office.

Коммутатор Switch3 обслуживает VLAN 4 (дополнительные офисные ПК). Порт Fa0/1 – access в VLAN 4, порт Fa0/2 – trunk к Router_Office.

Коммутатор Switch4 обслуживает VLAN 5 (складские терминалы) – 8 компьютеров на портах Fa0/1–Fa0/8 в режиме access.

Коммутатор Switch2 обслуживает VLAN 6 (складские терминалы) – 2 компьютера на портах Fa0/1–Fa0/2 в режиме access. Оба коммутатора подключены к роутеру Router_Warehouse (Switch4 через Fa0/9, Switch2 через Fa0/3).

Структурная схема сети представлена на рисунке 1.

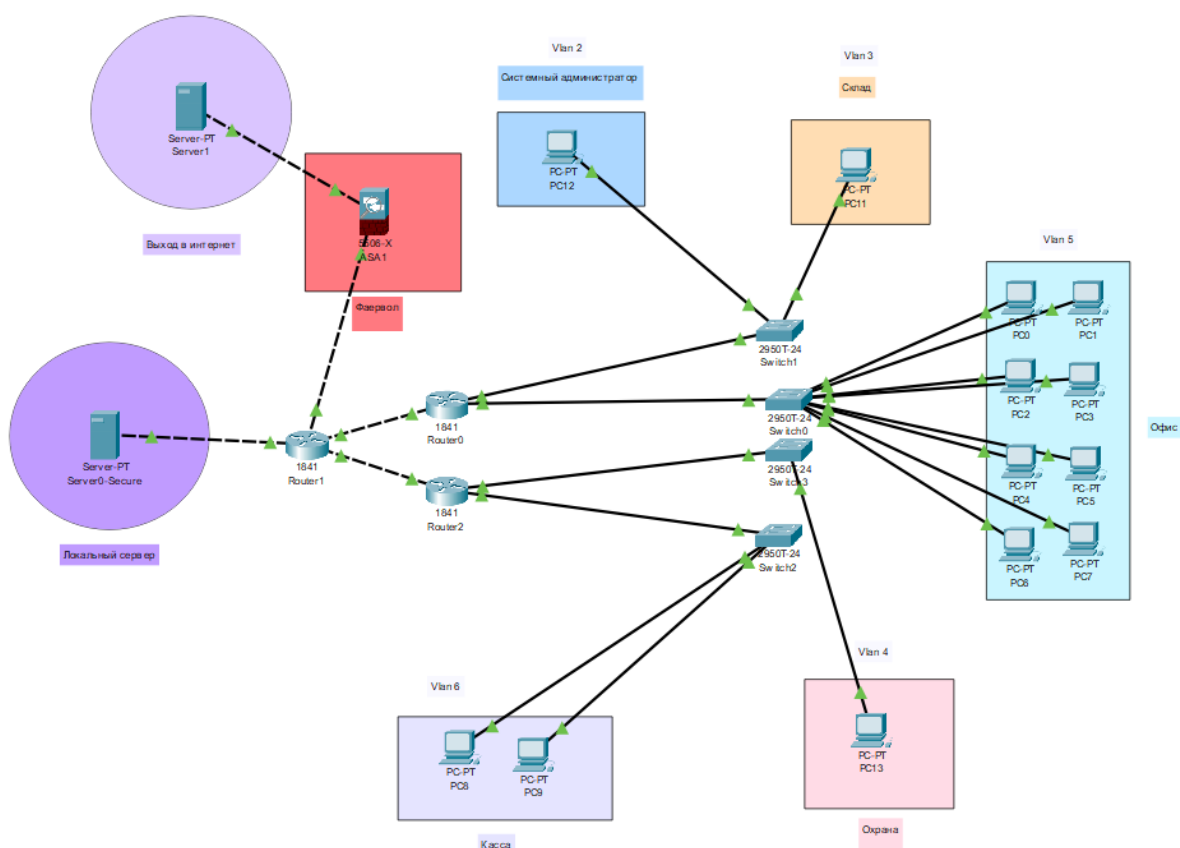


Рисунок 1 – Структурная схема сети

Моделирование выполнено в среде Cisco Packet Tracer. Создана топология, полностью соответствующая проекту. На всех коммутаторах настроены VLAN и trunk-порты. На роутерах отделов выполнена конфигурация субинтерфейсов с инкапсуляцией 802.1Q. На центральном роутере прописаны статические маршруты. Межсетевой экран ASA настроен с использованием графического интерфейса и команд CLI.

В ходе тестирования проверены:

- связность между ПК внутри одного VLAN (ping проходит).
- отсутствие связности между разными VLAN без маршрутизации.
- прохождение ping между ПК из VLAN 2 и VLAN 3 через Router_Office.
- прохождение ping между ПК из VLAN 5 и VLAN 6 через Router_Warehouse.
- доступ внутренних ПК к серверу Server0 (192.168.100.2) через Router_Core.
- доступ внутренних ПК к внешнему серверу Server1 (203.0.113.2) через ASA с трансляцией NAT.

Пример связности между сегментами сети представлена на рисунке 2.

Fire	Last Status	Source	Destination	Type	Color	Time(sec)	Periodic	Num	Edit	Delete
	Successful	PC8	PC9	ICMP		0.000	N	0	(edit)	(delete)
	Failed	PC8	PC12	ICMP		0.000	N	1	(edit)	(delete)

Рисунок 2 – Пример связности между сегментами сети

Блокировка несанкционированного доступа из гостевой сети (не реализована в данном проекте, но может быть добавлена).

Также эмулирована попытка сканирования портов из внешней сети – ASA зафиксировала и отклонила подозрительные пакеты. Все тесты подтвердили работоспособность и безопасность спроектированной сети.

Результаты работы показывают, что предложенная архитектура удовлетворяет требованиям производительности, отказоустойчивости и информационной безопасности. Внедрение такой сети в строительном магазине позволит снизить риски утечки персональных данных, остановки продаж из-за вирусных атак и финансовых потерь.

Дальнейшее развитие проекта может включать внедрение системы обнаружения вторжений (IDS), организацию защищённого мобильного доступа с использованием 802.1X, а также переход на программно-определяемые сети (SD-WAN).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баланов, А. Н. Комплексная информационная безопасность : учебное пособие для СПО / А. Н. Баланов. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2025. – 284 с. – ISBN 978-5-507-52953-7. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/463001>
2. Замятина, О. М. Инфокоммуникационные системы и сети. Основы моделирования : учебное пособие для СПО / О. М. Замятина. – Москва : Юрайт, 2023. – 167 с. – ISBN 978-5-534-17558-5. – URL: <https://urait.ru/bcode/533333>
3. Кутузов, О. И. Инфокоммуникационные системы и сети : учебник для СПО / О. И. Кутузов, Т. М. Татарникова, В. В. Цехановский. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2024. – 244 с. – ISBN 978-5-507-50315-5. – URL: <https://e.lanbook.com/book/417893>
4. Советов, Б. Я. Информационные технологии : учебник для СПО / Б. Я. Советов, В. В. Цехановский. – 7-е изд., перераб. и доп. – Москва : Юрайт, 2023. – 327 с. – ISBN 978-5-534-06399-8. – URL: <https://urait.ru/bcode/511557>
5. Щербак, А. В. Информационная безопасность : учебник для СПО / А. В. Щербак. – Москва : Юрайт, 2023. – 259 с. – ISBN 978-5-534-15345-3. – URL: <https://urait.ru/bcode/519614>

Кадышев Кирилл Петрович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент инжинирингового колледжа

E-mail: 1663839@bsuedu.ru

Подпругин Александр Ильич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Ассистент кафедры прикладной информатики и информационных технологий

E-mail: podprugin@bsuedu.ru

УДК 004.45:656.073

*Научный руководитель:
Подпругина Ирина Вячеславовна,
старший преподаватель кафедры
прикладной информатики
и информационных технологий,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

В.А. КИЯН, А.И. ПОДПРУГИН
V.A. KIYAN, A.I. PODPRUGIN

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ ДЛЯ СПА-ЦЕНТРА
С УЧЕТОМ ТРЕБОВАНИЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
DESIGN AND MODELING OF A TELECOMMUNICATIONS NETWORK
FOR A SPA CENTER TAKING INTO ACCOUNT INFORMATION
SECURITY REQUIREMENTS**

В статье рассматривается процесс проектирования и моделирования телекоммуникационной сети спа-центра с учётом требований информационной безопасности. Разработана физическая и логическая модель сети с сегментацией на основе VLAN. Выполнено моделирование в среде Cisco Packet Tracer, включая настройку VLAN, агрегацию портов, транки, sub-интерфейсы маршрутизатора, DHCP и NAT. Приведены результаты настройки списков доступа ACL и межсетевого экрана firewall. Показано соответствие сети требованиям защиты персональных данных.

Ключевые слова: телекоммуникационная сеть, спа-центр, VLAN, Cisco Packet Tracer, моделирование, ACL, firewall, NAT, DHCP.

The article discusses the process of designing and modeling a spa center's telecommunications network, taking into account information security requirements. A physical and logical network model with VLAN-based segmentation has been developed. The network has been simulated using Cisco Packet Tracer, including VLAN configuration, port aggregation, trunks, router sub-interfaces, DHCP, and NAT. The results of configuring access lists ACL and a firewall have been presented. The network has been shown to meet the requirements for protecting personal data.

Keywords: telecommunications network, spa center, VLAN, Cisco Packet Tracer, modeling, ACL, firewall, NAT, DHCP.

В современных условиях спа-центры сталкиваются с необходимостью построения надёжной телекоммуникационной инфраструктуры, обеспечивающей как комфорт посетителей, так и безопасность обработки персональных данных. Ключевыми требованиями к такой сети являются устойчивое покрытие Wi-Fi, сегментация трафика, поддержка PoE для точек доступа и камер, а также защита информации на всех этапах передачи [1].

Целью работы является проектирование и моделирование телекоммуникационной сети для спа-центра с обеспечением информационной безопасности путём сегментации трафика на основе VLAN, настройки маршрутизации, DHCP, NAT, а также списков доступа ACL и межсетевого экрана [2].

В качестве среды моделирования выбрана Cisco Packet Tracer, позволяющая имитировать работу маршрутизаторов, коммутаторов, точек доступа и других устройств, а также обрабатывать конфигурации в виртуальной среде.

Телекоммуникационная сеть спа-центра представляет собой комплекс оборудования, обеспечивающего передачу данных между всеми устройствами заведения. Основные элементы – коммутаторы, маршрутизаторы и точки доступа Wi-Fi [3].

Физическая телекоммуникационная сеть спа-центра представлена на рисунке 1.

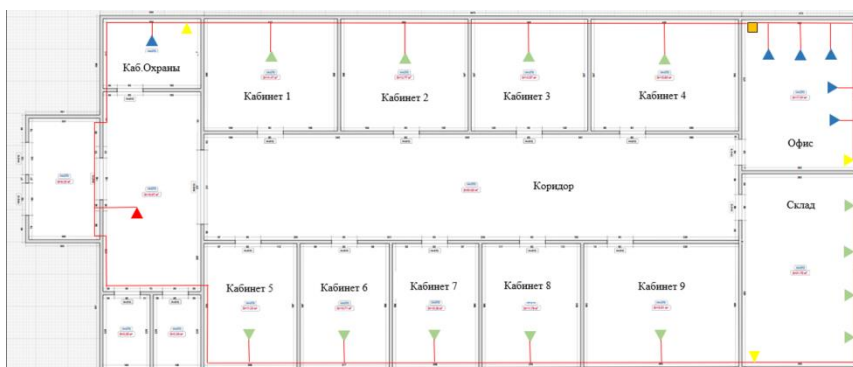


Рисунок 1 – Физическая телекоммуникационная сеть спа-центра

В ходе работы спроектирована логическая телекоммуникационная сеть спа-центра, включающая комплекс устройств и оборудования, которые обеспечивают требуемый уровень функциональности и надежное взаимодействие всех элементов системы [4]. Схема логической телекоммуникационной сети спа-центра приведена на рисунке 2.

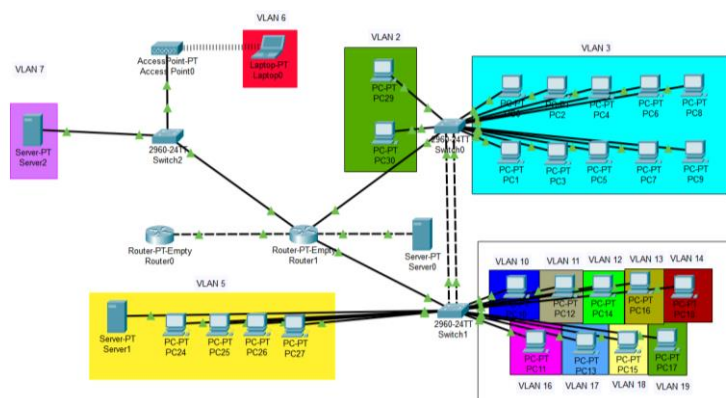


Рисунок 2 – Логическая телекоммуникационная сеть спа-центра

Логическая модель сети построена на основе технологии VLAN, которая позволяет изолировать трафик различных групп пользователей [5, 6]. В таблице 1 приведено распределение VLAN и соответствующих подсетей.

Таблица 1 – Распределение локальных подсетей

№ Vlan	IP-адрес и маска	Назначение
2	192.168.2.1/24	Охрана
3	192.168.3.1/24	Офис
5	192.168.5.1/24	Помещения склада
6	192.168.6.1/24	Сеть Wi-Fi
7	192.168.7.1/24	Сервер DHCP для Wi-Fi
10	192.168.10.1/24	Кабинет 1
11	192.168.11.1/24	Кабинет 2
12	192.168.12.1/24	Кабинет 3
13	192.168.13.1/24	Кабинет 4
14	192.168.14.1/24	Кабинет 5
16	192.168.16.1/24	Кабинет 6
17	192.168.17.1/24	Кабинет 7
18	192.168.18.1/24	Кабинет 8
19	192.168.19.1/24	Кабинет 9

Моделирование выполнено в Cisco Packet Tracer, что позволило детально отработать все этапы настройки. Моделирование позволяет исследовать поведение сложных систем на этапе проектирования, минимизируя затраты на экспериментальную отработку и снижая риски, связанные с внедрением. Создание VLAN представлено на рисунке 3.

```
Switch(config)#vlan 2
Switch(config-vlan)#na
Switch(config-vlan)#name security
Switch(config-vlan)#vlan 3
Switch(config-vlan)#na
Switch(config-vlan)#name office
Switch(config-vlan)#vlan 5
Switch(config-vlan)#na
Switch(config-vlan)#name stock
Switch(config-vlan)#vlan 10
Switch(config-vlan)#na
Switch(config-vlan)#name cab1
Switch(config-vlan)#vlan 11
Switch(config-vlan)#name cab2
Switch(config-vlan)#vlan 12
Switch(config-vlan)#name cab3
Switch(config-vlan)#vlan 13
Switch(config-vlan)#name cab4
Switch(config-vlan)#vlan 14
Switch(config-vlan)#name cab5
Switch(config-vlan)#vlan 16
Switch(config-vlan)#name cab6
Switch(config-vlan)#vlan 17
Switch(config-vlan)#name cab7
```

Рисунок 3 – Создание VLAN

После создания виртуальных локальных сетей на коммутаторах распределены порты доступа для каждой VLAN. Данный этап является ключевым, так как именно распределение портов позволяет делить единую физическую сеть на несколько независимых логических сегментов. Распределение портов доступа представлено на рисунке 4.

```
Switch(config)#interface range 1
Switch(config)#interface range fastEthernet 0/4-13
Switch(config-if-range)#sw
Switch(config-if-range)#switchport m
Switch(config-if-range)#switchport mode a
Switch(config-if-range)#switchport mode access
Switch(config-if-range)#sw
Switch(config-if-range)#switchport a
Switch(config-if-range)#switchport access v
Switch(config-if-range)#switchport access vlan 3
```

Рисунок 4 – Распределение портов доступа

Настройка sub-интерфейсов на маршрутизаторе нужно для логического подразделения одного физического интерфейса маршрутизатора, которые позволяют обрабатывать трафик от нескольких VLAN, поступающий по транковому каналу. Настройка Sub-интерфейсов на маршрутизаторе представлена на рисунке 5.

```
Router#sh
Router#show ip in
Router#show ip interface br
Router#show ip interface brief
```

Interface	IP-Address	OK?	Method	Status
Ethernet5/0	unassigned	YES	unset	administratively down down
FastEthernet6/0	unassigned	YES	unset	up
FastEthernet6/0.5	192.168.5.1	YES	manual	up
FastEthernet6/0.10	192.168.10.1	YES	manual	up
FastEthernet6/0.11	192.168.11.1	YES	manual	up
FastEthernet6/0.12	192.168.12.1	YES	manual	up
FastEthernet6/0.13	192.168.13.1	YES	manual	up
FastEthernet6/0.14	192.168.14.1	YES	manual	up
FastEthernet6/0.16	192.168.16.1	YES	manual	up
FastEthernet6/0.17	192.168.17.1	YES	manual	up
FastEthernet6/0.18	192.168.18.1	YES	manual	up
FastEthernet6/0.19	192.168.19.1	YES	manual	up
FastEthernet6/0.21	192.168.21.1	YES	manual	up
FastEthernet7/0	unassigned	YES	unset	up
FastEthernet7/0.2	192.168.2.1	YES	manual	up
FastEthernet7/0.3	192.168.3.1	YES	manual	up
FastEthernet8/0	192.168.20.1	YES	manual	up
FastEthernet9/0	unassigned	YES	unset	administratively down down

Рисунок 5 – Настройка Sub-интерфейсов на маршрутизаторе

DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) – это протокол, который автоматически назначает устройствам в сети IP-адреса, маску подсети, адрес шлюза [7, 8]. Благодаря этому отпадает необходимость вручную настраивать каждый компьютер или другое оборудование. DHCP-Pool это набор свободных IP-адресов, которые DHCP-сервер может выдавать подключаемым устройствам. Когда устройство подключается к сети, сервер берет из этого запаса свободный адрес и назначает его устройству. Настроенные DHCP-Pool представлена на рисунке 6.

	Pool Name	Default Gateway	DNS Server	Start IP Address	Subnet Mask	Max User	TFTP Server	VLC Address
vlan21		192.168.21.1	0.0.0.0	192.168.21.2	255.255.255.0	254	0.0.0.0	0.0.0.0
vlan19		192.168.19.1	0.0.0.0	192.168.19.2	255.255.255.0	254	0.0.0.0	0.0.0.0
vlan18		192.168.18.1	0.0.0.0	192.168.18.2	255.255.255.0	254	0.0.0.0	0.0.0.0
vlan17		192.168.17.1	0.0.0.0	192.168.17.2	255.255.255.0	254	0.0.0.0	0.0.0.0
vlan16		192.168.16.1	0.0.0.0	192.168.16.2	255.255.255.0	254	0.0.0.0	0.0.0.0
vlan14		192.168.14.1	0.0.0.0	192.168.14.2	255.255.255.0	254	0.0.0.0	0.0.0.0
vlan13		192.168.13.1	0.0.0.0	192.168.13.2	255.255.255.0	254	0.0.0.0	0.0.0.0
vlan12		192.168.12.1	0.0.0.0	192.168.12.2	255.255.255.0	254	0.0.0.0	0.0.0.0
vlan11		192.168.11.1	0.0.0.0	192.168.11.2	255.255.255.0	254	0.0.0.0	0.0.0.0
vlan10		192.168.10.1	0.0.0.0	192.168.10.2	255.255.255.0	254	0.0.0.0	0.0.0.0
serverPool		0.0.0.0	0.0.0.0	192.168.20.0	255.255.255.0	255	0.0.0.0	0.0.0.0

Рисунок 6 – Настроенные DHCP-Pool

Важным этапом конфигурирования сети спа-центра является настройка NAT, которая обеспечивает выход всех устройств в интернет [9]. Внутренние устройства с приватными IP-адресами отправляют запросы на маршрутизатор, который подменяет адрес источника на свой публичный адрес и передает пакеты в интернет. Работа NAT представлена на рисунке 7.

```
Router#show ip nat translations
Pro Inside global      Inside local      Outside local      Outside global
icmp 192.168.15.1:3     192.168.16.2:3   192.168.15.2:3    192.168.15.2:3
icmp 192.168.15.1:4     192.168.16.2:4   192.168.15.2:4    192.168.15.2:4
icmp 192.168.15.1:5     192.168.16.2:5   192.168.15.2:5    192.168.15.2:5
icmp 192.168.15.1:6     192.168.16.2:6   192.168.15.2:6    192.168.15.2:6
```

Рисунок 7 – Работа NAT

Для настройки был использован стандартный ACL для фильтрации трафика с целью ограничения разрешенных приложений, контроля доступа пользователей к сети, а также определения устройств, с которыми могут взаимодействовать шлюза [10]. Настройка ACL представлена на рисунке 8.

```
Router>en
Router#conf t
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
Router(config)#ip access-list standard FOR-NAT
Router(config-std-nacl)#permit 192.168.2.1 255.255.255.0
Router(config-std-nacl)#permit 192.168.3.1 255.255.255.0
Router(config-std-nacl)#permit 192.168.5.1 255.255.255.0
Router(config-std-nacl)#permit 192.168.6.1 255.255.255.0
Router(config-std-nacl)#permit 192.168.7.1 255.255.255.0
Router(config-std-nacl)#permit 192.168.10.1 255.255.255.0
Router(config-std-nacl)#permit 192.168.11.1 255.255.255.0
Router(config-std-nacl)#permit 192.168.12.1 255.255.255.0
Router(config-std-nacl)#permit 192.168.13.1 255.255.255.0
Router(config-std-nacl)#permit 192.168.14.1 255.255.255.0
Router(config-std-nacl)#exit
Router(config)#ip nat inside source list FOR-NAT interface fa0/0 overload
Router(config)#
```

Рисунок 8 – Настройка ACL

Настройка firewall была произведена на компьютере охраны, на нем был запрещен прием сообщений из внутренней сети, что позволяет изолировать рабочую станцию охраны от остальных устройств, предотвращая возможные попытки несанкционированного воздействия. Настройка firewall представлена на рисунке 9.

Save		Remove		Add		
	Action	Protocol	Remote IP	Remote Wild Card	Remote Port	Local Port
1	Deny	ICMP	0.0.0.0	255.255.255....	-	-
2	Allow	IP	0.0.0.0	255.255.255....	-	-

Рисунок 9 – Настройка firewall

В результате выполнения работы разработано комплексное проектное решение телекоммуникационной инфраструктуры для спа-центра, включающее физическую и логическую модель сети. Спроектированная сеть поддерживает сегменты на основе технологии VLAN, обеспечивает полный цикл передачи данных между всеми устройствами заведения, автоматическую выдачу IP-адресов через DHCP, а также выход в интернет с использованием NAT. Применение списков доступа ACL и межсетевого экрана firewall гарантирует защиту персональных данных и изоляцию критически важных сегментов сети. Разработанная модель готова к внедрению в деятельность спа-центра. Дальнейшие исследования будут направлены на внедрение системы обнаружения вторжений (IDS/IPS) и построение защищённого VPN-канала для удалённого администрирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богатырев, В. А. Надежность информационных систем : учебник / В. А. Богатырев. – 2-е изд. – Москва : 2025. – 366 с. – Текст : непосредственный.
2. Боев, В. Д. Компьютерное моделирование систем : учебник / В. Д. Боев. – Москва : 2025. – 253 с. – Текст : непосредственный.
3. Внуков, А. А. Основы информационной безопасности: защита информации : учебное пособие / А. А. Внуков. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : 2024. – 161 с. – Текст : непосредственный.
4. Грекул, В. И. Проектирование информационных систем : учебник / В. И. Грекул, Н. Л. Коровкина, Г. А. Левочкина. – 2-е изд. – Москва : 2025. – 404 с. – Текст : непосредственный.
5. Дибров, М. В. Сети и телекоммуникации. Маршрутизация в IP-сетях : учебник / М. В. Дибров. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : 2025. – 423 с. – Текст : непосредственный.
6. Нечаева, А. М. Компьютерные сети : учебник / под научной редакцией А. М. Нечаева, А. Е. Трубина, А. Ю. Анисимова. – Москва : 2025. – 515 с. – Текст : непосредственный.
7. Никифоров, С. Н. Методы защиты информации. Защита от внешних вторжений : учебное пособие / С. Н. Никифоров. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2024. – 96 с. – Текст : непосредственный.
8. Проектирование информационных систем : учебник / Д. В. Чистов, П. П. Мельников, А. В. Золотарюк, Н. Б. Ничепорук. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : 2025. – 273 с. – Текст : непосредственный.
9. Самуйлова, К. Е. Сети и телекоммуникации: учебник / под редакцией К. Е. Самуйлова, И. А. Шалимова, Д. С. Кулябова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: 2025. – 464 с. Текст : непосредственный.
10. Прохорова, О. В. Информационная безопасность и защита информации : учебник / О. В. Прохорова. – 6-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2025. – 124 с. – Текст : непосредственный.

Киян Вероника Андреевна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент инженерного колледжа

E-mail: 1664225@bsuedu.ru

Подпругин Александр Ильич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Ассистент кафедры прикладной информатики и информационных технологий

E-mail: podprugin@bsuedu.ru

УДК 621.865.8

*Научный руководитель:
Гончаров Дмитрий Викторович,
доцент кафедры информационных
и робототехнических систем,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

В.А. КЛЮЧКИНА, А.А. БУРЛУЦКИЙ, А.В. КЛЮЧКИН, А.А. ГОРЯИНОВ
V.A. KLYUCHKINA, A.A. BURLUTSKY, A.V. KLYUCHKIN, A.A. GORYAINOV

ЭКЗОСКЕЛЕТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕДИЦИНСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ: СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

EXOSKELETON TECHNOLOGIES IN MEDICAL REHABILITATION: CURRENT TRENDS AND DEVELOPMENT PROSPECTS

В статье представлен анализ современных тенденций развития экзоскелетных технологий в медицинской реабилитации. Рассмотрены структурные компоненты, принцип работы и классификация реабилитационных экзоскелетов. Приведен обзор коммерчески доступных устройств, включая российскую разработку ExoAtlet. Выявлены основные ограничения и обозначены перспективные направления дальнейших исследований.

Ключевые слова: экзоскелет, медицинская реабилитация, биоробототехника, двигательные нарушения.

This article presents an analysis of current trends in the development of exoskeleton technologies in medical rehabilitation. It examines the structural components, operating principles, and classification of rehabilitation exoskeletons. A review of commercially available devices is provided, including the Russian-developed ExoAtlet. Key limitations are identified and promising areas for further research are outlined.

Keywords: exoskeleton, medical rehabilitation, biorobotics, movement disorders.

Заболевания опорно-двигательного аппарата, возникающие в результате инсультов, травм позвоночника и заболеваний нервной системы, ежегодно поражают миллионы людей во всем мире. По данным российских исследователей и Министерства здравоохранения РФ, в стране ежегодно регистрируется около 400 тыс. случаев острых цереброваскулярных событий, из которых примерно 45 тыс. инсультов приходится на молодых людей. Около 15% всех случаев инсульта в России регистрируется у пациентов моложе 45 лет, из которых половина приводит к тяжелой инвалидности и необходимости длительной реабилитации.

Традиционные методы реабилитации требуют значительных временных и физических затрат как от пациентов, так и от медицинского персонала, что способствует поиску инновационных технологических решений. Экзоскелеты, представляющие собой внешние механические конструкции, надеваемые на тело человека и предназначенные для имитации движений конечностей, являются одним из наиболее перспективных направлений современной медицинской инженерии [1]. В настоящее время разработано значительное количество роботизированных устройств для улучшения ходьбы у людей с парализованными нижними конечностями.

Целью данного исследования является анализ современных достижений в области разработки и применения экзоскелетных технологий для медицинской реабилитации.

Основой экзоскелетостроения является биоробототехника, представляющая собой междисциплинарную область, которая объединяет биологию, медицину, мехатронику, электронику и информационные технологии. Именно на стыке этих дисциплин происходит разработка современных экзоскелетов.

Экзоскелет в реабилитации используется для восстановления или компенсации утраченных двигательных функций, а его основная цель – обеспечить помощь пациенту при выполнении физиологически правильных движений. В реабилитации больных, потерявших способность самостоятельно передвигаться из-за парализации нижних конечностей, использование экзоскелета является перспективным направлением [1].

Современные реабилитационный экзоскелет представляет собой сложную биотехническую систему, которая включает несколько основных компонентов. Структурная схема экзоскелета представлена на рисунке 1.

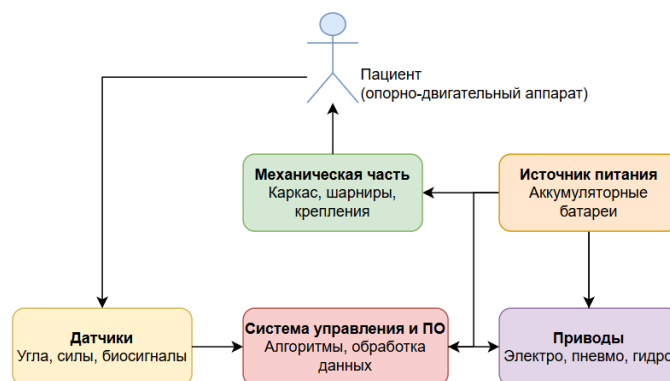


Рисунок 1 – Структурная схема экзоскелета

Механическая часть (каркас, шарниры, крепления) обеспечивает фиксацию устройства на теле пациента. Источником питания экзоскелета являются аккумуляторные батареи, обеспечивающие автономность устройства. Для создания необходимых усилий для выполнения движений используются приводы (электродвигатели, пневматические или гидравлические системы). Основным компонентом является система управления и программное обеспечение – комплекс алгоритмов обработки данных и формирования управляющих воздействий. Датчики применяются для регистрации углов поворота, силы, давления и самое главное – биосигналов (ЭМГ, ЭЭГ).

Принцип работы экзоскелета основан на регистрации движений (мышечных сигналов) с помощью датчиков, после чего система управления обрабатывает полученные данные и формирует управляющие воздействия на приводы, которые помогают совершить движение или полностью берут его на себя.

В зависимости от области применения экзоскелеты классифицируются как устройства для нижних конечностей, верхних конечностей и всего организма. В зависимости от уровня активности экзоскелеты подразделяются на активные (с электроприводом) и пассивные (без питания от сети). По назначению выделяют реабилитационные устройства, предназначенные для восстановления утраченных функций, и компенсирующие, предназначенные для замены необратимо утраченных функций. В зависимости от типа управления экзоскелеты могут быть программными (движения выполняются по заранее заданному алгоритму) или биоуправляемыми (реагирующими на биосигналы пациента).

Традиционно при разработке экзоскелетных устройств основное внимание уделяется принципам биомеханики скелетных мышц [2]. В настоящее время в клинической практике применяется ряд коммерчески доступных экзоскелетных систем. Экзоскелет HAL (Hybrid Assistive Limb), представленный на рисунке 2, управляется с помощью биосигналов мышц.



Рисунок 2 – Экзоскелетное устройство HAL

Экзоскелетное устройство EksoGT, представленное на рисунке 3, используется для восстановления ходьбы после инсульта.



Рисунок 3 – Экзоскелетное устройство EksoGT

Экзоскелет ReWalk, изображенный на рисунке 4, предназначен для пациентов с повреждением спинного мозга.



Рисунок 4 – Экзоскелет ReWalk

Российский экзоскелет ExoAtlet, представленный на рисунке 5, от компании ЭкзоАтлет предназначен для реабилитации пациентов с локомоторными нарушениями нижних конечностей, возникшими вследствие инсульта, травм спинного мозга, ДЦП и других заболеваний [3]. Основными техническими характеристиками данного устройства являются: естественный паттерн ходьбы с перекатом стопы, 8 вариантов траектории шага, 3 скорости ходьбы, ходьба по лестницам и неровным поверхностям [4].



Рисунок 5 – Экзоскелет ExoAtlet

Применение экзоскелетов в реабилитации обеспечивает повышение эффективности реабилитационных программ, снижение нагрузки на медицинский персонал, возможность раннего восстановления после травм, индивидуальную настройку под каждого пациента. Наиболее важными для развития данного направления являются системы с нейроинтерфейсами «мозг-компьютер» [5].

Несмотря на значительный прогресс, широкое внедрение экзоскелетных технологий в клиническую практику имеет ряд ограничений: высокая стоимость, большие габариты и масса некоторых моделей, необходимость специального обучения персонала, ограниченная доступность, сложность адаптации к индивидуальным анатомическим особенностям. Дальнейшее развитие экзоскелетных технологий связано с использованием искусственного интеллекта для адаптивного управления для наиболее точной настройки параметров движений под индивидуальные особенности пациента. Интеграция нейроинтерфейсов предоставит возможность прямого управления экзоскелетом с помощью сигналов головного мозга, что особенно актуально для пациентов с тяжелыми формами паралича. Уменьшение массы и габаритов экзоскелетов позволит повысить удобство их использования, в том числе в домашних условиях.

Экзоскелеты являются важным направлением биоробототехники в медицине, значительно улучшающим качество и эффективность реабилитации пациентов с двигательными нарушениями. Клинические исследования демонстрируют положительные результаты применения экзоскелетов у пациентов с инсультом, травмами спинного мозга и другими заболеваниями опорно-двигательного аппарата. Разработка таких систем требует междисциплинарного подхода, объединяющего компетенции в области биомеханики, медицины, мехатроники, электроники и программирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rukina N.N., Kuznetsov A.N., Borzikov V.V., Komkova O.V., Belova A.N. Principles of efficiency and safety assessment in using exoskeletons for patients with lower limb paralyses (review) // Соврем. технол. мед.. 2016. №4.
2. Mahdian ZS, Wang H, Refai MIM, Durandau G, Sartori M, MacLean MK. Tapping Into Skeletal Muscle Biomechanics for Design and Control of Lower Limb Exoskeletons: A Narrative Review. J Appl Biomech. 2023 Sep 26;39(5):318-333. doi: 10.1123/jab.2023-0046. PMID: 37751903.
3. Shapkova E.Y., Emelyannikov D.V., Larionova Y.E., Kupreev N.A., Grigoreva E.V. Dynamics of independence and locomotor capabilities caused by powered exoskeleton-induced walk training in patients with severe chronic spinal cord injury // Хирургия позвоночника. 2020. №4.
4. Официальный сайт ExoAtlet [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://exoatlet.ru/exoatlet/> (дата обращения: 15.04.2026).
5. Романов А.И., Ступин В.А., Силина Е.В. Перспективы и значение аппаратов внешнего управления (экзоскелетов) для эффективной реабилитации пациентов с нарушениями двигательной функции // Здравоохранение Российской Федерации. – 2021. – Т. 65. – №3. – С. 287-294. doi: 10.47470/0044-197X-2021-65-3-287-294

Ключкина Виктория Александровна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, (г. Белгород, Россия)
Аспирант кафедры информационных и робототехнических систем
E-mail: dunaeva@bsuedu.ru

Бурлуцкий Артем Алексеевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, (г. Белгород, Россия)
Студент кафедры информационных и робототехнических систем
E-mail: 1572186@bsuedu.ru

Ключкин Алексей Викторович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Преподаватель инжинирингового колледжа

E-mail: klyuchkin@bsuedu.ru

Горяинов Андрей Александрович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, (г. Белгород, Россия)

Аспирант кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: goryainov@bsuedu.ru

УДК 616-71

*Научный руководитель:
Федорова Надежда Владимировна,
старший преподаватель кафедры
информационных и робототехнических систем,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

В.А. КЛЮЧКИНА, К.С. ДРОБЫШЕВА, А.В. КЛЮЧКИН
V.A. KLYUCHKINA, K.S. DROBYSHEVA, A.V. KLYUCHKIN

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СЕНСОРНЫЕ СИСТЕМЫ
ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОГО ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА
ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ**
**INTELLIGENT SENSOR SYSTEMS FOR CONTINUOUS REMOTE
MONITORING OF PHYSIOLOGICAL INDICATORS**

В статье представлен анализ современных технологий дистанционного мониторинга состояния пациентов на основе носимых устройств и «умных» датчиков. Рассмотрены архитектура и принципы функционирования систем удаленного мониторинга, классификация регистрируемых физиологических параметров, а также примеры технологических решений в кардиологии, эндокринологии и неврологии. Определены преимущества внедрения таких систем в клиническую практику, обозначены существующие проблемы и перспективы развития.

Ключевые слова: дистанционный мониторинг, носимые устройства, интернет медицинских вещей, интеллектуальные сенсоры, телемедицина.

This article presents an analysis of modern technologies for remote patient monitoring based on wearable devices and smart sensors. It examines the architecture and operating principles of remote monitoring systems, the classification of recorded physiological parameters, and examples of technological solutions in cardiology, endocrinology, and neurology. The advantages of implementing such systems in clinical practice are identified, and existing challenges and development prospects are outlined.

Keywords: remote monitoring, wearable devices, Internet of Medical Things, smart sensors, telemedicine.

Современное здравоохранение переориентируется с оказания экстренной помощи при острых проявлениях заболеваний на непрерывный контроль хронических процессов и развитие профилактического направления. В условиях старения населения и увеличения распространенности сердечно-сосудистых, эндокринных и неврологических заболеваний важной становится задача объективной оценки состояния пациента вне медицинского учреждения становится [1]. Традиционные методы мониторинга, основанные на периодических посещениях врача, не позволяют своевременно выявлять быстрые отклонения физиологических параметров, что увеличивает риск развития неотложных состояний и повторных госпитализаций.

Решением данной проблемы является внедрение систем непрерывного дистанционного мониторинга на базе носимых и имплантируемых «умных» датчиков. Использование устройств, интегрированных в Интернет медицинских вещей (IoMT), позволяет собирать значимые данные в режиме реального времени, создавая основу для предиктивной аналитики и персонализированной медицины [2].

Целью данного исследования является анализ функциональных возможностей, клинической эффективности и ограничений применения интеллектуальных сенсорных систем для дистанционного мониторинга.

Удаленный мониторинг здоровья (RPM) представляет собой технологическую платформу телемедицины, в рамках которой измерение физиологических параметров осуществляется портативными медицинскими устройствами непосредственно в среде обитания пациента [3]. Основным отличием от классического холтеровского мониторинга

является возможность длительной (непрерывной) регистрации данных и их автоматизированная передача медицинскому специалисту без необходимости возврата регистратора.

Архитектура таких систем основана на миниатюрных сенсорах, интегрированных в наручные часы, нагрудные ремни, пластыри или имплантируемые капсулы. Они предназначены для регистрации широкого спектра параметров: гемодинамических, метаболических, физикальных, биоэлектрическая активность. На рисунке 1 представлена классификация данных витальных показателей, подлежащих непрерывному дистанционному мониторингу в системах удаленного наблюдения за пациентом.

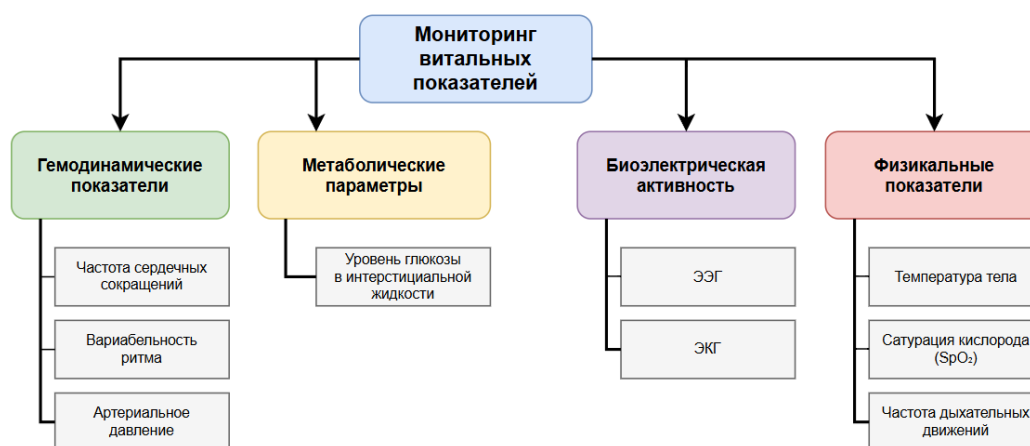


Рисунок 1 – Структурная схема классификации витальных показателей

Полученная схема наглядно демонстрирует классификацию физиологических параметров, регистрируемых носимыми и имплантируемыми сенсорами.

Процесс дистанционного мониторинга цикличен и состоит из трех последовательных этапов:

- сбор данных (сенсор генерирует аналоговый или цифровой сигнал, пропорциональный измеряемой физиологической величине);
- передача данных (первичные данные по протоколам беспроводной связи (Bluetooth Wi-Fi, сотовые сети LTE/NB-IoT) направляются на шлюзовое устройство (смартфон, хаб) или напрямую в облачное хранилище медицинской организации [4];
- анализ и визуализация (первичные «сырые» данные проходят предварительную обработку, после чего анализируются с помощью статистических и спектральных методов, а также с помощью искусственного интеллекта и машинного обучения. Это позволяет фильтровать различные артефакты движения, выявлять скрытые закономерности, а также детектировать и прогнозировать патологические состояния).

Важно отметить, что взаимодействие в рамках RPM может быть синхронным (врач в реальном времени видит показатели пациента) и асинхронным, когда отчеты создаются и поступают врачу по электронной почте или в чат с установленной периодичностью.

Рассмотрим несколько примеров технологических решений, демонстрирующих практическую ценность дистанционного мониторинга в клинической практике. В первую очередь следует выделить носимые датчики артериального давления на основе фотоплетизмографии (PPG–тонометры), которые позволяют в течение суток отслеживать динамику артериального давления без использования манжеты и выявлять такие важные явления, как «ночная гипертензия» или «утренний подъем». Один из примеров датчиков представлен на рисунке 2.

Умные часы Samsung Galaxy Watch оснащены встроенным PPG–датчиком. Для обеспечения клинической точности измерений устройство требует первоначальной калибровки с использованием традиционного манжетного тонометра.

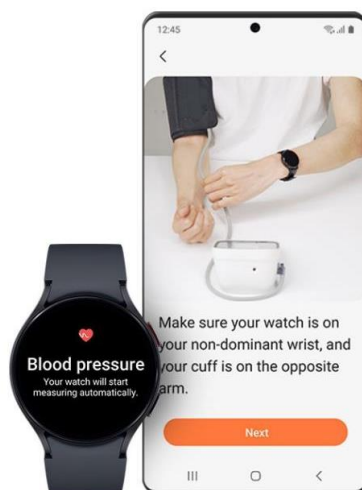


Рисунок 2 – Умные часы Samsung Galaxy Watch

В эндокринологии широкое внедрение получили системы непрерывного мониторинга глюкозы, ставшие надежным методом ведения пациентов с сахарным диабетом 1 типа. Измеряя уровень глюкозы в интерстициальной жидкости каждые несколько минут, они предупреждают пациента о критических отклонениях и, согласно опубликованным данным, позволяют сократить частоту тяжелых гипогликемических состояний на 40–50% [5]. Система непрерывного мониторинга глюкозы продемонстрирована на рисунке 3.



Рисунок 3 – Система непрерывного мониторинга глюкозы Freestyle Libre

Система непрерывного мониторинга глюкозы FreeStyle Libre представляет собой технологию flash-мониторинга, при которой подкожный сенсор измеряет уровень глюкозы в интерстициальной жидкости, а пациент получает актуальные данные, поднося считывающее устройство или смартфон к датчику, установленному на плече.

В неврологической практике всё более активно применяются носимые ЭЭГ-устройства, которые используются для мониторинга пациентов с эпилепсией, а также для объективной оценки качества сна и уровня когнитивной нагрузки. На рисунке 4 представлено носимое устройство BrainBit, предназначенное для регистрации биоэлектрической активности головного мозга и оценки когнитивного состояния в амбулаторных условиях.

В настоящий момент в НИУ «БелГУ» проводится научное исследование в области анализа и прогнозирования эпилепсии с использованием технологий искусственного интеллекта, в котором в качестве аппаратной части применяется данный электроэнцефалограф.

Анализ текущего состояния технологий дистанционного мониторинга позволяет определить преимущества внедрения в клиническую практику. Повышение клинической эффективности за счет непрерывного сбора физиологических показателей способствует раннему выявлению признаков заболеваний и сокращению времени, необходимого для постановки точного диагноза. Экономическая целесообразность таких систем позволяет существенно уменьшить частоту дорогостоящих госпитализаций. Также использование носимых устройств

оказывает положительное влияние на степень вовлеченности пациента в процесс лечения. Наряду с достоинствами существуют проблемы, связанные с конфиденциальностью и безопасностью данных, а также с точностью и надежностью носимых устройств.



Рисунок 4 – Устройство BrainBit

Перспективы развития интеллектуальных сенсорных систем заключаются в совершенствовании сенсорных технологий, более глубокой интеграции алгоритмов искусственного интеллекта и машинного обучения для повышения точности прогнозирования, а также в разработке устройств, ориентированных на пациента. Дальнейшее развитие нормативно-правовой базы и конвергенция носимых датчиков с другими цифровыми платформами здравоохранения будут способствовать повышению доступности и клинической эффективности дистанционного мониторинга.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Webmedy. Wearable Technology in Healthcare: The Future of Remote Patient Monitoring [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://webmedy.com/> (дата обращения: 15.04.2026).
2. Docsfera – медицинский портал для врачей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docsfera.ru/> (дата обращения: 15.04.2026).
3. Здрав.Эксперт. Умные носимые устройства в медицине [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docsfera.ru/> (дата обращения: 15.04.2026).
4. UNI-TEC. Применение беспроводных технологий в медицинском приборостроении [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.uni-tec.su/> (дата обращения: 15.04.2026).
5. Beck RW, Riddlesworth T, Ruedy K, et al. Effect of Continuous Glucose Monitoring on Glycemic Control in Adults With Type 1 Diabetes Using Insulin Injections: The DIAMOND Randomized Clinical Trial. JAMA. 2017; 317(4):371–378. doi:10.1001/jama.2016.19975

Ключкина Виктория Александровна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, (г. Белгород, Россия)
Аспирант кафедры информационных и робототехнических систем
E-mail: dunaeva@bsuedu.ru

Дробышева Кира Сергеевна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, (г. Белгород, Россия)
Студент кафедры информационных и робототехнических систем
E-mail: 1905762@bsuedu.ru

Ключкин Алексей Викторович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)
Преподаватель инжинирингового колледжа
E-mail: klyuchkin@bsuedu.ru

Научный руководитель:
Иващук Ольга Александровна,
профессор кафедры информационных
и робототехнических систем,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)

В.А. КЛЮЧКИНА, Н.Н. ЖАНДАРМОВ, А.В. КЛЮЧКИН
V.A. KLYUCHKINA, N.N. ZHANDARMOV, A.V. KLYUCHKIN

ГИБРИДНАЯ НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ CNN-LSTM ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ЭПИЛЕПСИИ ПО ДАННЫМ ЭЭГ HYBRID NEURAL NETWORK MODEL CNN-LSTM FOR EPILEPSY DIAGNOSIS BASED ON EEG DATA

В статье представлена разработка гибридной нейросетевой модели CNN-LSTM с механизмов внимания для бинарной классификации ЭЭГ-сигналов с целью диагностики эпилепсии. Модель обучена и протестирована на датасете Siena Scalp EEG в трёх сценариях.

Ключевые слова: эпилепсия, электроэнцефалография, CNN-LSTM, диагностика.

This article presents the development of a hybrid CNN-LSTM neural network model with an attention mechanism for binary classification of EEG signals for epilepsy diagnosis. The model was trained and tested on the Siena Scalp EEG dataset in three scenarios.

Keywords: epilepsy, electroencephalography, CNN-LSTM, diagnosis.

Эпилепсия является одним из наиболее распространенных неврологических заболеваний, затрагивающих в России около 347 тысяч человек, при этом 35% из них – дети. Своевременная диагностика и возможность прогнозирования приступов позволяют предотвращать осложнения и внезапную смерть [1]. Традиционная диагностика, основанная на визуальном анализе электроэнцефалограмм врачом, характеризуется субъективностью, высокими временными затратами и риском ошибок, особенно при слабовыраженных паттернах или длительном мониторинге.

Развитие нейросетевых технологий открывает возможности для автоматизации анализа ЭЭГ, повышения точности и объективности диагностики неврологических заболеваний. Однако существующие решения часто ограничены недостаточной адаптацией к индивидуальным особенностям пациентов, узким спектром анализируемых признаков и зависимостью от ручной настройки параметров. Нейросетевые модели выявляют малозаметные эпилептиформные паттерны, которые недоступны визуальному анализу, спектральным и статистическим методам. Благодаря обработке больших объёмов данных нейросети способны обнаруживать сложные пространственно-временные зависимости, что позволяет создать полностью автоматизированную систему диагностики.

Целью данного исследования является разработка и экспериментальное исследование гибридной нейросетевой модели CNN-LSTM с механизмом внимания для диагностики эпилепсии по данным ЭЭГ, а также сравнительный анализ её эффективности в зависимости от состава обучающей выборки (один, два или несколько пациентов).

Для обучения использован открытый датасет Siena Scalp EEG, содержащий записи ЭЭГ 14 пациентов с фокальной эпилепсией [2]. Записи электроэнцефалограмм выполнены по системе 10-20 с частотой дискретизации 512 Гц. Для анализа выбраны четыре канала: O1-Avg, O2-Avg, T3-Avg, T4-Avg, соответствующие затылочным и височным областям. Данные каналы поддерживаются аппаратным устройством BrainBit для регистрации ЭЭГ.

Сырые ЭЭГ-сигналы подвергались фильтрации полосовым фильтром (0.5–50 Гц) для удаления низкочастотного дрейфа и высокочастотных мышечных артефактов. Затем сигнал сегментировался на временные чанки по 120 секунд. Каждое окно далее разбивалось на

перекрывающиеся фрагменты (окна анализа) длиной 1024 отсчёта (4 секунды при частоте дискретизации 256 Гц, до которой выполнялась понижающая дискретизация). Шаг сдвига составлял 256 отсчётов.

Из-за сильного дисбаланса классов (доля приступов менее 2% в большинстве записей) применялась аугментация положительных примеров: скользящее окно с перекрытием, а также добавление небольшого гауссовского шума.

Разработана архитектура гибридной нейросетевой модели CNN–LSTM, представленная на рисунке 1.

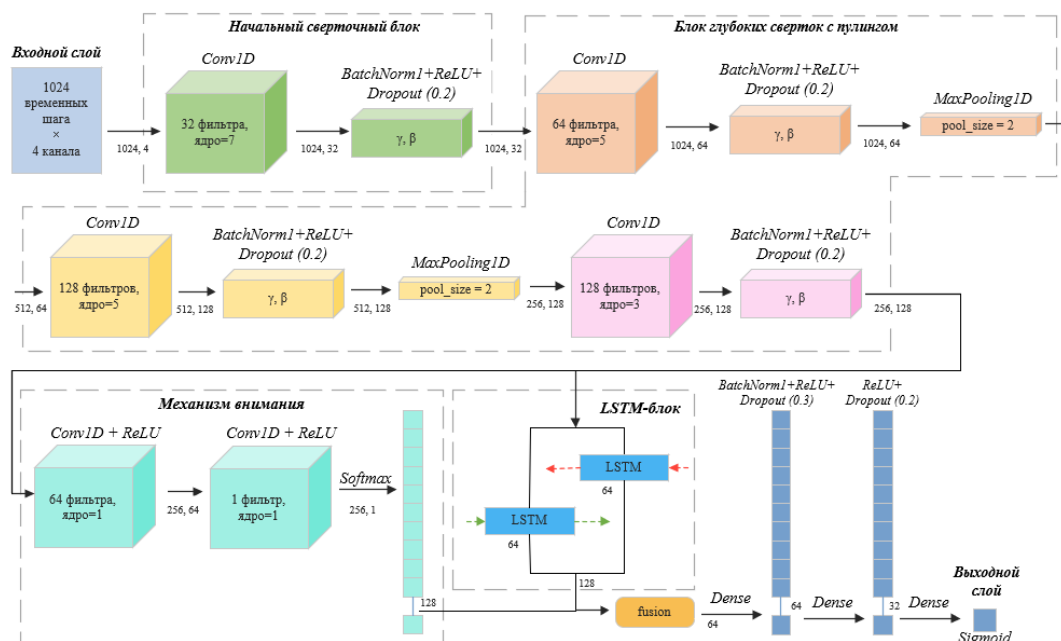


Рисунок 1 – Архитектура гибридной нейросетевой модели CNN–LSTM

Предложенная модель предназначена для бинарной классификации фрагментов ЭЭГ на наличие эпилептиформной активности. Архитектура модели нейросети объединяет сверточные слои для выделения локальных пространственно-временных паттернов. Также использован механизм внимания, необходимый для фокусировки на значимых участках сигнала [3]. Для учёта сложных долгосрочных временных зависимостей применяется двунаправленный слой LSTM.

Входной слой представляет собой тензор размерности 1024 временных шага $\times$ 4 канала электроэнцефалографа. Длина временного окна 1024 – это 4 шт. при частоте дискретизации 256 Гц. Архитектура нейросетевой модели состоит из следующих основных блоков: начальный сверточный блок, блок глубоких сверток с пулингом, механизма внимания и LSTM–блока.

Начальный сверточный блок включает слой Conv1D с 32 фильтрами, ядром 7. В данном случае 32 фильтра являются детекторами, позволяющими сети извлекать из сигнала ЭЭГ разнообразные характерные для эпилепсии паттерны. Conv1D «смотрит» на 7 временных отсчётов по всем четырём каналам одновременно. Каждый из 32 фильтров имеет свой набор весов – (7,4). Все 32 фильтра «скользят» по сигналу, в результате чего получается на выходе тензор размерностью 1024 $\times$ 32. За ним следует пакетная нормализация BatchNorm1 и функция активации ReLU, а также регуляризация 20% для предотвращения переобучения модели Dropout(0.2).

Блок глубоких сверток с пулингом включает в себя три блока глубоких сверток. Первый блок включает в себя слой Conv1D с 64 фильтрами и ядром 5, содержит BatchNorm1, ReLU и Dropout(0.2), а также включает максимальный пулинг MaxPooling для уменьшения размерности данных. Второй блок аналогичен, но с 128 фильтрами. Третий блок состоит из слоя Conv1D с 128 фильтрами и ядром 3, слоёв – BatchNorm1, ReLU и Dropout(0.2). Данный

блок выполняет тонкую настройку признаков без использования максимального пулинга. В результате временная размерность снижается с 1024 до 256 отсчётов, а число каналов признаков возрастает до 128.

После свертки сигнал разветвляется на два параллельных пути – механизм внимания и двунаправленный LSTM блок. Механизм внимания состоит из последовательности: Conv1D (64 фильтра с ядром 1) + ReLU, Conv1D (1 фильтр с ядром 1) + ReLU, функция Softmax, которая нормализует веса по временной оси, превращая вектор произвольных чисел в вектор вероятностей 128. LSTM блок состоит из двух слоёв по 64 нейрона в каждом направлении. Выход последнего временного шага LSTM также формирует вектор 128. Оба вектора усредняются с помощью операции Fusion, объединяя механизм внимания и рекуррентную обработку.

Завершает модель классификатор: полносвязный слой с 64 нейронами BatchNorm1, ReLU и Dropout(0.3), затем слой с 32 нейронами ReLU и Dropout(0.2) и выходной слой одним нейроном и сигмоидой. Такая архитектура обеспечивает баланс между извлечением локальных паттернов, учётом глобального временного контекста и устойчивостью к переобучению, что является важным при работе с несбалансированными медицинскими данными [4].

Обучение нейросетевой модели проводилось с использованием оптимизатора Adam, функции потерь binary crossentropy, ранней остановкой (patience=10) и снижением learning rate при плато. Метрики оценки: Accuracy, Precision, Recall, F1-Score, AUC-ROC, матрица ошибок.

В ходе исследования было выполнено три серии экспериментов. В первой серии обучение и тестирование проводились на данных одного субъекта (пациент 12, 16 чанков, 2 чанка с приступами) для оценки верхней границы точности модели при идентичных условиях записи. Во второй серии модель обучалась на данных субъекта 01 (404 чанка, 2 приступа) и тестировалась на данных субъекта 03 (338 чанков, 2 приступа), что позволило оценить способность к межсубъектному обобщению. Третья серия включала обучение на пяти субъектах (13, 03, 12, 10, 17) и тестирование на двух других (00, 01), что соответствует более реалистичному сценарию применения системы на разнородных данных (всего 1001 чанк, 11 положительных). Во всех экспериментах использовалась аугментация для балансировки классов.

В ходе первого эксперимента получены графики обучения, представленные на рисунке 2.

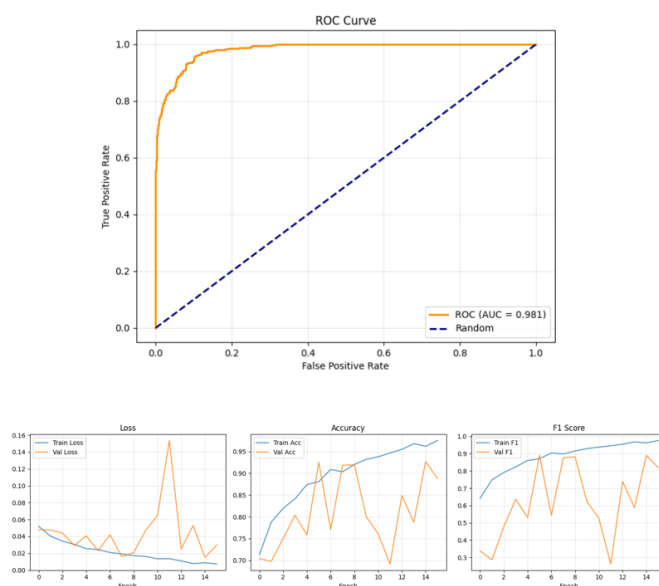


Рисунок 2 – Графики для первого эксперимента

Данные графики демонстрируют хорошую сходимость: loss снижается, ассурасу и F1 растут. На валидации наблюдаются незначительные колебания, но переобучение отсутствует. AUC 0.98 свидетельствует об отличной способности модели различать классы.

На рисунке 3 представлены графики обучения для второго эксперимента.

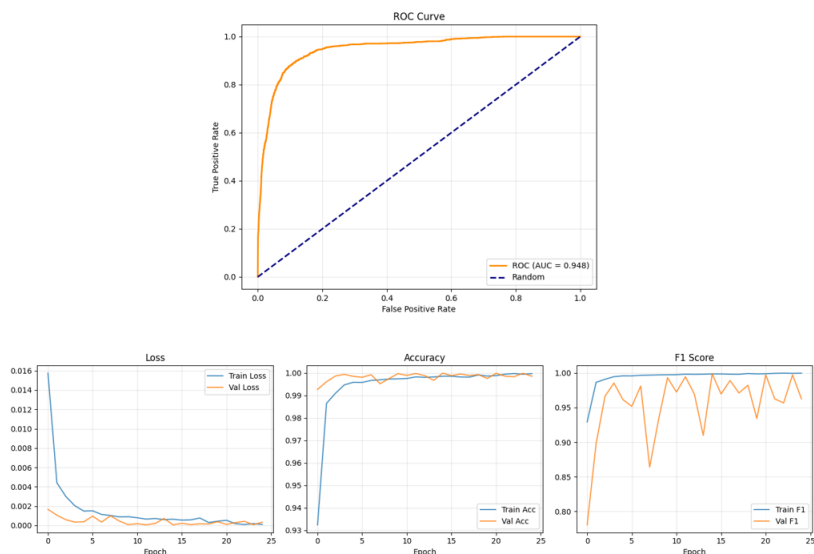


Рисунок 3 – Графики для второго эксперимента

Высокая общая точность (97.2%) достигается за счёт правильного распознавания большинства отрицательных примеров. Однако Precision и Recall низкие, $F1=0.46$. Модель даёт много ложноположительных срабатываний ($FP=1294$) и пропускает почти половину приступов ($FN=919$). AUC 0.95 указывает на потенциально хорошее разделение, но при выбранном пороге классификации (0.0002) качество низкое. Причиной является сильный дисбаланс и разные характеристики сигналов у разных пациентов.

Графики третьего эксперимента, представленные на рисунке 4, демонстрируют высокую точность, но низкие параметры Precision/Recall/F1. AUC снизился до 0.85, что говорит о худшем разделении классов по сравнению с односубъектным случаем.

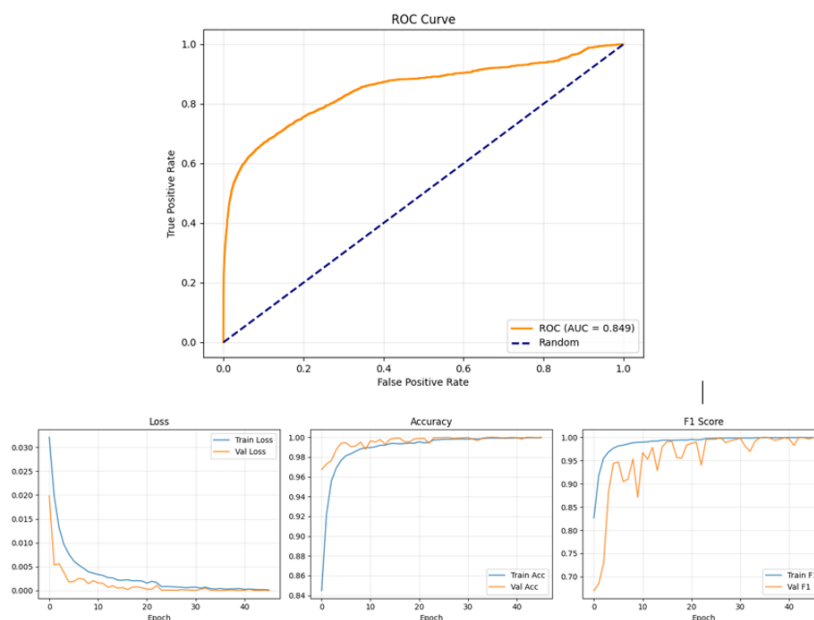


Рисунок 4 – Графики для второго эксперимента

Результаты экспериментов подтверждают, что предложенная гибридная модель CNN–LSTM обеспечивает высокую эффективность при обучении и тестировании на данных одного пациента (98%), что свидетельствует о её способности выделять характерные для эпилепсии пространственно-временные признаки. Полученные результаты доказывают применимость данной модели для автоматизации процесса диагностики эпилепсии. Выявленное в ходе

исследования ограничение свидетельствует о необходимости формирования сбалансированных обучающих выборок с наибольшим числом примеров эпилептических приступов. Перспективы дальнейшего исследования предполагают расширение обучающего датасета и применением методов балансировки.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Фонда содействия инновациям в рамках программы «УМНИК» (договор №19707ГУ/2025 от 01.12.2025).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Всемирная организация здравоохранения. Эпилепсия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/epilepsy> (дата обращения: 15.04.2026).
2. Detti, P. Siena Scalp EEG Database (version 1.0.0). PhysioNet, 2020. <https://doi.org/10.13026/5d4a-j060>.
3. Research and Health, Journal of. «Explainable Epileptic Seizure Detection from Electroencephalography Signals via CNN-Bi-LSTM Attention Hybrid Model» Journal of Research and Health, vol. 15, no. 6, 2025, pp. 779–792.
4. Zeng W., Zhang M., Shan L., Chen Y., Li Z., Du S. (2025). Interpretable classification of epileptic EEG signals using ALIF decomposition and attention-augmented cascaded deep neural networks. Appl. Soft Comput. 180:113211. doi: 10.1016/j.asoc.2025.113211.

Ключкина Виктория Александровна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)
Аспирант кафедры информационных и робототехнических систем
E-mail: dunaeva@bsuedu.ru

Жандармов Николай Николаевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)
Студент кафедры информационных и робототехнических систем
E-mail: 1275957@bsuedu.ru

Ключкин Алексей Викторович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)
Преподаватель инжинирингового колледжа
E-mail: klyuchkin@bsuedu.ru

УДК 530.145

Научный руководитель:
Зиялова Ирина Валерьевна,
преподаватель инжинирингового колледжа,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)

В.Ю. КОВТУН, М.И. МИХАЙЛОВ
V.Y. KOVTUN, M.I. MIKHAILOV

ВЕКТОРНЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ В МАТЕМАТИКЕ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ И ИХ РОЛЬ В РАБОТЕ КВАНТОВЫХ ДАТЧИКОВ И СИСТЕМ (НА ПРИМЕРЕ КВАНТОВЫХ ЧАСОВ)

VECTOR REPRESENTATIONS IN THE MATHEMATICS OF QUANTUM MECHANICS AND THEIR ROLE IN THE OPERATION OF QUANTUM SENSORS AND SYSTEMS (USING THE EXAMPLE OF A QUANTUM CLOCK)

Статья посвящена анализу роли векторных представлений в современной квантовой механике и их прикладному значению для развития высокоточных измерительных приборов. В работе рассматривается математический аппарат гильбертовых пространств, где состояние системы описывается векторами и операторами, что является фундаментом для понимания принципов суперпозиции и квантовой запутанности. На примере квантовых (атомных) часов продемонстрировано, как теоретические векторные модели реализуются в «железе», обеспечивая сверхвысокую точность навигационных и телекоммуникационных систем. Авторами выявлены ключевые недостатки существующих решений и предложены рекомендации по их устранению через внедрение гибридных квантово-классических алгоритмов. Особое внимание уделено адаптации теоретических моделей для решения инженерных задач 2025–2026 годов.

Ключевые слова: вектор, квантовая механика, вектор состояния, гильбертово пространство, квантовые сенсоры, атомные часы, гибридные системы, квантовая механика, точность измерений, принцип суперпозиции, квантовые датчики.

The article is devoted to the analysis of the role of vector representations in modern quantum mechanics and their applied significance for the development of high-precision measuring devices. The paper considers the mathematical apparatus of Hilbert spaces, where the state of the system is described by vectors and operators, which is the foundation for understanding the principles of superposition and quantum entanglement. Using the example of quantum (atomic) clocks, it is demonstrated how theoretical vector models are implemented in hardware, providing ultra-high accuracy of navigation and telecommunication systems. The authors have identified the key shortcomings of existing solutions and proposed recommendations for their elimination through the introduction of hybrid quantum classical algorithms. Special attention is paid to the adaptation of theoretical models to solve engineering problems in 2025-2026.

Keywords: vector, quantum mechanics, vector of state, Hilbert space, quantum sensors, atomic clocks, hybrid systems, quantum mechanics, measurement accuracy, superposition principle, quantum sensors.

В 2026 году квантовые технологии активно переходят из теоретической плоскости в практическую. Их актуальность обусловлена способностью решать сложные задачи, для которых стандартные методы слишком медленны или вовсе неприменимы. Однако глубокое понимание этих технологий невозможно без разбора их математического аппарата – векторного представления [3].

В квантовой механике для описания объектов используется формализм Дирака, где состояние системы представляется как элемент гильбертова пространства. Это полное векторное пространство со скалярным произведением, которое позволяет определять «длину» векторов и углы между ними, что критически важно для расчета вероятностей.

Ключевыми понятиями здесь являются:

Вектор состояния (Кет-вектор): в формализме Дирака это математический объект (обозначается как $|\psi\rangle$), который полностью описывает состояние квантовой системы. Сопряженный ему линейный функционал называется бра-вектором ($\langle\psi|$). По сути, это упорядоченный набор чисел, кодирующий все возможные свойства системы [9].

Базис: любой вектор состояния можно разложить на более простые составляющие – базисные векторы. В квантовой механике выбор базиса не случаен: он обычно соответствует набору собственных состояний определенного оператора (например, энергии или импульса). Это позволяет представить сложное состояние системы как линейную комбинацию простых и понятных состояний [13].

Операторы: если векторы описывают состояние, то операторы описывают изменения и наблюдаемые величины. Они действуют как линейные преобразования, переводя систему из одного состояния в другое. Именно через свойства операторов (линейность, коммутация) формулируются фундаментальные законы. Например, принцип суперпозиции вытекает из линейности пространства, а принцип неопределенности Гейзенберга математически выражается через не коммутативность операторов несоизмеримых величин, что делает невозможным их одновременное точное измерение [11].

Квантовое измерение – это процесс взаимодействия наблюдателя (или прибора) с квантовой системой, в результате которого система переходит в одно из своих базисных состояний (происходит коллапс волновой функции). Особенность квантовых измерений заключается в том, что сам акт измерения неизбежно меняет состояние системы. С математической точки зрения, состояние до измерения описывается принципом суперпозиции, который представляет собой линейную комбинацию базисных векторов в гильбертовом пространстве.

Эти фундаментальные принципы – суперпозиции, неопределённости и квантовой запутанности – лежат в основе работы квантовых датчиков и сенсоров. В квантовых измерительных системах суперпозиция используется для усиления отклика на внешнее воздействие, а запутанность – для повышения чувствительности и достоверности измерений, что открывает новые возможности в навигации, метрологии и высокоточной технике [4].

Как же устроены квантовые датчики? Каждый квантовый датчик имеет дискретный энергетический уровень и очень сильную чувствительную зависимость своего состояния от наблюдаемой и измеряемой величины. Они используются в различных сферах и приборах, например, в квантовых часах.

Квантовые часы – это квантовые датчики (сенсоры) времени, которые характеризуются использованием конкретных состояний атомов или ионов для стабилизации осциллятора на резонансной частоте переходов между дискретными уровнями (которые можно описать с помощью уравнения Шредингера). Также стоит отметить, что квантовые часы являются подтипом атомных часов.

Если посмотреть на устройство квантовых часов с точки зрения квантовой механики, то работа данного устройства основана на принципах суперпозиции и т.д. На рисунке 1 представлены недостатки квантовых часов.



Рисунок 1 – Недостатки квантовых часов

Несмотря на довольно обширное множество недостатков, квантовые часы имеют следующие преимущества по сравнению со своими классическими предшественниками, а именно:

- практически абсолютная точность (возможна погрешность после 18 знаков после запятой);
- надёжность для определённых сфер применения.

Также необходимо отметить, что влияние окружающей среды на квантовые часы проявляется только спустя долгое время [10].

К примеру, квантовые часы используются в навигации и GPS в телекоммуникационных сетях, в научной работе и т. д. для совершенно точного определения времени с невероятно малой погрешностью. В спутниках, где большая погрешность практически недопустима и т. д.

Из этого можно выделить рекомендации по улучшению квантовых часов и датчиков в представлениях как с математической точки зрения, так и с точки зрения векторных представлений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алиев И. И. Физика. Квантовая механика: учебное пособие для вузов / И. И. Алиев. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2024. – 215 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-08492-5
2. Белонучкин В. Е. Квантовая физика: учебное пособие / В. Е. Белонучкин, Д. А. Заикин, Ю. М. Ципенюк; под редакцией В. Н. Аксина. – 4-е изд., испр. – Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2022. – 464 с. – ISBN 978-5-9221-1869-0
3. Гордин, В. А. Математика, компьютер, прогноз погоды и другие сценарии математической физики / В. А. Гордин. – Moscow, 2010. – 736 с. – ISBN 978-5-9221-1130-0. – EDN LNPFIJ.
4. Гриффитс Д. Дж. Квантовая механика / Д. Дж. Гриффитс, Д. Ф. Шрётер; перевод с английского. – 2-е изд., испр. – Москва: УРСС: ЛЕНАНД, 2022. – 560 с. – ISBN 978-5-9710-9426-6
5. Кузнецов С. И. Квантовая механика: учебное пособие / С. И. Кузнецов. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2021. – 204 с. – ISBN 978-5-4387-0967-5
6. Ландау Л. Д. Теоретическая физика. В 10 т. Т. 3. Квантовая механика. Нерелятивистская теория: учебное пособие / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – 7-е изд., испр. – Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2022. – 800 с. – ISBN 978-5-9221-1934-5
7. Малышев В. А. Введение в квантовую теорию: учебное пособие / В. А. Малышев. – Санкт-Петербург: Лань, 2023. – 288 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература). – ISBN 978-5-507-47125-7
8. Савельев И. В. Курс общей физики. В 3 т. Т. 3. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц: учебное пособие / И. В. Савельев. – 5-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2024. – 320 с. – ISBN 978-5-8114-0418-7
9. Сарданашвили Г. А. Современные методы квантовой механики / Г. А. Сарданашвили. – Москва: УРСС: ЛЕНАНД, 2023. – 240 с. – ISBN 978-5-9710-9943-8
10. Фейнман Р. Фейнмановские лекции по физике. Вып. 8-9. Квантовая механика / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс; перевод с английского Г. И. Копылова. – 11-е изд. – Москва: АСТ, 2022. – 528 с. – (Эксклюзивная классика). – ISBN 978-5-17-135061-2
11. Холево А. С. Квантовая вероятность и квантовая статистика / А. С. Холево. – 2-е изд., доп. – Москва: МЦНМО, 2024. – 176 с. – ISBN 978-5-4439-1834-2
12. Auletta G. Quantum Mechanics / G. Auletta, M. Fortunato, G. Parisi. – 2nd ed. – Cambridge: Cambridge University Press, 2020. – 750 p. – ISBN 978-1-107-66589-7
13. Ballentine L. E. Quantum Mechanics: A Modern Development / L. E. Ballentine. – 2nd Revised ed. – Singapore: World Scientific Publishing, 2021. – 740 p. – ISBN 978-981-4578-57-8

14. Beck M. Quantum Mechanics: Theory and Experiment / M. Beck. – 2nd ed. – Oxford: Oxford University Press, 2021. – 544 p. – ISBN 978-0-19-008518-5

15. Zwiebach B. Mastering Quantum Mechanics: Essentials, Theory, and Applications / B. Zwiebach. – Cambridge: The MIT Press, 2022. – 1152 p. – ISBN 978-0-262-04613-8.

Ковтун Владимир Юрьевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент инжинирингового колледжа

E-mail: 1845716@bsuedu.ru

Михайлов Максим Игоревич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент инжинирингового колледжа

E-mail: 1845686@bsuedu.ru

УДК 621.396.93:004.735.5

Научный руководитель:
Гончаров Дмитрий Викторович,
доцент кафедры информационных
и робототехнических систем,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)

A.B. KOZLOV, I.I. GONCHAROVA, N.S. MASLENNIKOVA
A.V. KOZLOV, I.I. GONCHAROVA, N.S. MASLENNIKOVA

АРХИТЕКТУРА БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ НА БАЗЕ LPWAN ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА УДАЛЁННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

ARCHITECTURE OF WIRELESS SENSOR NETWORKS BASED ON LPWAN FOR ECOLOGICAL MONITORING OF REMOTE AREAS

Рассмотрена задача построения беспроводных сенсорных сетей для экологического мониторинга удалённых территорий в условиях отсутствия стационарного электроснабжения и сотовой связи. Выполнен сравнительный анализ протоколов LoRaWAN и NB-IoT по метрологическим, энергетическим и инфраструктурным критериям. Предложена трёхуровневая архитектура сети: сенсорный уровень (конечные узлы класса A), транспортный (шлюз LoRaWAN с backhaul-каналом) и прикладной (сетевой сервер, MQTT-брокер, база временных рядов). Выполнен расчёт бюджета радиосвязи для коэффициента расширения SF9 и дистанции 3 км под пологом лиственного леса: запас бюджета составил 11,7 дБ, что подтверждает применимость протокола в заданных условиях. Для территории площадью 500 га достаточно одного шлюза на мачте 20 м. Расчётная автономность узла на литий-тионилхлоридной батарее ёмкостью 19 А·ч составляет 3–7 лет.

Ключевые слова: LPWAN, LoRaWAN, NB-IoT, беспроводная сенсорная сеть, экологический мониторинг, интернет вещей, бюджет радиосвязи, автономный узел, MQTT.

The paper addresses the construction of wireless sensor networks for ecological monitoring of remote areas under conditions of no stationary power supply and no cellular coverage. A comparative analysis of the LoRaWAN and NB-IoT protocols has been performed with respect to metrological, energy, and infrastructural criteria. A three-tier network architecture is proposed: sensor tier (class A end devices), transport tier (LoRaWAN gateway with backhaul channel), and application tier (network server, MQTT broker, time-series database). The radio link budget calculation for spreading factor SF9 and a distance of 3 km under a deciduous forest canopy yields a link margin of 11.7 dB, confirming the applicability of the protocol under the specified conditions. A single gateway on a 20 m mast is sufficient for an area of 500 ha. The node autonomy on a 19 A·h lithium thionyl chloride battery is 3–7 years.

Keywords: LPWAN, LoRaWAN, NB-IoT, wireless sensor network, ecological monitoring, Internet of Things, radio link budget, autonomous node, MQTT.

Задачи экологического мониторинга лесных массивов, сельскохозяйственных угодий и водоохранных зон предъявляют специфические требования к инфраструктуре передачи данных: значительная удалённость от населённых пунктов, отсутствие стационарного электроснабжения и сотовой связи, необходимость круглогодичной автономной работы десятков и сотен сенсорных узлов. Площадь лесного фонда Российской Федерации превышает 800 млн га, а доля территорий с устойчивым покрытием сетей LTE в пределах Центрального федерального округа составляет, по оценкам операторов связи, не более 60 % применительно к лесным массивам. Традиционные беспроводные технологии ближнего радиуса действия – Wi-Fi (IEEE 802.11), Bluetooth (IEEE 802.15.1) и ZigBee (IEEE 802.15.4) – не обеспечивают устойчивую передачу данных на расстояния свыше 1 км при энергопотреблении, допускающем многолетнюю работу узла от автономного источника питания [1, 4]. Технологии класса LPWAN (Low-Power Wide-Area Network) разрабатывались именно для подобных сценариев; к настоящему моменту сформирована группа протоколов, включающая LoRaWAN, NB-IoT, Sigfox, NB-Fi, XNB и ряд других, однако обоснованный выбор протокола для задач экологического мониторинга требует учёта физических и инфраструктурных ограничений конкретного объекта. Целью настоящей работы является обоснование архитектуры беспроводной сенсорной сети на базе LPWAN для

экологического мониторинга удалённых территорий и количественная оценка применимости выбранного протокола в условиях лесной среды.

Методологическую основу исследования составил сравнительный технический анализ протоколов LoRaWAN и NB-IoT – двух доминирующих на российском рынке представителей нелицензируемого и лицензируемого классов LPWAN соответственно. В качестве источников использованы спецификации LoRa Alliance версии 1.0.4, технические отчёты 3GPP (Release 13–17), предварительный национальный стандарт ПНСТ 516–2021, действующий государственный стандарт ГОСТ Р 59026–2024, а также публикации отечественных авторов [2, 5]. Формализован четырёхгрупповой набор критериев сравнения. К физическим отнесены тип модуляции, ширина канала, рабочий частотный диапазон и максимальный бюджет линии (MCL). К сетевым – скорость передачи данных, задержка, ёмкость соты и число поддерживаемых устройств. К инфраструктурным – необходимость наличия операторской сети, владение шлюзом, условия лицензирования. К экономическим – стоимость оконечного устройства, стоимость развёртывания точки покрытия и эксплуатационные расходы при пятилетнем цикле жизни сети. Каждый критерий оценивался по данным спецификаций и результатам, опубликованным в [2, 3, 6, 7].

Протокол LoRaWAN основан на модуляции LoRa (Chirp Spread Spectrum), обеспечивающей высокую помехоустойчивость и радиус связи 5–15 км на открытой местности в нелицензируемом диапазоне 868 МГц, согласованном для Российской Федерации решением Технического комитета LoRa Alliance в 2018 году в пределах полосы 864–870 МГц [6]. Скорость передачи варьируется в диапазоне 0,3–11 кбит/с в зависимости от коэффициента расширения SF от 7 до 12, что полностью достаточно для телеметрии газоаналитических датчиков и метеостанций с интервалом опроса от 5 минут. Топология сети – «звезда из звёзд»: конечные устройства передают данные непосредственно одному или нескольким шлюзам, которые ретранслируют их на сетевой сервер по стандартному IP-каналу. Один восьмиканальный шлюз на базе концентратора SX1301 обслуживает до нескольких тысяч узлов благодаря ортогональности коэффициентов расширения и механизму адаптивной скорости ADR. Принципиальное преимущество для удалённых территорий – полная автономность от операторской инфраструктуры: шлюз может питаться от солнечной панели и передавать данные на сетевой сервер через спутниковый канал VSAT.

Протокол NB-IoT разработан консорциумом 3GPP в составе Release 13 и функционирует в лицензируемых полосах сотовых операторов, используя инфраструктуру существующих базовых станций LTE с программной надстройкой [7]. Канал uplink занимает 180 кГц, что соответствует одному блоку ресурсных элементов LTE (PRB). Достоинства протокола – гарантированное качество обслуживания на уровне сотовой сети, двусторонняя связь с управляемой задержкой и режим eDRX для продления срока службы батареи. Максимальный бюджет радиолинии NB-IoT составляет 164 дБ против 155–157 дБ у LoRaWAN, что потенциально обеспечивает большую дальность и лучшее проникновение через препятствия. Вместе с тем применимость NB-IoT для лесных территорий ограничена зоной покрытия сотовой сети: по данным операторов связи Российской Федерации, до 40 % лесных массивов Центрального федерального округа не имеют устойчивого LTE-покрытия. Абонентская плата за SIM-карту каждого узла увеличивает эксплуатационные расходы при развёртывании сотен сенсорных устройств, что в ряде проектов мониторинга становится определяющим фактором отказа от протокола. Сопоставление двух технологий по совокупности рассмотренных критериев приведено в таблице 1.

Специфическим фактором для лесных экосистем является дополнительное затухание радиосигнала в древесном пологом, не учитываемое стандартной моделью свободного пространства. На частоте 868 МГц потери под пологом лиственного леса в вегетационный период составляют 10–20 дБ на каждые 100 м распространения сигнала, под пологом хвойного леса – 8–15 дБ на 100 м; затухание усиливается в условиях высокой влажности кроны после осадков. Для типовой сомкнутости древостоя 0,7 и дистанции до шлюза 3 км дополнительное затухание оценивается на уровне 30 дБ, что сокращает практическую дальность LoRaWAN до 2–5 км в

густом лесу. Размещение шлюза на опоре высотой 15–25 м частично компенсирует затухание за счёт подъёма антенны над верхушками крон и перехода на модель распространения с частичным видом прямой видимости [3]. Топология «звезда» в условиях распределённого развёртывания предпочтительнее mesh-архитектур (ZigBee, Thread), поскольку исключает ретрансляцию через промежуточные узлы и пропорциональный рост их энергопотребления.

Таблица 1 – Сравнительные характеристики протоколов LoRaWAN и NB-IoT для задач экологического мониторинга

Параметр	LoRaWAN	NB-IoT
Частотный диапазон	868 МГц (ISM, нелицензир.)	791–862 / 880–960 МГц (LTE)
Тип спектра	Нелицензируемый	Лицензируемый сотовыми операторами
Модуляция	CSS (Chirp Spread Spectrum)	$\pi/4$ -QPSK
Ширина канала	125 / 250 кГц	180 кГц (1 PRB LTE)
Скорость передачи	0,3–11 кбит/с	20–250 кбит/с
Максимальный бюджет линии (MCL)	155–157 дБ	164 дБ
Дальность на открытой местности	5–15 км	10–35 км
Дальность под лесным пологом	2–5 км	определяется зоной покрытия LTE
Ёмкость соты	до нескольких тысяч узлов	до 50 000 узлов
Задержка (uplink)	1–10 с	1,6–10 с
Инфраструктура	Собственный шлюз	Сеть оператора связи
Стоимость развёртывания узла	низкая (без SIM)	средняя (SIM + абон. плата)
Автономность узла от батареи 19 А·ч	3–7 лет	5–10 лет

На основании проведённого анализа предложена трёхуровневая архитектура беспроводной сенсорной сети. Сенсорный уровень образуют конечные узлы класса А, передающие данные с интервалом 10–15 минут; такая периодичность достаточна для большинства задач мониторинга концентрации парниковых газов, температуры и влажности почвы, уровня воды и метеопараметров. Транспортный уровень включает шлюз LoRaWAN с автономным питанием от солнечной панели 40 Вт и аккумуляторной батареи LiFePO4 ёмкостью 30 А·ч, а также backhaul-канал связи с облачной инфраструктурой (4G/VSAT). Прикладной уровень содержит сетевой сервер LoRaWAN (Network Server), MQTT-брокер для маршрутизации сообщений и базу временных рядов на основе InfluxDB или TimescaleDB для хранения телеметрии. Предложенная архитектура представлена на рисунке 1.

Уровень 3 – прикладной (облако):

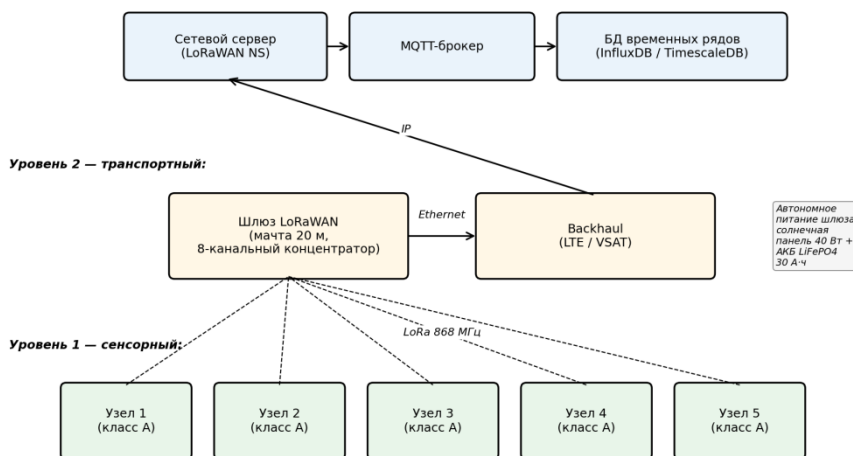


Рисунок 1 – Трёхуровневая архитектура беспроводной сенсорной сети на базе LoRaWAN для экологического мониторинга удалённых территорий

Для количественной оценки применимости протокола LoRaWAN в лесных условиях выполнен расчёт бюджета радиолинии uplink для коэффициента расширения SF9 и ширины канала 125 кГц. Выходная мощность передатчика конечного узла составляет 14 дБм (25 мВт), что соответствует максимально разрешённой ЭИИМ в нелицензируемом диапазоне 868 МГц на территории Российской Федерации. Потери в кабельном тракте передатчика приняты равными 1,0 дБ, усиление штыревой антенны узла – 2,0 дБ. Потери в свободном пространстве на частоте 868 МГц для дистанции 3 км, рассчитанные по формуле Фрииса, составляют 100,8 дБ. Дополнительное затухание в пологе леса для указанной дистанции и типовой сомкнутости древостоя принято равным 30 дБ. На стороне приёма усиление коллинеарной антенны шлюза составляет 6,0 дБ, потери в фидере длиной 20 м – 1,5 дБ. Таким образом, уровень сигнала на входе приёмника шлюза равен – 111,3 дБм, а при паспортной чувствительности приёмника SX1301 на SF9, равной – 123 дБм, запас бюджета радиолинии составляет 11,7 дБ, что соответствует требованиям надёжной связи. Диаграмма бюджета радиолинии представлена на рисунке 2.

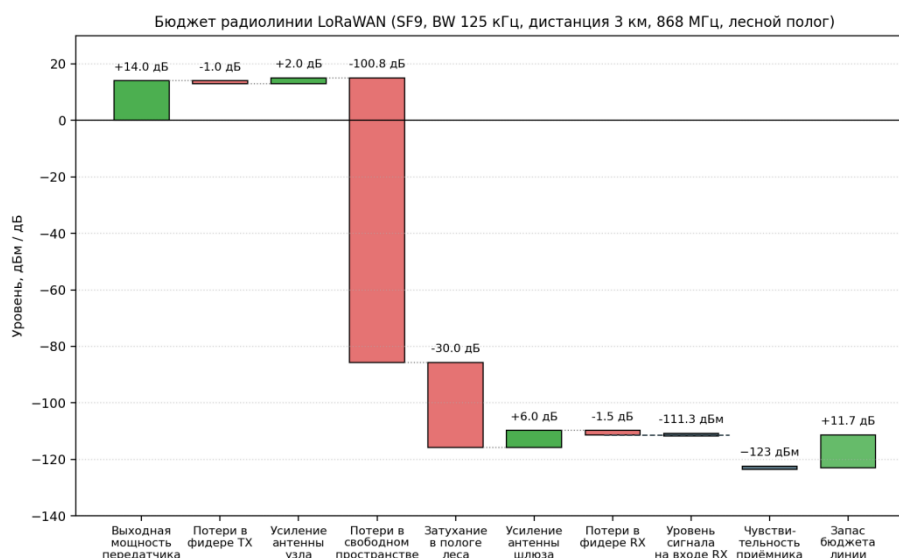


Рисунок 2 – Диаграмма бюджета радиолинии LoRaWAN для SF9, дистанции 3 км и дополнительного затухания в лесном пологе 30 дБ

Расчёт энергопотребления конечного узла выполнен при интервале передачи 15 минут и размере кадра 11 байт. Ток потребления в режиме передачи LoRaWAN на выходной мощности 14 дБм при SF9 составляет 38 мА в течение 350 мс; ток микроконтроллера в активном режиме – 6 мА; статический ток сна узла – 1,6 мкА. Суммарный заряд, расходуемый за один цикл измерения и передачи, равен 0,041 А·с; суточный расход при 96 циклах – 0,043 А·ч. При паспортной ёмкости литий-тионилхлоридной батареи ER34615 19 А·ч и коэффициенте использования 0,85, учитывающем саморазряд и температурную деградацию, расчётная автономность узла составляет 2,8 года. Сборка из двух элементов ER34615 общей ёмкостью 38 А·ч увеличивает срок автономной работы до 5,5 лет. Для территории площадью 500 га достаточно одного шлюза LoRaWAN с антенной, установленной на высоте 20 м, что обеспечивает покрытие радиусом до 3 км в лесу средней густоты и плотность размещения узлов порядка 0,2 шт./га.

Результаты проведённого сравнительного анализа позволяют сформулировать следующее заключение. Протокол LoRaWAN обладает системными преимуществами перед NB-IoT применительно к задачам экологического мониторинга удалённых территорий: независимость от покрытия сотовой сети, отсутствие абонентских платежей, возможность развёртывания полностью автономной инфраструктуры с собственным шлюзом и backhaul-каналом. Основное ограничение – сокращение дальности связи под лесным пологом – компенсируется подъёмом антенны шлюза над верхушками крон и выбором коэффициента расширения SF9 и выше. Протокол NB-IoT сохраняет приоритет для задач мониторинга, реализуемых в зоне устойчивого покрытия LTE и требующих гарантированной задержки или повышенных скоростей передачи, например, при передаче изображений с камер фотофиксации нарушений.

В работе предложена трёхуровневая архитектура беспроводной сенсорной сети на базе протокола LoRaWAN для задач экологического мониторинга удалённых территорий, выполнен расчёт бюджета радиолинии в условиях лесной среды и оценены показатели автономности конечных узлов. Установлено, что при коэффициенте расширения SF9, дистанции 3 км и дополнительном затухании в пологе 30 дБ запас бюджета радиолинии составляет 11,7 дБ, что обеспечивает надёжную связь. Для территории 500 га достаточно одного шлюза на мачте высотой 20 м; расчётная автономность узла на сдвоенной батарее ёмкостью 38 А·ч составляет 5,5 лет. Предложенная архитектура согласуется с требованиями ПНСТ 516–2021 и ГОСТ Р 59026 – 2024 и допускает серийное тиражирование. Дальнейшие исследования целесообразно направить на натурные измерения потерь распространения сигнала в лесорастительных условиях Белгородской области с построением региональной модели затухания, применимой для проектного расчёта сетей экологического мониторинга.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фон, К. Т. Разработка и исследование беспроводной сенсорной сети для мониторинга угарного газа / К. Т. Фон. – Текст : непосредственный // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – № 6-2 (48). – С. 148–153.
2. Куклов, В. М. Анализ и сравнение современных LPWAN технологий NB-IoT и LoRaWAN / В. М. Куклов, Ю. Н. Зиненко. – Текст : непосредственный // Цифровое будущее на основе 4G/5G : сборник научных трудов. – 2018. – С. 55–59.
3. Бобровский, В. И. Исследование дальности связи линии передачи цифровых сигналов на основе приёмопередатчиков с модуляцией LoRa в условиях помех / В.И. Бобровский [и др.]. – Текст : непосредственный // Техника средств связи. – 2025. – № 3 (171). – С. 15–25.
4. Гольдштейн, Б. С. Сети связи пост-NGN / Б. С. Гольдштейн, А. Е. Кучерявый. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2014. – 160 с. – Текст : непосредственный.
5. Росляков, А. В. Интернет вещей : учебное пособие / А. В. Росляков, С. В. Ваняшин, А. Ю. Гребешков. – Самара : ПГУТИ, 2015. – 200 с. – Текст : непосредственный.
6. ПНСТ 516–2021. Информационные технологии. Интернет вещей. Спецификация LoRaWAN RU : предварительный национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утверждён и введён в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 08 февраля 2021 г. № 23-пнст : дата введения 2021–07–01. – Москва : Стандартинформ, 2021. – 44 с. – Текст : непосредственный.
7. ГОСТ Р 59026–2024. Информационные технологии. Интернет вещей. Протокол беспроводной передачи данных NB-IoT. Основные параметры : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утверждён и введён в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 01 ноября 2024 г. : дата введения 2025–01–01. – Москва : Российский институт стандартизации, 2024. – Текст : непосредственный.
8. Шалагинов, А. В. LPWA-сети на основе открытого стандарта LoRa / А. В. Шалагинов. – Текст : непосредственный // Connect. Мир информационных технологий. – 2019. – № 1-2. – С. 60–67.

Козлов Артём Владимирович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: kozlov_a@bsuedu.ru

Гончарова Ирина Ивановна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Аспирант кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: goncharova_i@bsuedu.ru

Масленникова Наталья Сергеевна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: 1952667@bsuedu.ru

УДК 630*228:551.510.42

Научный руководитель:
Ягалиева Багдат Есеновна,
ассоциированный профессор
кафедры кибербезопасности,
НАО «КазННТУ им. К.И.Сатпаева»
(Алматы, Казахстан)

Р. КУЛАНБАЕВ, И.И. ГОНЧАРОВА
R. KULANBAEV, I.I. GONCHAROVA

УГЛЕРОДНЫЙ БАЛАНС ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ: МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПОТОКОВ CO₂ И ИХ ОГРАНИЧЕНИЯ

CARBON BALANCE OF FOREST ECOSYSTEMS: METHODS FOR ASSESSING CO₂ FLUXES AND THEIR LIMITATIONS

Выполнен критический анализ четырёх основных методов оценки потоков диоксида углерода в лесных экосистемах: вихревой ковариации, камерного, градиентного и балансового (биометрического). Сопоставление проведено по критериям пространственного охвата, временного разрешения, погрешности, стоимости аппаратного комплекса, энергопотребления и состава выявляемых компонентов потока. Приведена схема типовой конфигурации измерительной мачты вихревой ковариации и представлена диаграмма пространственно-временного покрытия методов. Установлено, что каждый метод обладает специфической «областью применимости», вне которой его использование приводит к неприемлемой неопределённости оценок. Обоснована целесообразность сопряжения классических методов для получения достоверной оценки углеродного бюджета лесов Центрально-Чернозёмного региона; определены направления совершенствования инструментальной базы.

Ключевые слова: углеродный баланс, лесная экосистема, поток CO₂, вихревая ковариация, камерный метод, градиентный метод, биометрический метод, карбоновый полигон, мониторинг парниковых газов.

A critical analysis of four principal methods for assessing carbon dioxide fluxes in forest ecosystems is performed: eddy covariance, chamber, gradient, and biometric (mass balance). The methods are compared on the criteria of spatial coverage, temporal resolution, measurement uncertainty, instrumentation cost, power consumption, and the composition of flux components they resolve. A schematic of a typical eddy covariance mast configuration is presented along with a diagram of the spatial-temporal coverage of the methods. It is established that each method has a specific range of applicability beyond which its use leads to unacceptable uncertainty. The reasonability of coupling the classical methods to obtain a reliable assessment of the carbon budget of the forests of the Central Black Earth region is substantiated; directions for improving the instrumentation base are identified.

Keywords: carbon balance, forest ecosystem, CO₂ flux, eddy covariance, chamber method, gradient method, biometric method, carbon test site, greenhouse gas monitoring.

Леса России общей площадью свыше 800 млн га выполняют ключевую роль в поглощении атмосферного диоксида углерода. По различным оценкам, нетто-сток углерода в лесах страны составляет от 0,5 до 0,7 ГтС в год, что определяет их значимость в балансе парниковых газов и в реализации национальной системы мониторинга климатически активных веществ. Сформированная в 2021–2024 годах сеть карбоновых полигонов, охватывающая территории от Калининградской до Сахалинской области, обеспечивает инструментальную основу верификации углеродного баланса и предоставляет экспериментальные данные для моделей углеродного цикла в рамках Стратегии низкоуглеродного развития Российской Федерации до 2050 года. Корректное определение углеродного бюджета лесной экосистемы возможно только при сочетании нескольких независимых методов оценки потоков CO₂, поскольку каждый из них обладает специфическими ограничениями по пространственно-временному разрешению, точности и составу выявляемых компонентов потока [1, 4]. Целью настоящей работы является критический анализ применяемых методов оценки потоков диоксида углерода в лесных экосистемах с выявлением их ограничений, формализацией области применимости и обоснованием направлений совершенствования инструментальной базы.

Методологическую основу исследования составил сравнительный анализ отечественных публикаций 2008–2024 годов, посвящённых полевым измерениям потоков CO_2 в лесных экосистемах различных природных зон Российской Федерации: южнотаёжных ельниках Валдайской возвышенности, смешанных лесах Подмосковья, кедровниках и березняках Сихотэ-Алиня, пойменных лесах Приморского края, лесостепных экосистемах Курской области [4–8]. Для формализации сопоставления введён шестикритериальный набор показателей: пространственный охват единичной измерительной точки (площадь footprint-области или пятна пробоотбора), временное разрешение регистрации потока, типовая метрологическая погрешность, стоимость аппаратного комплекса, энергопотребление измерительной системы и состав компонентов потока, отдельно выявляемых методом. Значения показателей оцениваются по паспортным данным коммерчески доступного оборудования и опубликованным результатам натурных измерений.

Метод вихревой ковариации (eddy covariance) основан на синхронной регистрации трёхкомпонентной скорости ветра и концентрации диоксида углерода на мачте, установленной над пологом леса. Пульсации вертикальной компоненты скорости w' и массовой доли CO_2 с регистрируются ультразвуковым анемометром и инфракрасным газоанализатором открытого пути с частотой 10–20 Гц; суммарный нетто-поток определяется как ковариация флуктуаций $F = \rho \cdot \langle w' \cdot c' \rangle$, осреднённая на интервале 30 мин. Типовой комплекс включает трёхкомпонентный соник-анемометр (Gill WindMaster или его отечественные аналоги), газоанализатор на основе недисперсионной инфракрасной спектроскопии (LI-COR LI-7500 и эквиваленты) и регистратор данных с синхронизацией по GNSS. Мачта высотой 30–45 метров размещается в пределах однородного лесного массива с фетч-зоной не менее 500 метров в преобладающем направлении ветра. Общая схема конфигурации измерительного комплекса приведена на рисунке 1.

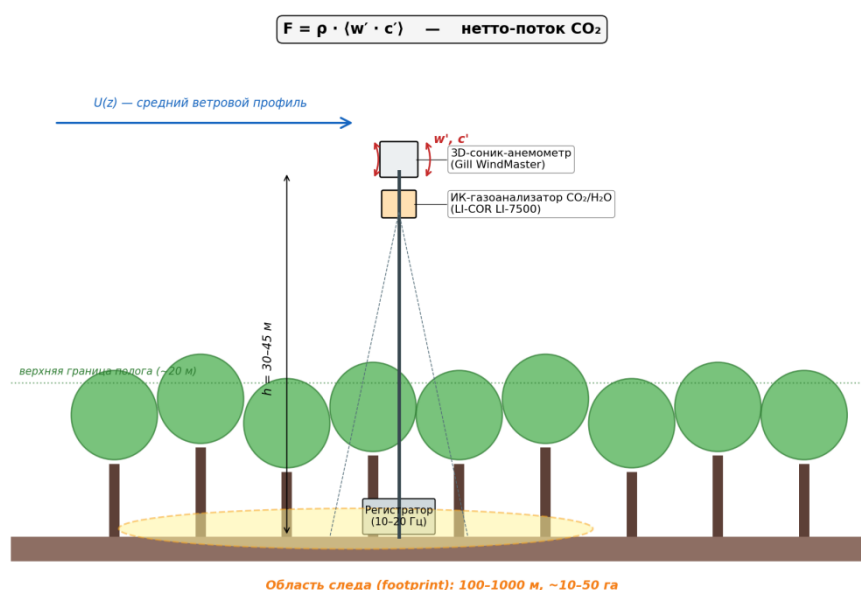


Рисунок 1 – Схема типовой конфигурации измерительного комплекса метода вихревой ковариации

Метод обеспечивает прямое интегральное измерение нетто-обмена углерода между экосистемой и атмосферой (Net Ecosystem Exchange, NEE) с временным разрешением 30 мин и пространственным охватом 10 – 50 га в зависимости от высоты установки приборов и параметров турбулентности. Основные ограничения метода: высокая стоимость аппаратного комплекса (5 – 7 млн рублей по состоянию на 2024 год) и ежегодные эксплуатационные расходы на калибровку и обслуживание; требования к рельефу – допустимый уклон не более 5 градусов; потери до 30 % ночных данных в условиях штиля и устойчивой стратификации атмосферы, когда условие стационарности турбулентного потока нарушается и требуется

коррекция u^* -фильтрацией [2, 4]. Многолетние ряды наблюдений на полигоне «Лог Таёжный» в Валдайском заповеднике показывают, что при среднегодовом нетто-поглощении углерода южнотаёжным ельником порядка $300 \text{ г С} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$ экосистема в отдельные периоды аномальной жары функционирует как источник CO_2 [4].

Камерный метод реализуется установкой на поверхность почвы или ствол дерева герметичной камеры, в которой регистрируется накопление CO_2 во времени. Различают статические камеры (измерение по разности начальной и конечной концентраций за фиксированный промежуток времени) и динамические (непрерывная циркуляция через внешний инфракрасный газоанализатор, как правило LI-COR LI-8100). По режиму автоматизации системы подразделяются на ручные и автоматические с запрограммированным циклом открытия-закрытия крышки. Метод позволяет отдельно оценивать компоненты дыхательного потока – почвенное дыхание, дыхание корней, разложение валежа и подстилки, что принципиально недоступно для вихревой ковариации. По данным многолетних исследований в лесных экосистемах Центрального федерального округа почвенное дыхание формирует 40–80 % общих эмиссионных потерь экосистемы, причём на долю микробного дыхания приходится 25–88 % суммарной эмиссии в зависимости от типа экосистемы и сезона [3, 8]. Эмиссия CO_2 от разложения крупных древесных остатков в нарушенных таёжных лесах может составлять до 30 % от дыхания почвы [7].

Ограничения камерного метода связаны с локальностью измерений: площадь единичной камеры составляет 0,01–0,1 м², что требует размещения от 8 до 30 камер на пробной площади для статистически значимой оценки потока с пространственной неоднородностью не хуже 15 %. Длительная экспозиция камеры (свыше 5 мин для статических конструкций) приводит к искажению микроклимата: повышению температуры воздуха внутри камеры на 2–4 °С, росту концентрации CO_2 , нарушению естественного градиента давления паров воды. Современные динамические системы частично компенсируют эти эффекты за счёт прозрачных стенок и коротких циклов измерения (60–180 с), однако полностью устранить артефакты не удаётся.

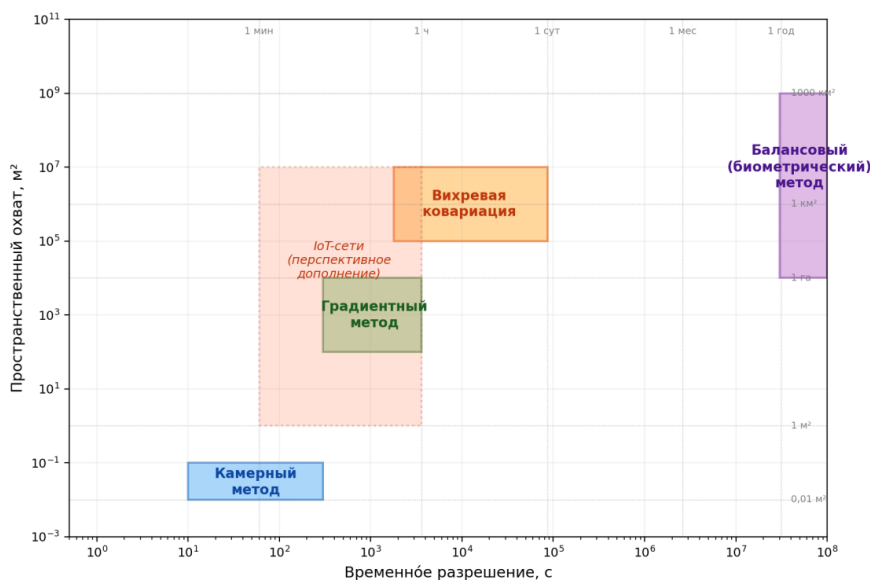
Градиентный метод предполагает измерение концентрации CO_2 на нескольких высотах в приземном слое с последующим расчётом вертикального потока по уравнению турбулентной диффузии $F = -K(z) \cdot \partial c / \partial z$ при известном коэффициенте турбулентного обмена $K(z)$. Аппаратная реализация проще, чем для вихревой ковариации: применяются низкочастотные газоанализаторы с пневматическим переключением линий отбора, что снижает стоимость комплекса до 1 – 2 млн рублей. Метод применим в условиях слабой турбулентности, когда метод ковариации даёт значительные погрешности, однако требует длительного осреднения (не менее 1 часа) и даёт заметную погрешность при сложной стратификации атмосферы и нестационарных режимах. Балансовый (биометрический) метод оценивает прирост углерода через измерения биомассы древостоя, опада и скорости разложения подстилки и древесного дебриса; расчёт ведётся по уравнениям моделей EFIMOD3, Romul_Num или аналогичных [3]. Метод фиксирует долгосрочные тренды с временным разрешением 1 год и более и пространственным охватом до целых лесничеств, однако принципиально не раскрывает кратковременную динамику потоков. Сводное сопоставление четырёх методов приведено в таблице 1.

Визуальное представление областей применимости рассмотренных методов на координатной плоскости «временное разрешение – пространственный охват» приведено на рисунке 2. Диаграмма наглядно демонстрирует системный дефицит пространственного покрытия классических методов в среднем диапазоне масштабов (от десятков до сотен гектаров при временном разрешении от десятков минут до нескольких часов). Вихревая ковариация даёт интегральную оценку по площади следа, но фиксирует только суммарный NEE без декомпозиции на компоненты; камерные измерения раскрывают компонентный состав потока, но локальны и требуют значительного числа точек наблюдения; балансовые расчёты оперируют крупными пространственными масштабами, но не фиксируют динамику быстрее межсезонной.

Таблица 1 – Сравнительные характеристики методов оценки потоков CO₂ в лесных экосистемах

Критерий	Вихревая ковариация	Камерный метод	Градиентный метод	Балансовый (биометрический)
Измеряемая величина	Нетто-обмен CO ₂ (NEE)	Эмиссия с заданного участка	Вертикальный поток	Прирост углерода в пулах
Пространственный охват	10–50 га (footprint)	0,01–0,1 м ² на камеру	100–10 000 м ²	10 ⁴ –10 ⁹ м ²
Временное разрешение	30 мин	1–5 мин	15–60 мин	1 год и более
Погрешность	±10–20 %	±5–15 %	±20–30 %	±10–25 %
Стоимость комплекса	5–7 млн руб.	0,5–1,5 млн руб.	1–2 млн руб.	0,3–0,8 млн руб.
Энергопотребление	200–400 Вт	5–20 Вт (автоном.)	30–80 Вт	не требуется
Компоненты потока	Суммарный NEE	Компоненты (дыхание почвы, корней, валежа)	Суммарный поток	GPP, NPP, Reco по моделям
Главное ограничение	Стабильная ночная стратификация; потери при штиле	Локальность; искажение микроклимата	Сложная стратификация; длит. осреднение	Нет кратковрем. динамики

Перспективным направлением восполнения этого дефицита выступает дополнение классических методов распределёнными сетями автономных датчиков CO₂ на базе технологий интернета вещей, обеспечивающими пространственное разрешение 10–100 метров при временном разрешении 1–15 минут и сохраняющими непрерывность ряда наблюдений на масштабе лет.

Рисунок 2 – Пространственно-временное покрытие методов оценки потоков CO₂ в лесных экосистемах

Результаты проведённого сравнительного анализа позволяют сформулировать следующие практические рекомендации по методологии оценки углеродного бюджета лесных экосистем. Для региональных оценок, реализуемых в рамках карбоновых полигонов, минимально достаточной конфигурацией является сочетание одной мачты вихревой ковариации, обеспечивающей непрерывный ряд наблюдений нетто-обмена, сети из 12–24 автоматических почвенных камер для раздельной оценки компонентов почвенного дыхания и ежегодных биометрических таксаций 10–20 постоянных пробных площадей.

Градиентный метод целесообразно применять как резервный в условиях, неблагоприятных для метода ковариации, – при устойчивой ночной стратификации или нарушении условия стационарности. Сопоставление независимых оценок позволяет выявлять методические смещения и оценивать реальную неопределённость результата, которая при комплексном подходе не превышает 15 % от среднегодового нетто-потока.

В работе выполнен критический анализ четырёх основных методов оценки потоков диоксида углерода в лесных экосистемах. Установлено, что ни один из методов не является универсальным: вихревая ковариация даёт наибольшую точность в масштабе лесного участка, но фиксирует только суммарный NEE; камерные измерения раскрывают компонентный состав потоков, но локальны; балансовый метод регистрирует долгосрочные тренды, но не отражает кратковременную динамику; градиентный метод применим в узком диапазоне атмосферных условий. Достоверная оценка углеродного бюджета лесов Центрально-Чернозёмного региона требует комплексного применения указанных методов с дополнением их распределёнными системами полевого мониторинга. Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку формальной методики сопряжения данных классических измерений с показаниями распределённых сенсорных сетей и на построение региональных коэффициентов пересчёта между точечными и интегральными оценками потоков.

Исследование выполнено в рамках ИРН AP23489999 «Разработка интеллектуальной технологии и цифровой платформы адаптационного зонирования территорий в условиях динамики климата» при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Замолодчиков, Д. Г. Влияние пожаров и заготовок древесины на углеродный баланс лесов России / Д. Г. Замолодчиков [и др.]. – Текст : непосредственный // Лесоведение. – 2013. – № 5. – С. 36–49.
2. Ольчев, А. В. Модельный подход для описания переноса CO₂ между лесными экосистемами и атмосферой / А. В. Ольчев [и др.]. – Текст : непосредственный // Лесоведение. – 2008. – № 3. – С. 3–13.
3. Копчик, Г. Н. Пространственная изменчивость эмиссии диоксида углерода почвами в основных типах лесных экосистем Звенигородской биостанции МГУ им. М. В. Ломоносова / Г. Н. Копчик, Ю. В. Куприянова, М. С. Кадулин. – Текст : непосредственный // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. – 2018. – № 2. – С. 40–47.
4. Замолодчиков, Д. Г. Мониторинг газообмена H₂O и CO₂ на полигоне «Лог Таёжный» (Валдайский национальный парк) / Д. Г. Замолодчиков, М. Л. Гитарский, А. В. Шилкин [и др.]. – Текст : непосредственный // Фундаментальная и прикладная климатология. – 2017. – Т. 1. – С. 75–93.
5. Карелин, Д. В. Значение пространственного и временного масштаба при анализе факторов эмиссии CO₂ из почвы в лесах Валдайской возвышенности / Д. В. Карелин, А. И. Азовский, А. С. Куманяев, Д. Г. Замолодчиков. – Текст : непосредственный // Лесоведение. – 2017. – № 6. – С. 451–463.
6. Карелин, Д. В. Углеродный баланс таёжной экосистемы по данным многолетних наблюдений на полигоне Валдайского филиала Государственного гидрологического института / Д. В. Карелин, Д. Г. Замолодчиков, А. В. Шилкин [и др.]. – Текст : непосредственный // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. – 2020. – Т. 493, № 1. – С. 89–93.
7. Иванов, А. В. Эмиссия CO₂ от валежной древесины в лесных экосистемах юга Дальнего Востока / А. В. Иванов, Д. Г. Замолодчиков, С. Ю. Лошаков [и др.]. – Текст : непосредственный // Лесоведение. – 2020. – № 4. – С. 305–316.

8. Сухоеева, О. Э. Дыхание почвы в аграрных и природных экосистемах европейской территории России / О. Э. Сухоеева, Д. В. Карелин, А. Н. Золотухин, А. В. Почикалов. – Текст : непосредственный // Почвоведение. – 2023. – № 9. – С. 1077–1088.

Куланбаев Рамазан

Казахский национальный исследовательский технический университета им. К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан)

Студент кафедры информационной безопасности

E-mail: bagdat.yagaliyeva@gmail.com

Гончарова Ирина Ивановна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Аспирант кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: goncharova_i@bsuedu.ru

УДК 681.586.5:504.064.36

Научный руководитель:
Гончаров Дмитрий Викторович,
доцент кафедры информационных
и робототехнических систем,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)

А.В. КОЗЛОВ, И.И. ГОНЧАРОВА
A.V. KOZLOV, I.I. GONCHAROVA

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СЕНСОРОВ CO₂ ДЛЯ ПОЛЕВОГО МОНИТОРИНГА В УСЛОВИЯХ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ

COMPARATIVE ANALYSIS OF CO₂ SENSORS FOR FIELD MONITORING IN FOREST ECOSYSTEMS

Рассмотрены три ключевые технологии измерения концентрации диоксида углерода для применения в автономных узлах распределённых систем мониторинга лесных экосистем: недисперсионная инфракрасная (NDIR), фотоакустическая и электрохимическая. Проведён сравнительный анализ метрологических, эксплуатационных и энергетических характеристик сенсоров на основе технической документации производителей и публикаций 2016–2025 годов. Предложена структурная схема автономного измерительного узла на базе микроконтроллера STM32L071 с радиоинтерфейсом LoRaWAN и описан алгоритм цикла измерения с медианной фильтрацией. Выполнен расчёт энергобюджета узла, обосновывающий применение литий-тионилхлоридной батареи ёмкостью 19 Ач. Для условий лесорастительных территорий Центрально-Чернозёмного региона рекомендована конфигурация на основе NDIR-сенсора с двухволновой компенсацией дрейфа.

Ключевые слова: диоксид углерода, NDIR-сенсор, фотоакустический датчик, электрохимический датчик, углеродный баланс, лесная экосистема, интернет вещей, LoRaWAN, автономный измерительный узел.

The paper considers three key carbon dioxide measurement technologies applicable to autonomous nodes of distributed forest ecosystem monitoring systems: non-dispersive infrared (NDIR), photoacoustic, and electrochemical. A comparative analysis of metrological, operational, and energy parameters has been carried out based on manufacturers' technical documentation and publications of 2016–2025. A structural diagram of an autonomous measuring node based on the STM32L071 microcontroller with a LoRaWAN radio interface is proposed, and the measurement cycle algorithm with median filtering is described. The energy budget calculation justifies the use of a 19 A·h lithium thionyl chloride battery. For the forest territories of the Central Black Earth region, a configuration based on an NDIR sensor with two-wavelength drift compensation is recommended.

Keywords: carbon dioxide, NDIR sensor, photoacoustic sensor, electrochemical sensor, carbon balance, forest ecosystem, Internet of Things, LoRaWAN, autonomous measuring node.

Мониторинг концентрации диоксида углерода в лесных экосистемах приобретает возрастающее значение в контексте оценки углеродного баланса территорий и реализации климатических проектов в рамках Стратегии низкоуглеродного развития Российской Федерации до 2050 года. Леса России, площадь которых превышает 800 млн га, выступают ключевым звеном глобального углеродного цикла, однако точность оценки газообмена между экосистемой и атмосферой существенно зависит от применяемой инструментальной базы [1, 4]. Классические методы – вихревая ковариация и закрытые камеры – обеспечивают высокую достоверность отдельных измерений, но ограничены в пространственном охвате из-за стоимости измерительных башен и требований к стационарности подстилающей поверхности в радиусе fetch-области [4, 6]. Распределённые сети измерительных узлов на основе технологий интернета вещей способны восполнить этот пробел за счёт многократно более низкой удельной стоимости точки наблюдения, однако выбор сенсора CO₂, удовлетворяющего одновременно требованиям метрологической точности, устойчивости к условиям лесной среды и низкого энергопотребления, остаётся нетривиальной задачей. Целью настоящей работы является сравнительный анализ основных типов датчиков CO₂, применимых в автономных узлах мониторинга лесных территорий, формализация критериев

их выбора и обоснование архитектуры измерительного узла для полевого развёртывания в условиях лесных экосистем Центрально-Чернозёмного региона.

Методологическую основу исследования составил системный анализ технической документации производителей датчиков, отечественных публикаций по полевым испытаниям газоаналитического оборудования за период 2016–2025 гг., а также действующих нормативных документов в области поверки газоанализаторов [7, 8]. В качестве источников использованы научные базы elibrary.ru и cyberleninka.ru. Для формализации сравнения введён четырёхгрупповой набор критериев. К метрологическим отнесены диапазон измерения, основная приведённая погрешность, дрейф нуля и температурно-влажностный коэффициент. К эксплуатационным – ресурс непрерывной работы, время выхода на рабочий режим после пробуждения, рабочий диапазон температур и относительной влажности. К энергетическим – потребляемая мощность в активном и спящем режимах, продолжительность одного цикла измерения. К экономическим – удельная стоимость одного канала измерения с учётом стоимости рекалибровки в течение жизненного цикла. Каждый критерий оценивался по доступным паспортным данным и результатам, опубликованным в [2, 5, 6].

На рынке датчиков CO_2 , совместимых с автономными измерительными узлами, доминируют три технологии. Недисперсионные инфракрасные сенсоры (NDIR) основаны на поглощении инфракрасного излучения молекулами CO_2 на длине волны 4,26 мкм; концентрация газа рассчитывается по убыли интенсивности излучения, прошедшего через измерительную камеру, согласно закону Бугера – Ламберта – Бера. Технология обеспечивает диапазон 0–10 000 ppm с погрешностью $\pm 30 \dots 50$ ppm. Современные модули серий SCD4x, MH-Z19C и СЕНСЭИР K30 оснащены двухволновой схемой компенсации, в которой опорный канал на длине волны 3,9 мкм не поглощается углекислым газом и используется для коррекции дрейфа источника инфракрасного излучения [2]. Ресурс непрерывной работы NDIR-сенсоров составляет 10–15 лет ввиду отсутствия расходующихся химических элементов; алгоритм автоматической коррекции базовой линии дополнительно компенсирует долговременный дрейф нуля по минимальным значениям, регистрируемым в течение 7–14 суток. Энергопотребление в активном режиме составляет 30–150 мВт в зависимости от конструкции оптического тракта, а в режиме периодических измерений с интервалом 60 с среднее потребление снижается до 0,4–1,0 мВт.

Фотоакустические датчики используют эффект генерации звуковой волны при нагреве газа модулированным инфракрасным излучением: поглощение энергии молекулами CO_2 вызывает локальное изменение давления, регистрируемое микрофоном высокой чувствительности. Преимущество технологии – миниатюрность чувствительного элемента (объём измерительной камеры менее 1 мм³) и низкое потребление энергии (от 10 мВт в импульсном режиме). Однако чувствительность к механическим вибрациям ограничивает применение датчиков этого класса в лесных условиях, где фоновый акустический шум формируется ветровой нагрузкой на кроны деревьев и достигает уровней 65–75 дБ при скорости ветра 8 м/с. Погрешность фотоакустических сенсоров составляет $\pm 30 \dots 70$ ppm, но может возрасти при относительной влажности выше 85 % из-за конденсации на мембране микрофона [2]. Современные модели предусматривают внутренний нагрев камеры на 5–7 °С выше точки росы окружающего воздуха для предотвращения этого эффекта.

Электрохимические сенсоры CO_2 функционируют на основе твердотельного электролита, как правило, на основе натрий-ион-проводящей керамики, генерирующей электродвижущую силу пропорционально логарифму парциального давления газа в соответствии с уравнением Нернста. Их достоинство – компактность и низкая стоимость, в 3–5 раз меньшая по сравнению с NDIR-аналогами. Вместе с тем ресурс ячейки ограничен 2–3 годами, а дрейф нуля достигает 5–10 % в год, что неприемлемо для долгосрочного мониторинга без регулярной рекалибровки по поверочным газовым смесям диоксида углерода в азоте [8]. Перекрестная чувствительность к сероводороду и оксидам азота, всегда

присутствующим в воздухе лесных экосистем в фоновых концентрациях, дополнительно ухудшает достоверность измерений.

Для лесных экосистем критическим параметром является устойчивость датчика к относительной влажности до 95–100 % и температурному диапазону от –35 до +40 °С. NDIR-сенсоры со встроенной температурной компенсацией демонстрируют наименьшую зависимость показаний от микроклимата: суточный температурный дрейф не превышает ± 10 ppm в диапазоне рабочих температур. Фотоакустические датчики сопоставимы по точности в диапазоне от 0 до +40 °С, но требуют конструктивной защиты от конденсата и стабилизации температуры. Электрохимические сенсоры при отрицательных температурах существенно теряют чувствительность вследствие снижения ионной проводимости электролита: при –20 °С погрешность измерения возрастает до 200–300 ppm, что делает их неприменимыми в зимние периоды наблюдений в условиях средней полосы России [5]. Сводное сопоставление трёх технологий по совокупности рассмотренных критериев приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительные характеристики сенсоров CO₂ для применения в полевых автономных измерительных узлах

Параметр	NDIR	Фотоакустический	Электрохимический
Диапазон измерения, ppm	0–10 000	0–10 000	0–5 000
Основная погрешность, ppm	$\pm 30 \dots 50$	$\pm 30 \dots 70$	$\pm 50 \dots 100$
Дрейф нуля, %/год	1–2	1–3	5–10
Ресурс, лет	10–15	7–10	2–3
Рабочая температура, °С	–40...+60	0...+50	–10...+50
Допустимая отн. влажность, %	0–100	0–85	15–95
Энергопотребление в активном режиме, мВт	30–150	10–40	5–20
Время выхода на режим, с	10–30	3–5	30–60
Интерфейс	I ² C / UART	I ² C	I ² C / аналог.
Удельная стоимость, отн. ед.	1,0	1,2–1,5	0,2–0,3

Архитектура автономного измерительного узла, разработанного для условий лесных полигонов, включает четыре функциональных блока: сенсорный модуль, вычислительное ядро, радиоинтерфейс и подсистему питания. В качестве вычислительного ядра выбран микроконтроллер STM32L071CBT6 (ядро ARM Cortex-M0+, тактовая частота 32 МГц, 128 кБ flash-памяти, 20 кБ ОЗУ), обеспечивающий ток потребления в режиме пониженного энергопотребления STOP с сохранением состояния SRAM не более 1,3 мкА. Связь с сенсорным модулем реализована по последовательной шине I²C на скорости 100 кГц, что соответствует электрическим характеристикам всех рассматриваемых датчиков. Радиоинтерфейс построен на базе трансивера LoRaWAN диапазона 868 МГц с выходной мощностью 14 дБм; данный диапазон обеспечивает дальность связи 5–7 км в условиях лесного полога высокой сомкнутости при скоростях передачи, соответствующих коэффициентам расширения от 7 до 12. Подсистема питания построена на литий-тионилхлоридной батарее ER34615 ёмкостью 19 Ач и номинальным напряжением 3,6 В с параллельно подключённым гибридным конденсатором HPC1520, компенсирующим импульсные токи передачи радиомодуля, достигающие 120 мА. Структурная схема узла представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Структурная схема автономного измерительного узла на базе микроконтроллера STM32L071 и трансивера LoRaWAN

Алгоритм цикла измерения реализует следующую последовательность операций. По истечении интервала 15 мин системный таймер реального времени выводит микроконтроллер из режима STOP. Управляющая программа подаёт питание на сенсорный модуль через ключевой полевой транзистор и выдерживает паузу 20 с, необходимую для выхода NDIR-сенсора на стабильный режим (для фотоакустического датчика – 5 с). Затем выполняются три последовательных измерения с интервалом 1 с, по которым вычисляется медиана для подавления случайных выбросов, обусловленных микропотоками воздуха в измерительной камере. Полученное значение упаковывается в кадр LoRaWAN длиной 11 байт (концентрация CO₂, температура корпуса сенсора, напряжение батареи, контрольная сумма) и передаётся на ближайший шлюз с подтверждением приёма по классу A. После получения квитанции узел переходит обратно в режим STOP. Полная последовательность операций представлена на рисунке 2.

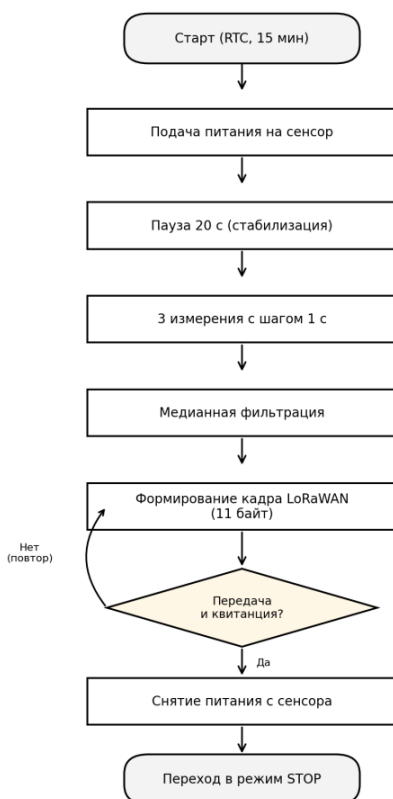


Рисунок 2 – Схематичное представление цикла измерения и передачи данных автономным измерительным узлом

Расчёт энергобюджета узла выполнен для NDIR-сенсора Sensirion SCD41 как наиболее представительного образца целевого класса. Ток потребления сенсора в режиме сна составляет 0,15 мкА, в режиме одиночного измерения – 18 мА в течение 5 с (заряд за измерение 0,025 Кл). Ток микроконтроллера в режиме STOP – 1,3 мкА, в активном режиме – 6 мА. Средний ток LoRaWAN-передачи при коэффициенте расширения SF9 и выходной мощности 14 дБм составляет 38 мА в течение 350 мс, что соответствует 0,0133 Кл на кадр. Суммарный заряд, расходуемый узлом за один измерительный цикл, равен 0,041 Кл; статический ток сна за интервал 15 мин – 0,0014 Кл. Суточный расход заряда при 96 циклах составляет 0,043 Ач. При паспортной ёмкости батареи ER34615 19 Ач и коэффициенте использования 0,85, учитывая саморазряд и температурную деградацию, расчётная автономность узла равна 1015 суток (2,8 года). Замена единичной батареи на сборку из двух элементов ER34615 общей ёмкостью 38 Ач увеличивает автономность до 5,5 года, что превышает межповерочный интервал газоанализатора, регламентированный действующей поверочной схемой [7].

Результаты сравнительного анализа позволяют сформулировать следующие практические рекомендации. Для автономных систем мониторинга CO₂ в лесных экосистемах с циклом обслуживания свыше 3 лет оптимальны NDIR-сенсоры среднего ценового сегмента с погрешностью не хуже ± 50 ppm, ресурсом свыше 10 лет и поддержкой алгоритма автоматической коррекции базовой линии. При расчётном суточном расходе заряда 0,043 Ач узел на базе литий-тионилхлоридной батареи ёмкостью 38 Ач обеспечивает непрерывную работу в течение полного межповерочного интервала. Фотоакустические датчики перспективны для приложений, в которых критично энергопотребление, например, при дополнительной интеграции в узел сенсоров метана, однако требуют конструктивной защиты от влаги в виде гидрофобного фильтра из политетрафторэтилена и нагрева измерительной камеры. Электрохимические сенсоры целесообразно использовать только для краткосрочных сезонных измерительных кампаний продолжительностью до 2 лет при положительных температурах и при условии ежемесячной рекалибровки по поверочным газовым смесям [8].

В работе выполнен сравнительный анализ трёх технологий измерения концентрации CO₂ применительно к задачам распределённого мониторинга лесных экосистем. Установлено, что для долгосрочного полевого развёртывания в условиях Центрально-Чернозёмного региона оптимальной является конфигурация автономного узла на базе NDIR-сенсора с двухволновой компенсацией дрейфа, микроконтроллера STM32L071 и радиоинтерфейса LoRaWAN, обеспечивающая расчётную автономность 5,5 года при суточной программе из 96 измерений. Предложенная архитектура согласуется с требованиями действующей государственной поверочной схемы для средств измерений содержания компонентов в газовых средах [7] и допускает серийное тиражирование при развёртывании сетей углеродного мониторинга на лесных полигонах. Дальнейшие исследования будут направлены на полевую верификацию метрологических характеристик предложенной конфигурации в лесорастительных условиях полигонов НИУ «БелГУ».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алферов, А. М. Мониторинг потоков парниковых газов в природных экосистемах / А. М. Алферов [и др.]. – Саратов : Амирит, 2017. – 222 с. – Текст : непосредственный.
2. Реутская, О. Г. Мультисенсорная микросистема для измерения концентрации газов CO, H₂, C₃H₈, CO₂ / О. Г. Реутская, И. А. Таратын, Ю. М. Плескачевский. – Текст : непосредственный // Приборы и методы измерений. – 2016. – Т. 7, № 3. – С. 271–278.
3. Тюрин, А. И. Совершенствование полевых методов инженерно-геокриологических исследований / А. И. Тюрин [и др.]. – Текст : непосредственный // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. – 2019. – № 2. – С. 72–83.
4. Замолодчиков, Д. Г. Мониторинг газообмена H₂O и CO₂ на полигоне «Лог Таёжный» (Валдайский национальный парк) / Д. Г. Замолодчиков, М. Л. Гитарский, А. В. Шилкин [и др.]. – Текст : непосредственный // Фундаментальная и прикладная климатология. – 2017. – Т. 1. – С. 75–93.

5. Иванов, А. В. Эмиссия CO₂ от валежной древесины в лесных экосистемах юга Дальнего Востока / А. В. Иванов, Д. Г. Замолотчиков, С. Ю. Лошаков [и др.]. – Текст : непосредственный // Лесоведение. – 2020. – № 4. – С. 305–316.

6. Карелин, Д. В. Углеродный баланс таёжной экосистемы по данным многолетних наблюдений на полигоне Валдайского филиала Государственного гидрологического института / Д. В. Карелин, Д. Г. Замолотчиков, А. В. Шилкин [и др.]. – Текст : непосредственный // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. – 2020. – Т. 493, № 1. – С. 89–93.

7. ГОСТ 8.578–2014. Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений содержания компонентов в газовых средах : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утверждён и введён в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 17 ноября 2014 г. № 1660-ст : дата введения 2015–09–01. – Москва : Стандартинформ, 2015. – 16 с. – Текст : непосредственный.

8. ГОСТ 13320–81. Газоанализаторы промышленные автоматические. Общие технические условия : межгосударственный стандарт : издание официальное : утверждён и введён в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 24 декабря 1981 г. № 5663 : дата введения 1983–01–01. – Москва : Издательство стандартов, 1986. – 28 с. – Текст : непосредственный.

9. Карелин, Д. В. Значение пространственного и временного масштаба при анализе факторов эмиссии CO₂ из почвы в лесах Валдайской возвышенности / Д. В. Карелин, А. И. Азовский, А. С. Куманяев, Д. Г. Замолотчиков. – Текст : непосредственный // Лесоведение. – 2017. – № 6. – С. 451–463.

Козлов Артём Владимирович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: kozlov_a@bsuedu.ru

Гончарова Ирина Ивановна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Аспирант кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: goncharova_i@bsuedu.ru

УДК 004.942

Научный руководитель:
Нестерова Елена Викторовна,
*доцент кафедры информационных
и робототехнических систем,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

M.B. KOKOTKINA, S.V. GORBULIN
M.V. KOKOTKINA, S.V. GORBULIN

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ОБЪЕКТА НА ОСНОВЕ ЕГО МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

STUDY OF OBJECT BEHAVIOR BASED ON A MATHEMATICAL MODEL

В данной статье рассматриваются методы моделирования диагностического отделения медицинского центра. Предложена математическая и имитационная модель, позволяющая анализировать время ожидания пациентов, оценивать загруженность врачей и выявлять перегрузки. Проведены вычислительные эксперименты, демонстрирующие влияние параметров системы на её работу. Для наглядности разработана диаграмма Ганта, отображающая нагрузку на врачей в различных сценариях.

Ключевые слова: имитационное моделирование, цифровой двойник, медицинский центр, система массового обслуживания, диагностические процессы, диаграмма Ганта.

This paper considers methods for modeling the diagnostic department of a medical center. A mathematical and simulation model is proposed, which makes it possible to analyze patient waiting times, assess doctors' workload, and identify system overloads. Computational experiments have been conducted to demonstrate the influence of system parameters on its performance. For clarity, a Gantt chart has been developed to visualize the workload of doctors under different scenarios.

Keywords: simulation modeling, digital twin, medical center, queuing system, diagnostic processes, Gantt chart.

Современные медицинские организации сталкиваются с высокой нагрузкой и ограниченностью ресурсов. Увеличение числа пациентов, необходимость оперативного проведения обследований и ограниченное количество медицинского персонала и оборудования приводят к увеличению времени ожидания и снижению эффективности обслуживания. Традиционные методы организации помощи не справляются со стохастичностью реальных процессов. Чтобы оценить эффективность работы и выявить узкие места, удобно использовать математические и имитационные модели, которые позволяют анализировать систему без вмешательства в реальный процесс [4]. Математическая модель может стать основой для построения цифрового двойника и последующего анализа различных сценариев функционирования системы.

Диагностическое отделение медицинского центра рассматривается как система массового обслуживания с ограниченным числом ресурсов (врачей и диагностического оборудования) [1]. В систему поступают данные о пациентах с определенной интенсивностью, они формируют входной поток. Каждый пациент проходит одну или несколько процедур, используя ограниченные ресурсы: медицинский персонал и оборудование. В ходе функционирования системы массового обслуживания возникают очереди, обусловленные несоответствием между интенсивностью поступления и возможностями обслуживания. Распределение данных в такой системе имеет ярко выраженный динамический характер: параметры очередей и загрузки непрерывно меняются под влиянием случайных факторов (вариативность времени процедур, экстренные пациенты, отказы оборудования).

Цель исследования – оценить, как загруженность системы зависит от этих параметров, выявить ситуации нормальной работы, работы на грани и перегрузки, и визуализировать нагрузку на врачей. Для визуализации работы системы разработана структурная схема диагностического процесса, представленная на рисунке 1.

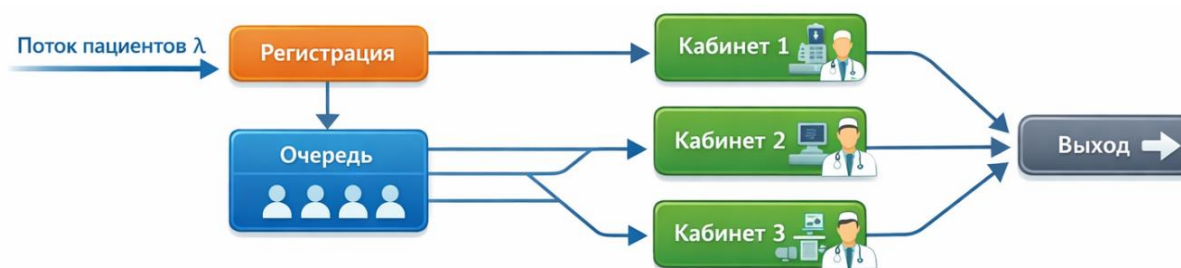


Рисунок 1 – Структурная схема имитационной модели диагностического отделения

Математическая модель диагностического процесса

Для описания работы системы используем следующие параметры:

- λ – интенсивность поступления пациентов в систему (число пациентов в единицу времени);
- μ – интенсивность обслуживания (количество обслуженных пациентов за единицу времени);
- n – число обслуживающих каналов (например, врачей или диагностических установок).

Коэффициент загрузки системы показывает, какая доля ресурсов занята в среднем и рассчитывается по формуле:

$$\rho = \frac{\lambda}{n \cdot \mu}$$

При $\rho < 1$ система устойчива, то есть очереди остаются небольшими.

При $\rho = 1$ система работает на «границе».

При $\rho > 1$ система перегружена, наблюдается рост очереди и увеличение времени ожидания пациентов.

Рассмотрим несколько характерных ситуаций.

Пример 1 (нормальная нагрузка)

Пусть в систему поступает 6 пациентов в час ($\lambda = 6$). Один врач обслуживает 3 пациента в час ($\mu = 3$). Количество врачей: 3 ($n = 3$)

Тогда: $\rho = \frac{6}{3 \cdot 3} = 0.67$

Система загружена на 67%, врачи не перегружены, возможны небольшие очереди. Режим работы устойчивый.

Пример 2 (работа на «границе»)

Приходит 9 пациентов в час ($\lambda = 9$). Один врач обслуживает 3 пациента в час ($\mu = 3$). Количество врачей: 3 ($n = 3$)

Тогда: $\rho = \frac{9}{3 \cdot 3} = 1$

Система работает на пределе возможностей, даже небольшое увеличение потока приведет к образованию очередей.

Пример 3 (перегрузка)

Приходит 12 пациентов в час ($\lambda = 12$). Один врач обслуживает 3 пациента в час ($\mu = 3$). Количество врачей: 3 ($n = 3$)

Тогда: $\rho = \frac{12}{3 \cdot 3} = 1.33$

Система перегружена, то есть поток пациентов превышает возможности обслуживания, очередь будет расти.

Пример 4 (пробуем улучшить ситуацию, снизив нагрузку за счет увеличения ресурсов)

Приходит 12 пациентов в час ($\lambda = 12$). Один врач обслуживает 3 пациента в час ($\mu = 3$). Количество врачей: 4 ($n = 4$)

$$\text{Тогда: } \rho = \frac{12}{4 \cdot 3} = 1$$

Увеличив количество персонала, мы улучшили ситуацию, но она все еще на грани. Если добавим еще одного врача ($n = 5$):

$$\rho = \frac{12}{5 \cdot 3} = 0.8$$

Система возвращается в устойчивый режим, нагрузка снижается.

Имитационная модель и визуализация результатов

Чтобы лучше понять, как система ведет себя в реальных условиях, была создана имитационная модель диагностического отделения [2]. Она реализована на языке Python и демонстрирует процесс поступления пациентов и их распределения между врачами в течение рабочего дня. В модели предполагается, что пациенты приходят равномерно с интенсивностью λ . Каждый новый пациент направляется к врачу, который освободится раньше остальных. Если в момент поступления все врачи заняты, пациенту приходится ждать, и таким образом формируется очередь. Основная логика модели заключается в отслеживании времени занятости врачей и определении момента начала обслуживания каждого пациента. Это можно увидеть в следующем фрагменте кода:

```
doctor_free_time = [0] * n_doctors
for i in range(num_patients):
    arrival = i / lam
    next_doc = doctor_free_time.index(min(doctor_free_time))
    start_service = max(arrival, doctor_free_time[next_doc])
    wait_time = start_service - arrival
    end_service = start_service + 1/mu
    doctor_free_time[next_doc] = end_service
```

В этом фрагменте определяется, когда пациент пришел, какой врач освободится раньше, и нужно ли пациенту ждать начала приема.

Для наглядности результаты моделирования представлены в виде диаграммы Ганта [3]. По горизонтали откладывается время, а по вертикали врачи. Каждый прямоугольник показывает обслуживание одного пациента. Цвет прямоугольника отражает ситуацию: зеленый означает, что пациент попал на прием сразу, желтый — что пришлось немного подождать, красный — что ожидание было значительным.

Анализ диаграмм показывает, что при небольшой нагрузке пациенты почти всегда обслуживаются сразу. Когда система работает на грани, появляются отдельные задержки. Если же поток пациентов превышает возможности врачей, очередь начинает расти, и таких задержек становится всё больше.

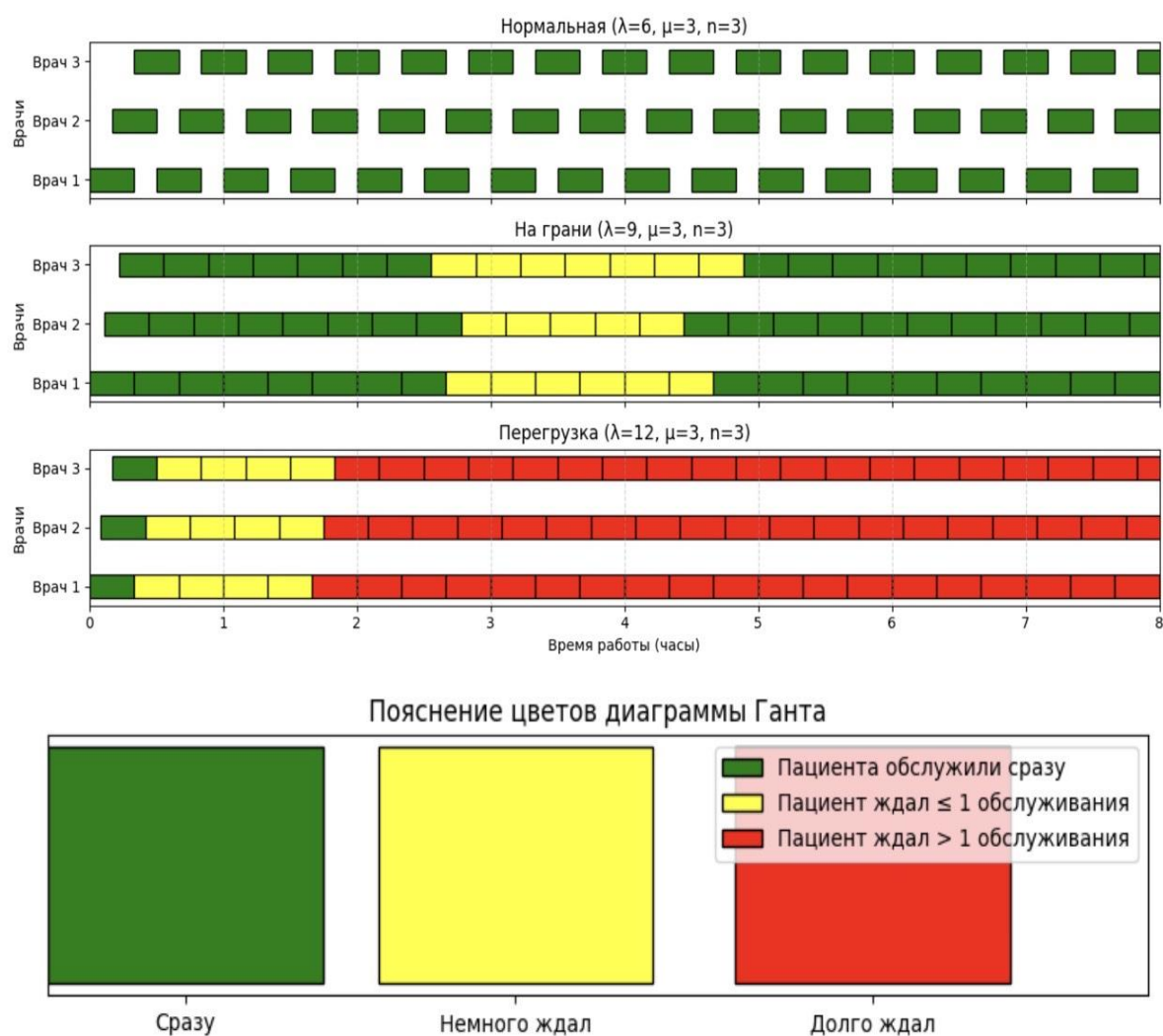


Рисунок 2 – Диаграммы Ганта для различных режимов работы системы

В ходе работы было показано, что загрузка системы напрямую зависит от соотношения между потоком пациентов и возможностями врачей. Коэффициент загрузки позволяет заранее понять, будет ли система работать стабильно или возникнут очереди. Имитационная модель дополняет математическое описание и помогает увидеть, как именно формируется нагрузка во времени. Диаграммы Ганта делают этот процесс наглядным и позволяют быстро оценить, в каком режиме работает система. Полученные результаты согласуются с теоретическими положениями теории массового обслуживания, что подтверждает корректность разработанной модели. Результаты можно использовать для планирования работы диагностического отделения и более эффективного распределения ресурсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизация прогнозирования неисправностей медтехники / Е.В. Нестерова, И.Н. Григоренко, Д.А. Иващук, В.Г. Нестеров, Е.В. Калужная // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2024. № 3 (25). С. 13-22. – Текст : электронный.
2. Олейникова, С.А. Математическое моделирование и системы массового обслуживания / С.А. Олейникова. – ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет». – Воронеж : Изд-во ВГТУ, 2021. – 90 с. – Текст : электронный.
3. Киямутдинова, Д.Д. Диаграмма Ганта и ее актуальность / Д.Д. Киямутдинова, А.А. Баянова, К.И. Трапезникова, А.Н. Кузашев // Научный электронный журнал Меридиан. – 2020. – № 4(38). – С. 96-98. – Текст : электронный.

4. Асхабова, Л.М. Современные информационные технологии в здравоохранении / Л.М. Асхабова, Р.Ш. Бутаев, Р.С. Шамсудинов [и др.] // Актуальные вопросы клинической медицины: сборник статей III Всероссийской научно-практической конференция с международным участием, памяти заслуженного деятеля науки РД, заслуженного врача РФ и РД, Народного врача РД, профессора Хархарова М.А., Махачкала, 22 июня 2023 года. – Махачкала: Дагестанский государственный медицинский университет, 2023. – С. 171-177. – Текст : электронный.

Кокоткина Мария Викторовна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Аспирант кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: mkokotkina@mail.ru

Горбулин Сергей Васильевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: 1855319@bsuedu.ru

УДК 621.9

*Научный руководитель:
Шеметова Ольга Михайловна,
доцент кафедры информационных
и робототехнических систем,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

С.Д. КОЛЕСНИКОВ, О.Г. ЗАЕВА, Э.А. КИЗИЛОВА, Е.А. СЕРГЕЕВ
S.D. KOLESNIKOV, O.G. ZAEVA, E.A. KIZILOVA, E.A. SERGEEV

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПОДАЧИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЛИСТОВ НА СТАНОК DEVELOPMENT OF AUTOMATIC FEEDING OF METAL SHEETS TO THE MACHINE

В статье рассматриваются современные варианты автоматизации производственных процессов, на примере автоматической системы подачи листов на лазерный станок с ЧПУ, оснащённой консольной погрузочно-разгрузочной машиной, консольной погрузочно-разгрузочной машиной, манипулятором и вакуумными захватами, для выполнения операций загрузки, позиционирования и выгрузки листового металла. Основное внимание уделено использованию различных роботизированных систем, позволяющих минимизировать участие человека в трудоёмких операциях снизив риск травматизма и повысить производительность. Описываются и сравниваются актуальные компоновки оборудования для автоматической подачи металлических листов на станок с ЧПУ.

Ключевые слова: консольная погрузочно-разгрузочная машина, лазерный станок с ЧПУ, вакуумный захват, автоматическая подача листов.

This article examines modern automation options for production processes, using the example of an automatic sheet metal feeding system for a CNC laser cutting machine. The system is equipped with a cantilever loading and unloading machine, a cantilever loading and unloading machine, a manipulator, and vacuum grippers for loading, positioning, and unloading sheet metal. The focus is on the use of various robotic systems that minimize human intervention in labor-intensive operations, reducing the risk of injury and increasing productivity. Current equipment configurations for automatically feeding metal sheets to a CNC machine are described and compared.

Keywords: cantilever loading and unloading machine, CNC laser cutting machine, vacuum gripper, automatic sheet metal feeding.

В мире существует большое количество различных автоматизированных линий для бесперебойной подачи листового металла на станок лазерной резки с ЧПУ. Разработка автоматической системы актуальна в современном производстве, поскольку она повышает производительность, снижает затраты на труд и сырье, улучшает качество и безопасность, автоматизирует рутинные операции и увеличивает гибкость цехов.

Использование автоматических производственных линий освобождает людей от тяжелой рабочей нагрузки и повторяющихся задач, выполняемых в опасных условиях. Продукция, производимая с использованием автоматических линий, имеет достаточную производственную мощность. Конструктивные особенности линии и процесс их работы должны быть стабильными, надежными и сохранять цикличность процесса в течение длительного периода времени. Использование автоматических линий в крупномасштабном производстве может повысить производительность труда, стабилизировать, улучшить качество продукции и условия труда, снизить производственные затраты и получить экономическую выгоду.

Система автоматизированной загрузки металлических листов оптимизирует рабочий цикл, обеспечивая бесперебойную работу станка даже в ночное время или в режиме низкой загруженности персонала. Кроме того, она позволяет операторам станков сосредоточиться на других задачах, в то время как машина продолжает работу без перерывов. Это не только увеличивает объем производства, но и снижает риск ошибок, связанных с ручной подачей

металлических листов, минимизирует риски травматизма, поскольку уменьшает необходимость физического взаимодействия операторов с тяжелыми и потенциально опасными листами металла. Рассмотрим самые передовые решения от всемирно известных компаний по автоматизации процесса подачи листового металла на лазерный станок с ЧПУ.

Компания SHENCHONG – китайская компания, которая специализируется на оборудовании для листового металла, а также разрабатывает индивидуальные решения для автоматизации процесса обработки листового металла [1]. Готовое решение от компании SHENCHONG по автоматизации системы погрузки и разгрузки листового металла представлено на рисунке 1.

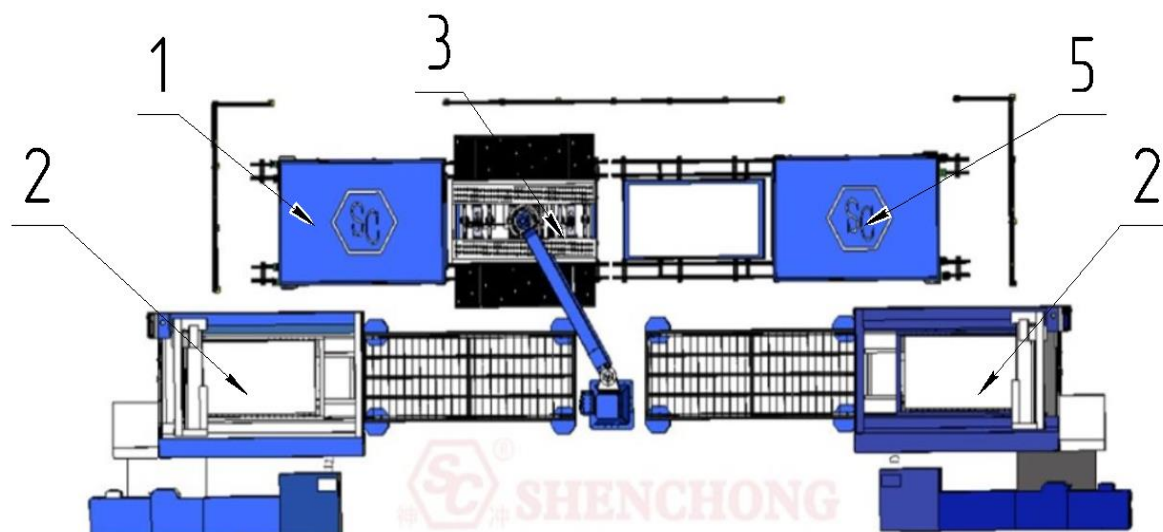


Рисунок 1 – Автоматическая система погрузки и разгрузки листового металла от компании SHENCHONG: 1 – подкатная тележка; 2 – лазерный станок с ЧПУ; 3 – консольная погрузочно-разгрузочная машина

Тележка металлическая подкатная 1, отвечает за хранение листового металла различных толщин, а также за хранение уже вырезанных изделий из листового металла. Лазерный станок с ЧПУ 2, осуществляет непосредственно нарезку необходимых заготовок из листового металла путём фокусировки луча лазера по координатам, заданным программой с числовым программным управлением. На данном примере лазерные станки представлены со встроенным ленточным конвейером, который позволяет облегчить загрузку и выгрузку листов металл на лазерный станок. Консольная погрузочно-разгрузочная машина 3, выполняет функцию перемещения листов металла между подкатными тележками и лазерными станками с ЧПУ.

К недостаткам консольной погрузочно-разгрузочной машины можно отнести минимальный размер загружаемой заготовки 1000x1000 мм, а также малый угол поворота захвата в 180°. Преимуществом консольной погрузочно-разгрузочной машины является простота в наладке за счёт малого количества вращающихся частей, возможность работать с листами металла массой более 1000 кг, а в следствии и с листами большей толщины.

HGTECH – это китайская компания специализирующаяся на разработке и производстве промышленного лазерного оборудования, а также имеет ряд автоматизированных решений процесса обработки листового металла [2]. Линия автоматической подачи листов от компании HGTECH представлена на рисунке 2.

Лазерный станок ЧПУ HGTECH серии MarvelPro 1 предназначен для резки листового металла. Погрузочная эстакада 2 позволяет хранить несколько оригинальных листов, причём конструкция может быть штабелированной, выдвижной или башенной. Благодаря двухстоечному подъёмному механизму двигатель приводится в движение несколькими рядами цепей, поднимая подающий лоток и доску. Толкающий механизм подъёмной машины зацепляет одну сторону подающего лотка, обеспечивая вход и выход доски [3]. Система ЧПУ

использует лазерное сканирование для позиционирования с обратной связью, синхронно устранив размер удлинения цепи и имеет функции точного позиционирования, стабильной работы, быстрой и гибкой работы. Роботизированная погрузка-разгрузка 3 представлена роботом-манипулятором, который автоматически загружает и выгружает производственную линию. Обратим внимание, что вместо консольной погрузочно-разгрузочной машины применяется робот-манипулятор, который имеет углы поворота 360^0 , а также при замене захвата способен брать заготовки любого размера, что делает его более универсальным в производстве [4].

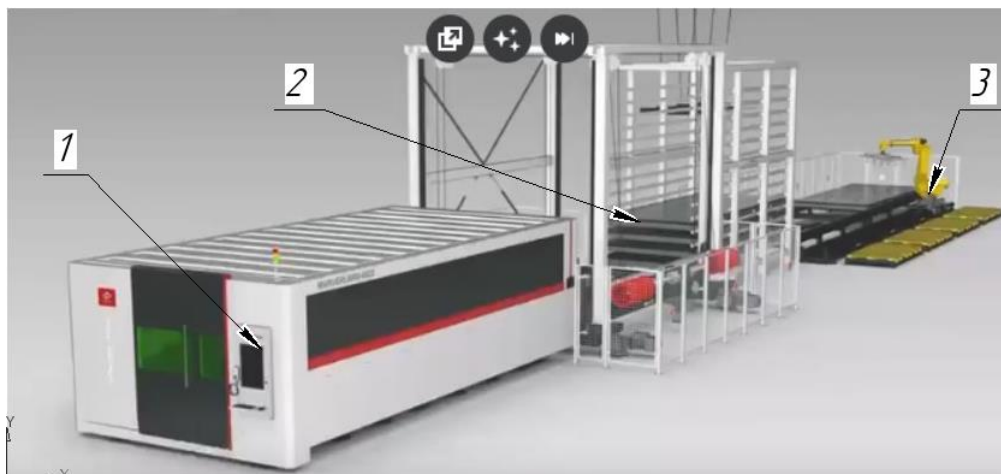


Рисунок 2 – Линия автоматической подачи листов от компании HGTESCH:

1 – лазерный станок с ЧПУ; 2 – погрузочная эстакада;

3 – роботизированная погрузка-разгрузка

Проведя анализ представленных систем автоматической подачи листового металла, был выявлен следующий недостаток, а именно сложность переналадки системы в случае расширения производства, например, увеличение количества лазерных станков с ЧПУ. Для исправления данного недостатка была разработана система автоматической подачи листов на лазерный станок с ЧПУ ферменной конструкции (рисунок 3).

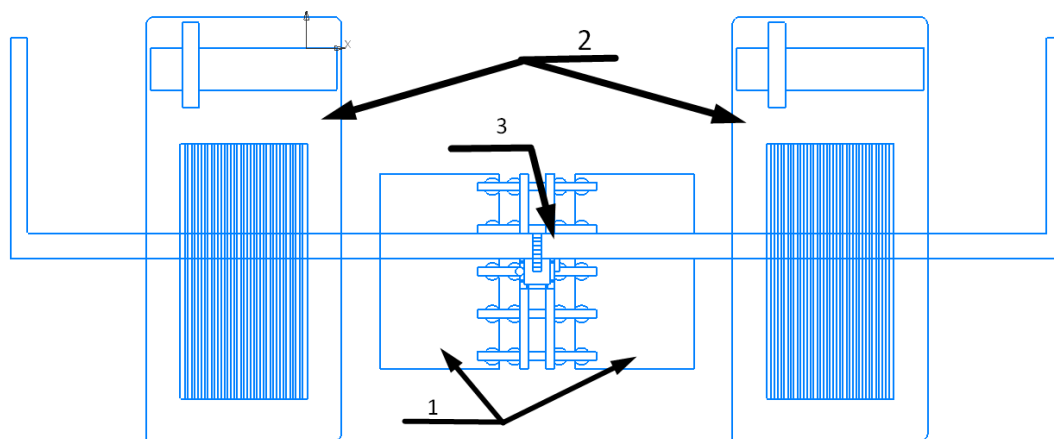


Рисунок 3 – Схема автоматизированной линии:

1 – подкатная тележка; 2 – лазерный станок с ЧПУ;

3 – погрузочно-разгрузочная машина ферма

Подкатная тележка металлическая 1, место хранения заготовок листов металла одного размера, но различных толщин. Лазерный станок с ЧПУ 2, осуществляет резку необходимых заготовок из листового металла путём фокусировки луча оптоволоконного лазера по координатам, заданным программой с числовым программным управлением. Погрузочно-разгрузочная машина ферма 3, представлена однобалочной фермой и выполняет функцию

перемещения листов металла между подкатными тележками и лазерными станками с ЧПУ. Выгрузка вырезанных изделий осуществляется с помощью оператора лазерного станка с ЧПУ.

Разработка системы автоматической подачи листов заключается во внедрении средств автоматизации в предприятие ООО «Бел-КТП», которое специализируется на разработке и производстве низковольтных-высоковольтных ячеек, комплектных распределительных устройств наружной установки и комплектных трансформаторных подстанциях.

Делая вывод, можно сказать, что проведенный анализ указывает на необходимость внедрения системы автоматической подачи металлических листов ферменной конструкции, которая позволит работать с несколькими лазерными станками с ЧПУ, повысит безопасность производства и снизит риск производственных травм, а также путём несложных доработок позволит работать с большим количеством лазерных станков с ЧПУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматическая система загрузки и разгрузки для лазерной резки [Электронный ресурс] // Shen Chong. – Режим доступа: <https://www.shen-chong.com/ru/автоматическая-система-загрузки-и-ра/>(дата обращения: 10.04.2026).

2. Автоматическая система загрузки и разгрузки для лазерной резки [Электронный ресурс] // TRUMPF. – Режим доступа: https://www.trumpf.com/en_US/products/machines-systems/automation/automation-for-2d-laser-cutting-machines/loadmaster/(дата обращения: 10.04.2026).

3. Промышленный робот KUKA KR 300-2 PA [Электронный ресурс] // K2Tool. – Режим доступа: <https://k2tool.ru/catalog/10924-prom-robot-kuka-kr-300-2-pa>(дата обращения: 10.04.2026).

4. Оптоволоконная установка лазерного раскроя модель А [Электронный ресурс] // КМТ. – Режим доступа: <https://kmt-stanki.ru/catalog/ustanovki-lazernogo-raskroya/optovolokonnaya-ustanovka-lazernogo-raskroya-model-a/>(дата обращения: 10.04.2026).

Колесников Станислав Дмитриевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: 1665123@bsuedu.ru

Заева Ольга Геннадьевна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Старший преподаватель кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: hudasova_og@bsuedu.ru

Кизилова Элла Алексеевна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: 1952797@bsuedu.ru

Сергеев Евгений Александрович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Аспирант кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: 1217278@bsuedu.ru

УДК 681.3.15

*Научный руководитель:
Нестерова Елена Викторовна,
доцент кафедры информационных
и робототехнических систем,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

В.Ю. КРИТСКАЯ
V.Y. KRITSKAYA

РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ КАНДИДАТОВ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT SYSTEM ARCHITECTURE FOR MULTI-CRITERIA CANDIDATE EVALUATION BASED ON FUZZY LOGIC

В статье сравниваются различные современные ATS-системы, а также анализируются их технические ограничения. В качестве решения проблемы предложена архитектура модели интеллектуальной системы поддержки принятия решений на основе нечеткой логики Мамдани. Программная реализация представляет собой гибридную модель, а именно использование LLM для первичной оценки резюме и самого алгоритма нечеткого вывода. Предложенная модель позволяет учитывать неопределенность и субъективность экспертных оценок, а также имеет перспективу дальнейшего развития и использования на рынке для повышения эффективности найма сотрудников, особенно в крупном и среднем бизнесе. Дальнейшее исследование направлено на проведение экспериментального тестирования системы и сравнительного анализа.

Ключевые слова: нечёткая логика, алгоритм Мамдани, интеллектуальная система, поддержка принятия решений, подбор персонала, многокритериальная оценка, HR-аналитика

The article compares various modern ATS systems and analyzes their technical limitations. As a solution to the problem, the architecture of an intelligent decision support system model based on Mamdani fuzzy logic is proposed. The software implementation is a hybrid model, specifically utilizing LLMs for primary resume evaluation alongside a fuzzy inference algorithm. The proposed model allows for the consideration of uncertainty and subjectivity in expert assessments and offers prospects for further development and market application to improve recruitment efficiency, particularly in large and medium-sized businesses. Further research is aimed at conducting experimental testing of the system and performing a comparative analysis.

Keywords: fuzzy logic, Mamdani algorithm, intelligent system, decision support, recruitment, multi-criteria evaluation, HR analytics

Введение

Стремительное развитие информационных технологий является одним из главных факторов увеличения конкуренции на рынке труда за счет роста количества компаний, появления новых отраслей и усложнения требований к кандидату. Задача повышения эффективности процесса найма сотрудников особенно остро стоит в крупном и среднем бизнесе, где наблюдается высокая текучесть кадров, что обуславливает необходимость совершенствования и автоматизации процесса найма сотрудников [1].

Традиционные методы отбора персонала, основанные на бинарной логике или строгих количественных критериях, оказываются недостаточно эффективными, так как не учитывают многие гибкие параметры, такие как уровень риска увольнения, способность к росту и обучению, а также коммуникативные навыки [2]. Как правило, такие качественные показатели носят субъективный характер. Именно это и приводит к трудностям в формализации принятия решений о найме и является причиной потери наиболее подходящих специалистов.

В связи с этим в последние годы методы искусственного интеллекта получают широкое распространение, к ним, в том числе, относят системы, основанные на нечеткой логике [1-3]. Нечеткая логика помогает смоделировать процесс рассуждения эксперта и работать с

лингвистическими переменными, описывающими гибкие навыки. Такой подход позволяет объединить качественные и количественные критерии в одной модели, что повышает точность и прозрачность принимаемых решений. В задачах управления персоналом чаще всего применяется алгоритм нечеткого вывода Мамдани, так как он позволяет формализовать экспертные знания в виде правил и обосновать заключительный вердикт по резюме [4].

Таким образом, разработка интеллектуальной системы многокритериальной оценки кандидатов на основе нечеткой логики является актуальной задачей. Целью данного исследования является создание архитектуры системы оценки кандидатов с использованием нечеткого вывода Мамдани, обеспечивающего повышение качества принимаемых решений в условиях неопределенности.

Анализ существующих решений

Классический анализ резюме предполагает быстрое сканирование экспертом первых страниц резюме кандидата на соответствие технических навыков требованиям вакансии, а также опыта работы. Как правило, поиск по ключевым словам является наиболее часто используемым методом как ручной, так и машинной фильтрации резюме. Последние несколько лет в научном мире активно исследуются интеллектуальные методы поддержки принятия решений в HR. Необходимо выделить несколько ключевых направлений в технологиях и алгоритмах, применяемых для оптимизации процесса найма персонала.

Первой большой категорией исследований является большие языковые модели (LLM) и обработка естественного языка (NLP). Использование генеративного искусственного интеллекта, к которым относятся такие модели как GPT-4, GPT-4 Turbo от OpenAI и DistilRoBERTa, последние годы получает большое распространение на рынке. Использование данных технологий базируется на следующих принципах: сравнение с экспертами, генерация объяснений и оптимизация резюме. В первом случае LLM используется для оценки резюме по определенным критериям, таким как опыт работы, навыки, образование, сертификация. Исследования показывают высокую корреляцию между оценками искусственного интеллекта (ИИ) и людей-экспертов [6]. Кроме того технология RAG (Retrieval-Augmented Generation) [5] также получила применение для обоснования результатов и объяснения принятых решений по отбору кандидатов. Чаще всего в исследованиях рассматриваются эволюционные методы оптимизации, где языковые модели выступают в роли агрегатора по улучшению резюме под требования системы или вакансии.

К следующей категории технологий относятся системы принятия решений, основанные на методах нечеткой логики. Так как требования к кандидатам часто носят субъективный характер такие алгоритмы как Fuzzy TOPSIS [7] позволяют обрабатывать большой объем разрозненных данных и чаще всего используют треугольные функции для описания весов критериев. Помимо того активно применяются композиционные правила (max-min) для сопоставления качеств кандидата с эталонными требованиями должности [3, 4].

Последней категорией в данном списке являются гибридные интеллектуальные системы, комбинирующие вышеперечисленные технологии и модели. Они позволяют объединить жесткие правила экспертных систем с гибкостью искусственного интеллекта. Как правило принцип работы таких технологий основывается на взаимодействии блока экспертной системы с блоком нечеткого вывода [8]. Это позволяет оперировать динамическими задачами и проводить качественную оценку входных данных (навыков, опыта, загруженности сотрудников) для распределения задач в ИТ-проектах.

Однако каждый подход имеет свои достоинства и недостатки, отраженные в таблице 1.

Проведенный анализ существующих решений позволил сформировать рекомендации по улучшению существующих систем. Во-первых, внедрение объяснимого ИИ с использованием таких инструментов интерпретация как SHAP [10] или LIME [6], чтобы сделать процесс принятия решений прозрачным и снизить алгоритмическую предвзятость. Кроме того, объединение семантических способностей LLM и методов нечеткой логики в одну гибридную модель способствует увеличению уровня объективности результатов и прозрачности процесса принятия решений [11].

Таблица 1 – Преимущества и недостатки LLM и нечеткой логики в рекрутинге

Характеристика	Достоинства	Недостатки
LLM (ИИ)	Высокая семантическая точность (до 91%), способность понимать контекст опыта работы и навыков [9].	Галлюцинации, субъективность логики оценки («черный ящик») и ошибки в интерпретации заголовков резюме [5].
Нечеткая логика	Объяснимость решений, возможность формализовать субъективные критерии («продвинутый уровень», «преимущественно») [7].	Сложность настройки эталонных матриц и функций принадлежности, требующая экспертного участия [2].

Таким образом, большинство систем подбора персонала переходят от поиска, по ключевым словам, к семантическому анализу и интеллектуальной поддержке принятия решений. Это достигается за счет взаимодействия больших языковых моделей, которые обрабатывают контекст, и нечеткой логики для получения математически обоснованного результата.

Архитектура разработанной системы

Для преодоления указанных недостатков целесообразно разработать гибридную модель с использованием LLM и методов нечеткой логики [12]. Архитектура интеллектуальной системы для многокритериальной оценки и фильтрации кандидатов представляет собой многоуровневую модульную структуру, которая охватывает весь процесс обработки данных: от загрузки резюме до формирования итогового рейтинга и рекомендаций. Система построена по принципу объединения микросервисов, что обеспечивает ее гибкость, масштабируемость и возможность дальнейшего развития. Общая архитектура системы представлена на рисунке 1.

Архитектура данной интеллектуальной системы основана на многоуровневом подходе и последовательно реализует обработку неструктурированного текстового файла резюме. Данная система включает полный цикл от загрузки и анализа резюме до формирования обоснованного рейтинга кандидата и интерпретацию результатов.

Модуль первого уровня включает загрузку данных в различных форматах DOC и PDF, а также предварительную обработку данных, извлечение текстовой информации и ее очистку. В результате формируется нормализованный текст, готовый для анализа следующим модулем [8]. Следующий этап представляет собой модуль семантического объединения разрозненных данных языковой моделью, входными данными для которой являются текст резюме и описание вакансии. Модель выполняет их сопоставление и формирует предварительную оценку кандидата по ключевым характеристикам, указанным в вакансии, а также ключевым характеристиками такие как профессиональные навыки, потенциал и уровень риска. Далее по цепочке результат передается в формате структурированных данных. После чего в модуле нечеткого логического вывода происходит фазификация входных параметров с помощью алгоритма Мамдани [2, 3] и применяется база правил с учетом весов, а также агрегирование результатов. Итоговое нечеткое значение преобразуется в числовой показатель на этапе дефазификации.

В результате формируется интегральная оценка кандидата (Hiring Score) методом анализа иерархий, что позволяет учитывать их относительную значимость при формировании итогового показателя [7]. По завершению работы данного модуля формируется предварительное решение системы о соответствии резюме описанию вакансии. После получения итоговой оценки система переходит к модулю интерпретации результатов. Здесь создаются объяснения для пользователя с расшифровкой оценок, выявление сильных сторон кандидата и комментарии по несоответствию. Именно это повышает прозрачность и доверие к системе. Параллельно реализуется пользовательский интерфейс, обеспечивающий наглядное представление результатов. Рекрутер получает доступ к итоговой оценке, доступом

к базе данных резюме и рекомендациям, кроме того интерфейс имеет возможность загрузки до 20 резюме и динамически настраивать веса критериев по степени важности. Все данные, включая уже обработанные резюме, размещаются в модуле хранения данных, что обеспечивает возможность повторного анализа и сравнения с новыми кандидатами.

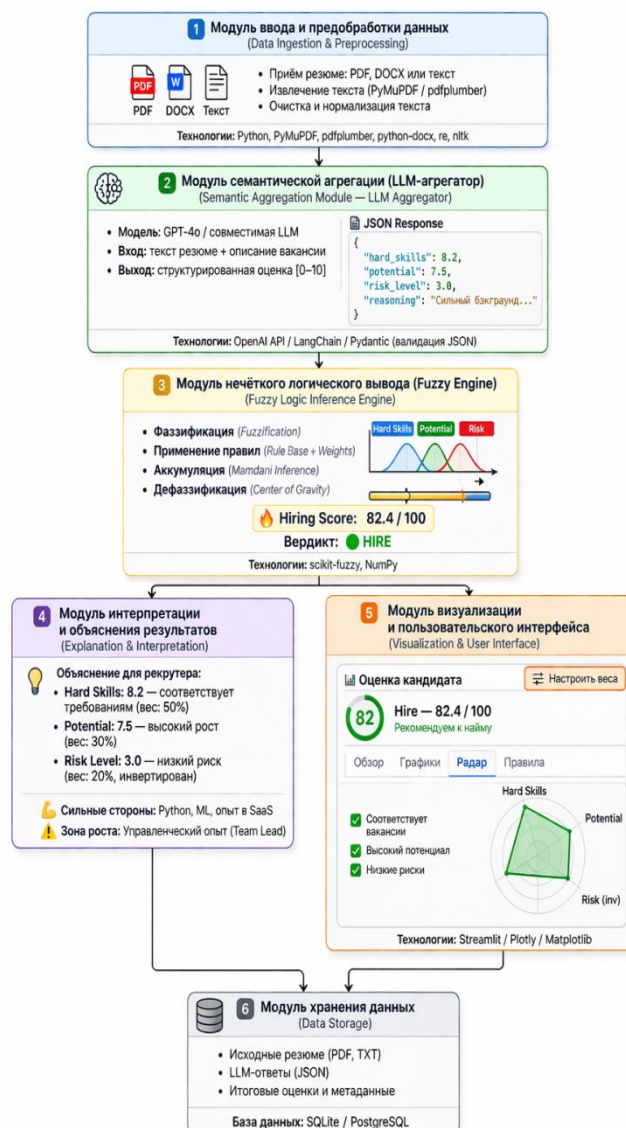


Рисунок 1 – Архитектура интеллектуальной системы оценки кандидатов

Таким образом, представленная архитектура сочетает в себе методы обработки естественного языка, нечеткой логики и многокритериального анализа, обеспечивая комплексный гибкий и интерпретируемый подход к оценке кандидатов.

Заключение

В результате исследования была решена актуальная научно-практическая задача разработки интеллектуальной системы многокритериальной оценки кандидатов на основе нечеткой логики. Актуальность работы обусловлена необходимостью повышения эффективности процессов подбора персонала в условиях цифровой трансформации экономики, роста конкуренции на рынке труда и увеличения объема обрабатываемых данных.

На основе проведенного анализа современных ATS-систем и изучения интеллектуальных подходов в решении такого рода задач была спроектирована архитектура гибридной системы, включающей модули семантической обработки текста, нечеткого логического вывода и интерпретации результатов. Реализация данного решения способствует

комплексной обработке неструктурированной информации и формированию обоснованных выводов по найму сотрудников. Данный подход обеспечивает обработку неопределённых и субъективных данных и позволяет повысить качество принимаемых решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кричевский, М. Л. Нейросетевая оценка компетенций персонала / М. Л. Кричевский, С. В. Дмитриева, Ю. А. Мартынова // Экономика труда. – 2018. – Т. 5, № 4. – С. 1101–1118.
2. Кричевский, М. Л. Отбор персонала с использованием мягких вычислений / М. Л. Кричевский // Управление персоналом и интеллектуальными ресурсами в России. – 2017. – Т. 6, № 6. – С. 61–65.
3. Матыцина, И. А. Методология отбора сотрудника на основе нечеткой логики / И. А. Матыцина, Л. А. Коробова // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 11.
4. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. – 2-е изд. – Москва : Горячая линия–Телеком, 2013. – 384 с.
5. Alebachew Y. B. Human and LLM-Based Resume Matching: An Observational Study // Findings of the Association for Computational Linguistics. – 2025.
6. Babayev S. C. Artificial Intelligence in Human Resource Management: An Expanded Literature Review with Quantitative Perspectives // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. – 2025. – № 8 (137). – URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/20713> (дата обращения: 12.04.2026). – DOI: 10.32743/UniTech.2025.137.8.20713.
7. Hoque S. When LLM meets Fuzzy-TOPSIS for Personnel Selection through Automated Profile Analysis / S. Hoque [et al.] // IEEE Access. – 2026. – Vol. 14. – Article ID 3658575. (arXiv:2601.22433).
8. Gorozhanina E. I. Development of Hybrid Intelligent System in the Field of Personnel Management // Infocommunication Technologies. – 2018. – Vol. 16, No. 3. – P. 317–322. – DOI: 10.18469/ikt.2018.16.3.10.
9. Tripathi Ar. Mapping the use of large language models in hiring decisions: a scoping review / Ar. Tripathi, An. Tripathi, F. Darena, P. Mishra // Frontiers. – 2026.
10. Smart ATS: An AI-Driven Multi-Stage Resume Scoring and Recruitment Automation System // International Journal of Artificial Intelligence Applications. – 2025. – Vol. 1, No. 2. – DOI: 10.71356/ijaia.v1.i2.62.
11. Maree M. Analysis & Shortcomings of E-Recruitment Systems: Towards a Semantics-based Approach Addressing Knowledge Incompleteness and Limited Domain Coverage / M. Maree, A. Kmail, M. Belkhatir // Journal of Information Science. – 2019. – Vol. 45, No. 6. – P. 711–735. (arXiv:2004.12034).
12. Тагиров В. К. Интеллектуальная поддержка принятия решений в задачах подбора персонала на основе композиционных правил нечеткой логики / В. К. Тагиров, Л. Ф. Тагирова // Технические науки – от теории к практике : сб. ст. по материалам I междунар. науч.-практ. конф. № 9 (45). – Новосибирск : Изд. АНС «СибАК», 2015. – С. 19–29.

Критская Виолетта Юрьевна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: kritskaiaavio@gmail.com

УДК 551.501:004.2

*Научный руководитель:
Федоров Вячеслав Игоревич,
доцент кафедры информационных
и робототехнических систем,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

Д.К. КУХАРЬ
D.K. KUKHAR

АРХИТЕКТУРНЫЕ РЕШЕНИЯ И ИСТОЧНИКИ ДАННЫХ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

ARCHITECTURAL SOLUTIONS AND DATA SOURCES IN AUTOMATED METEOROLOGICAL MONITORING SYSTEMS

В данной статье автор освещает проблему разработки автоматизированных систем метеорологического мониторинга (АСММ) при условии ускоряющихся климатических сдвигов. Целью данной работы является обзор современных подходов к построению станций и сетей интернета вещей для сбора метеоданных. Также в статье были рассмотрены различные архитектурные решения, а именно облачные платформы, различные локальные серверные кластеры, а также гибридные модели (edge). Оказалось, что АСММ критически зависит от эффективности интеграции различных потоков данных, а также было выявлено, что гибридная архитектура демонстрирует наибольшую эффективность и масштабируемость. В заключении подчеркнута роль унифицированных протоколов по типу MQTT или CoAP и сетей 5G, которые повышают точность и оперативность мониторинга в инфраструктурах.

Ключевые слова: автоматизированный метеорологический мониторинг (АСММ), Интернет вещей (IoT), гибридные архитектуры, Edge-вычисления, спутниковые системы, наземные метеостанции, облачные платформы, интеграция данных, фильтрация данных, 5G.

In the given article the author highlights a problem of developing automated meteorological monitoring systems (AMMS) in the context of accelerating climate shifts. The aim of this work is to review modern approaches to constructing IoT stations and networks for meteorological data collection. The article also examines various architectural solutions, namely cloud platforms, local server clusters, and hybrid (edge) models. It was found that AMMS is critically dependent on the efficiency of integrating various data streams, and it was revealed that hybrid architecture demonstrates the highest efficiency and scalability. The conclusion emphasizes the role of unified protocols such as MQTT or CoAP and 5G networks, which enhance the accuracy and promptness of monitoring within infrastructures.

Keywords: automated Meteorological Monitoring (AMM), Internet of Things (IoT), Hybrid Architectures, Edge Computing, Satellite Systems, Ground-based Weather Stations, Cloud Platforms, Data Integration, Data Filtering, 5G.

В последнее время системы для предсказания погоды перестали быть чем-то фантастическим, так как они стали неотъемлемой частью того, как люди начали пытаться совладать с новым климатическим раскладом, где сбиваются привычные природные закономерности, а также наблюдается рост числа экстремальных явлений, например, ливень, ураган [1]. Они появляются там, где их никогда не было, поэтому очень важно научиться строить качественные прогнозы, потому что ошибка в прогнозе несет реальные убытки, а также подвергает опасности людей.

Современные системы начали использовать гетерогенные источники данных, а именно снимки с орбитальных спутников по типу MODIS или Sentinel, а также сообщения от различных полевых метеостанций, на которых каждую минуту фиксируются осадки и температура воздуха [8]. К такой комбинации в последнее время добавили еще и датчики интернета вещей [2]. Такие датчики представляют собой компактные устройства для мониторинга, которые непрерывно отправляют данные, а в местах, где нет связи, данные сохраняются локально, чтобы передать их после восстановления соединения [6].

Еще важно отметить технологию облачных сервисов, например, AWS, Azure и так далее [3]. Подобные платформы особенно эффективны, когда имеется стабильное интернет-

соединение, поскольку позволяют параллельно обрабатывать большие объемы данных, а также обработку с такой системой удобно масштабировать. Если имеются жесткие требования к конфиденциальности, то необходимо использовать противоположную технологию локального кластера на базе серверов, тем самым получаем независимости и контроль над данными [7].

Третий вариант это как можно догадаться гибридный подход, в котором часть задач на себя берет облачный сервис (там, где хватает ресурсов), а те части аналитики выполняются локально, то есть прямо на месте. Ради такого гибридного подхода, в настоящее время внедряются технологии периферийных вычислений (edge computing).

Именно поэтому в итоге исследование проводится снизу вверх, а именно от источников данных до реального сшивания потоков воедино при помощи современных инструментов. Такой процесс очень далек от абстракции, так как наоборот приходится ежедневно выстраивать компромиссы между доступом каналов данных и устойчивостью системы к очередному сбою [4].

Один из каналов для получения данных – это спутники, что являются важным средством мониторинга и находятся там куда человеку ни добраться и не поставить стандартную метеостанцию. Спутники сканируют планету с космических высот, например, всем известные аппараты GOES от NOAA или же российский «Электро-Л» расположены на геостационарной орбите над экватором (примерно 36 тысяч километров) [17]. Каждые 10-15 минут с них приходят свежие снимки, а именно, видимый спектр для оценки облаков, а также инфракрасный для ночных наблюдений и замера температуры поверхности.

Полярные спутники работают немного по другому принципу. Они летают по орбите через оба полюса, тем самым делая полный виток за примерно полтора часа. Такой подход обеспечивает последовательное сканирование всей поверхности планеты. Спутники Suomi NPP или MetOp буквально проходят каждую точку планеты по несколько раз в день, а чем ближе к полюсам, тем еще чаще. Этот способ необходим и незаменим для оценки состояния атмосферы в арктических зонах и позволяет получить точные данные озона, паров и аэрозолей.

Ближе к поверхности земли работают наземные метеостанции, которые представляют собой развитую сеть всем знакомым термометров, барометров, а также анемометров, которые следят за деталями с точностью до десятых градуса раз в несколько минут. В качестве обработчиков данных используются Arduino или Raspberry Pi, которые передают потоки данных или через GSM-модемы, или через LoRaWan. В европейских странах было создано объединение метеостанций в одну мощную сеть EUMETNET, где сотни станций обновляют карту осадков практически в реальном времени. Однако ни одна система не обходится без ограничений, так и наземные сети имеют нюанс – это то, что время от времени техника подвергается влиянию низких температур и внешних факторов, поэтому начали устанавливать специальные кожухи и внедрять механизмы самодиагностики [16].

Также в настоящее время важную работу выполняют IoT-узлы, которые становятся незаменимой частью среды [15]. Они висят на фонарных столбах, располагаются на крышах и устанавливаются вдоль проезжих частей. Эти узлы круглосуточно собирают температуру, скачки давления и параметры окружающей среды.

Применение технологий мониторинга в аграрном секторе имеет свою специфику [10]. Фермеры не просто фиксируют наличие дождя, но и также устанавливают датчики для сканирования почвы на влажность и осуществляют мониторинг микроклимата. Передача данных осуществляется по беспроводным каналам связи, при этом экономя электроэнергию при помощи LoRaWAN или же MQTT/CoAP [5]. В итоге всей этой продвинутой системы выполняется капельное орошение, что корректируется автоматически в тех местах, где случаются заморозки или возникают длительные туманы.

Чтобы не вызывать путаницы в потоке информации было принято решение отправлять данные сначала в небольшие локальные хабы, которые являются промежуточными точками, что передают сигналы вверх, а также в некоторых случаях фильтруют шумы сразу на месте. Если же нужна еще большая картина, то тут тоже нашли выход при помощи дронов, которые

пролетают над водохранилищами или лесополосами и собирают те данные, которые наземные станции не в силах заметить.

Следующий шаг после промежуточных точек является облачный сервис, где выполняется распределенная обработка данных [9]. Провайдеры вроде AWS и Azure сначала принимают потоки данных с тысяч узлов по всему миру, а потом перераспределяют нагрузку между виртуальными машинами.

Если же рассматривать промышленные системы мониторинга метеоданных (вроде IoT-сборщиков), то тут edge-сервера, построенные на быстрой технологии NVIDIA Jetson, могут просматривать видео с камер, что по сути своей позволяет оценить облачность в реальном времени. Главное преимущество такого подхода заключается в том, что при потере сетевого соединения ни данные, ни процессы не замирают, так как все хранится и обрабатывается локально, пока линия связь не будет восстановлена. Однако и у такой системы есть недостаток – сложность масштабирования. Он возникает из-за закупки новых деталей, а также отправки специалистов устанавливать и обслуживать системы на места, в отличие от облака, где работа с серверным парком ведется просто в пару кликов и появляется возможность брать столько ресурсов, сколько нужно.

Важно отметить, что базы данных, например, PostgreSQL с TimescaleDB способны обеспечивать долгосрочное хранение архивов погодных профилей за годы. Однако, если есть только локальная база, а также нет нормальной репликации между узлами, то сбой или отключение влечет потерю доступа ко всему архиву сразу. Поэтому лучше использовать гибридную архитектуру, а именно вычисления оставлять на месте, а всю последующую обработку и хранение данных задействовать в облаке. То есть датчики будут собирать различные данные, потом локальный сервер выполнит первичную обработку и следующим шагом, при возможности, данные будут отправляться пакетами в облако для глубокого анализа и длительного хранения информации.

В промышленной сфере такая гибридная архитектура используется все чаще. Сейчас интеграция IoT-сетей с контейнерными приложениями выходит далеко за рамки тестовых контуров, а в качестве хорошего примера может служить агрометеостанция. В ней Raspberry Pi получает исходящие сигналы от сенсоров, делают первичную коррекцию значений, например, очистка данных после дождя. Далее идет упаковка данных в пакеты и отправляются в ядро гибридной платформы, чтобы агрегировать и визуализировать температурные профили. Такой подход позволяет примерно на 40% передавать меньше лишних гигабайтов информации, а также обеспечивает стабильную работу при частых обрывах интернет-соединения [11].

Особое внимание стоит уделить обработке так называемых «грязных» данных. Тут важно быть особенно внимательным, так как допустим влажность может резко увеличиться из-за конденсата, а температуры, например, часто меняются из-за электромагнитных помех. Поэтому, сырой поток без фильтров будет очень опасно отправлять в облако из-за возможной недостоверности данных. На практике могут спасти ситуацию пороговые фильтры. Например, взять три стандартных отклонения от среднего у соседних значений и убрать аномальные значения по типу высокой температуры там, где ее не может быть. А для оперативной сглаженности необходимо использовать скользящие медианы, а пробелы в данных можно восполнить интерполяцией, то есть рассчитать значения между узлами по методу обратных квадратов расстояний между станциями.

Более сложные же случаи, где не обойтись без моделей на основе временных рядов, например, Kalman-фильтры, которые можно описать как алгоритм, который берет зашумленные данные, например, неожиданные ураганы или помехи, и шаг за шагом отфильтровывает отклонения, тем самым выявляя устойчивый тренд данных [12].

Чтобы избежать ошибок, было принято решение объединить подходы. Сбор и коррекция осуществляется с помощью Kalman-фильтра и сюда добавляем ML-детекторы системных сбоев. Такой гибридный подход позволил на промышленном IoT снизить итоговую погрешность примерно на четверть, а для инженеров это не просто цифра, так как точность означает раннее предупреждение о рисках, а также экономию на внеплановые выезды.

Следующая немаловажная проблема – это задержки передачи сигналов в метеосетях, которые возникают из-за того, что часть датчиков стоит либо в тундре, либо в горной гряде, где возникает перегруз сети или появляются сильные помехи. Для решения данной проблемы применяются технологии периферийных вычисления, которые предлагают перенос части вычислений ближе к источникам данных. Так как предварительная фильтрация не дает возможности отправлять не весь поток хаотичных телеметрий в облако, а вот уже компактные агрегированные сводки через те же протоколы CoAP или MQTT, отлично подходят для этой роли. С появлением 5G ситуация, конечно, стала еще лучше, так как латентность упала ниже 10 миллисекунд, что позволяет ощутить при создании динамических карт погодных условий, которые строятся на лету [13]. Если все же случается обрыв, то тут применяются алгоритмы предиктивной интерполяции.

Последний важный момент, который стоит упомянуть – это совместимость форматов. Проблемы возникают не только на этапе сбора данных, но и в том случае, когда нужно свести все вместе, например, спутниковые агентства EUMETSAT отправляют матрицы данных в формате GRIB или NetCDF, а локальные станции отправляют сырые логи Modbus протоколом или же LoRaWAN, в котором часто используется MQTT-пакетинг. Для решения проблемы начали применять промежуточное программное обеспечение, так называемый универсальный переводчик, который сначала пытается понять структуру исходного потока, а потом нормализует данные в единый вид.

Если посмотреть на суть, то в самом деле, все эти кроссплатформенные методы IoT и метеооборудования, основываются на нескольких универсальных протоколах MQTT и CoAP, и не важно какой именно используется в системе, важно то, что оба протокола способны преобразовать поток данных с датчиков [14]. Однако для того, чтобы данные могли попасть дальше, например, в облако или какую-либо аналитическую систему, необходимо пустить данные через инструмент Node-RED, который конвертирует Modbus в JSON, а потом сохраняет в нужное хранилище.

Рассмотрим пример. Европейский проект OPERA, где все данные сохраняются по стандарту ODIMH2, то есть, грубо говоря, это упаковка HDF5, где формат и смысл метеоданных придерживается стандартам. Дальнейший шаг – склейка данных и их сравнение с данными, которые поступают из разных стран и от различных производителей оборудования.

Тоже самое можно увидеть у агро-IoT, где, например, осуществляется мониторинг за влажностью почвы по всей области, но сенсоры у всех поставщиков разные, а протоколы тем более, но если они подчиняются стандарту IEEE 1451 (где у каждого отдельного датчика имеется общий дескриптор), то центральному хабу не придется выполнять адаптацию для каждого типа приборов.

Также есть стандарт WMO Core Profile, который уже доказал свою практическую значимость, ведь только за счет единого формата профилей можно уменьшить нагрузку почти на треть в распределенных гибридных инфраструктурах.

Забегая чуть вперед, можно сказать, что мир стоит буквально на пороге новой волны цифрового развития метеотраслы, а массовое внедрение 5G даст связь практически без задержек даже в полевых условиях, также промышленные IoT дадут агросектору возможность осуществлять адаптивное управление сенсорными системами полива или для того, чтобы формировать предупреждения для объектов инфраструктуры о грозе фактически до удара молнии. Все это работает благодаря тому, что фундамент всех сетей смонтирован в одну систему по всем правилам совместимости данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ертаева, А. Анализ показателей качества воды с использованием технологии Интернет вещей / А. Ертаева. – Текст : электронный // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева. – 2025. – № 4 (139). – С. 324–337. – URL:

<https://doi.org/10.52167/1609-1817-2025-139-4-324-337> (дата обращения: 11.03.2026). – DOI: 10.52167/1609-1817-2025-139-4-324-337.

2. Евстафьев, И. И. Интернет вещей в корпоративном контроле в ритейле / И. И. Евстафьев. – Текст : электронный // Экономика и предпринимательство. – 2025. – № 8 (181). – С. 165. – URL: <https://doi.org/10.34925/eip.2025.181.8.165> (дата обращения: 11.03.2026). – DOI: 10.34925/eip.2025.181.8.165.

3. Шайханова, А. Инновационные архитектурные решения и междисциплинарная реализация облачной платформы Bult для оркестрации веб-приложений / А. Шайханова, К. Бермухамбетов, А. Ким. – Текст : электронный // Вестник Казахского университета технологии и бизнеса. – 2025. – Т. 1. – № 26. – С. 506. – URL: <https://doi.org/10.58805/kazutb.v.1.26-506> (дата обращения: 11.03.2026). – DOI: 10.58805/kazutb.v.1.26-506.

4. Гойкалов, А. Архитектурные и конструктивные решения культовых сооружений Русского Севера / А. Гойкалов. – Текст : электронный // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2025. – № 37 (87). – С. 4. – URL: <https://doi.org/10.36622/2074-188x.2025.37.87.004> (дата обращения: 13.03.2026). – DOI: 10.36622/2074-188x.2025.37.87.004.

5. Петровский, А. Промышленный Интернет вещей как источник сигналов для наведения БПЛА / А. Петровский. – Текст : электронный // Современные технологии в образовании. – 2024. – Т. 5, № 16. – С. 36. – URL: <https://doi.org/10.37539/2949-1991.2024.5.16.036> (дата обращения: 14.03.2026). – DOI: 10.37539/2949-1991.2024.5.16.036.

6. Мурадова, П. Р. Роль программирования в развитии технологии «Интернет вещей» / П. Р. Мурадова, М. А. Мусханова. – Текст : электронный // Вестник Чеченского государственного университета им. А. А. Кадырова. – 2024. – № 1 (144). – С. 55–58. – URL: <https://doi.org/10.36684/144-1-2024-55-58> (дата обращения: 15.03.2026). – DOI: 10.36684/144-1-2024-55-58.

7. Коробко, А. Экологические проблемы контейнерных перевозок. Способы решения данных проблем / А. Коробко. – Текст : электронный // Научное обозрение. Педагогические науки. – 2024. – № 616. – URL: <https://doi.org/10.17513/nr.616> (дата обращения: 15.03.2026). – DOI: 10.17513/nr.616.

8. Карпекин, С. В. Промышленный Интернет вещей: сущность и перспективы развития / С. В. Карпекин, А. А. Ногай. – Текст : электронный // Экономика и предпринимательство. – 2024. – № 10 (171). – С. 87. – URL: <https://doi.org/10.34925/eip.2024.171.10.087> (дата обращения: 15.03.2026). – DOI: 10.34925/eip.2024.171.10.087.

9. Карачанская, Е. В. Анализ российского рынка программных продуктов мониторинга сетей передачи данных / Е. В. Карачанская, С. С. Любомский. – Текст : электронный // Автоматизация в промышленности. – 2024. – № 8. – С. 6. – URL: <https://doi.org/10.25728/avtprom.2024.08.06> (дата обращения: 16.03.2026). – DOI: 10.25728/avtprom.2024.08.06.

10. Ахмадов, А. Д. Интернет вещей и агроботехнологии / А. Д. Ахмадов, М. М. Магомедмирзоев. – Текст : электронный // Вестник Чеченского государственного университета им. А. А. Кадырова. – 2023. – № 1 (101). – С. 28–31. – URL: <https://doi.org/10.36684/101-1-2023-28-31> (дата обращения: 18.03.2026). – DOI: 10.36684/101-1-2023-28-31.

11. Всеволодова, А. В. Подсистема анализа данных как способ автоматизации процессов мониторинга и анализа цен интернет-магазинов / А. В. Всеволодова, О. А. Карташева. – Текст : электронный // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2023. – Т. 19, № 3. – С. 780–791. – URL: <https://doi.org/10.25559/sitito.019.202303.780-791> (дата обращения: 18.03.2026). – DOI: 10.25559/sitito.019.202303.780-791.

12. Малимонов, М. И. Визуализация и анализ данных метеорологического температурного профилимера / М. И. Малимонов, О. Э. Якубайлик. – Текст : электронный //

Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2023. – № 3 (31). – С. 4. – URL: <https://doi.org/10.25729/esi.2023.31.3.004> (дата обращения: 21.03.2026). – DOI: 10.25729/esi.2023.31.3.004.

13. Даудов, А. Д. Интернет вещей в эпоху 5G / А. Д. Даудов, А. Х. Дагаев. – Текст : электронный // Материалы конференций ГГНТУ. – 2022. – № 2. – С. 13–21. – URL: <https://doi.org/10.36684/59-2022-2-13-21> (дата обращения: 24.03.2026). – DOI: 10.36684/59-2022-2-13-21.

14. Сугаипов, У. У. Интернет вещей как сетевая инфраструктура / У. У. Сугаипов, Л. Х. Кудусова. – Текст : электронный // Тенденции развития науки и образования. – 2022. – № 12. – С. 514. – URL: <https://doi.org/10.18411/trnio-12-2022-514> (дата обращения: 25.03.2026). – DOI: 10.18411/trnio-12-2022-514.

15. Карцан, И. Н. Глубокий интернет вещей / И. Н. Карцан, А. А. Контылева. – Текст : электронный // Журнал цифровой науки. – 2023. – Т. 3, № 2. – С. 0201–0212. – URL: <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2023-3-2-0201-0212> (дата обращения: 25.03.2026). – DOI: 10.47813/2782-2818-2023-3-2-0201-0212.

16. Урсол, Д. В. О помехоустойчивости сигнально-кодовых конструкций для систем Интернет вещей / Д. В. Урсол. – Текст : электронный // Экономика. Информатика. – 2021. – Т. 48, № 4. – С. 822–830. – URL: <https://doi.org/10.52575/2687-0932-2021-48-4-822-830> (дата обращения: 27.03.2026). – DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-4-822-830.

17. Смирнов, А. В. Источники демографических данных в условиях цифровизации экономики и общества / А. В. Смирнов. – Текст : электронный // Информационные системы в науке и образовании. – 2021. – № 9. – С. 55. – URL: <https://doi.org/10.32460/ishmu-2021-9-0055> (дата обращения: 29.03.2026). – DOI: 10.32460/ishmu-2021-9-0055.

Кухарь Даниил Константинович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: dxkuhar@gmail.com

УДК 621.91

Научный руководитель:
Дуюн Татьяна Александровна,
профессор кафедры технологии
машиностроения,
БГТУ им. В.Г. Шухова (Белгород, Россия)

М. КХАЛИФА
M. KHALIFA

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ МОДЕЛЕЙ
ПРИ ТОЧЕНИИ РЕЗЦАМИ С МНОГОСЛОЙНЫМ ПОКРЫТИЕМ**
**COMPARATIVE STUDY OF THERMAL ANALYTICAL MODELS
FOR PREDICTION OF HEAT PARTITION COEFFICIENT
WITH MULTILAYER COATED TOOLS IN THE CUTTING PROCESS**

В данной статье авторы освещают проблему определения интенсивности теплового потока от трения, отводимого в режущий инструмент при точении. Тепловое состояние инструмента является основным показателем, определяющим качество и эффективность работы режущего инструмента. Представлены тепловые аналитические модели разных авторов для оценивания относительного количества теплоты от трения, отводимого в инструмент. Расчетные значения этих моделей значительно различаются при одних и тех же условиях резания. Выполнены экспериментальные исследования точения инструментом с многослойным покрытием для анализа и выявления особенностей расчета относительного количества теплоты, отводимого в инструмент.

Ключевые слова. тепловые модели, режущий инструмент.

In this article, the authors address the problem of determining the intensity of frictional heat flux transferred to a cutting tool during turning. The thermal state of a tool is a key indicator of its quality and performance. Thermal analytical models developed by various authors are presented for estimating the relative amount of frictional heat transferred to the tool. The calculated values of these models vary significantly under the same cutting conditions. Experimental studies of turning with a tool with a multilayer coating were conducted to analyze and identify specific aspects of calculating the relative amount of heat transferred to the tool.

Keywords. Thermal models, cutting tool.

В современном машиностроении большое внимание уделяется разработке режущих инструментов с функциональным многослойным покрытием. Основной целью в этой области является повышение производительности и эффективности этих инструментов. Таким образом, анализ тепловых характеристик покрытий режущих инструментов, их состава позволяет оптимизировать его работу. Существует множество экспериментальных и аналитических методов для оценки теплового состояния режущего инструмента. Одним из наиболее важных параметров, влияющих на тепловое состояние, является количество тепла, отводимого в режущий инструмент. В данной работе рассмотрены четыре аналитические модели (Резникова А.Н., Shaw, Belinear, Kato и Fujii), предназначенные для расчёта относительного количества тепла от трения, отводимого в режущий инструмент (η_f).

Таким образом, следует отметить, что общее количество теплоты q_{1T} от трения стружки по передней поверхности резца, распределяющееся между стружкой и инструментом, вычислялось в соответствии с выражениями [1]:

$$q_{1T} = q_c + q_{\text{и}}$$

$$q_{\text{и}} = \eta_f q_{1T}$$

$$q_c = (1 - \eta_f) q_{1T}$$

где q_c – количество теплоты, отводимой в стружку; q_i – количество теплоты, отводимой в режущий инструмент, η_f – соотношение количества тепла от трения, отводимой в режущий инструмент к общему теплу.

Резников А.Н. предложил метод расчёта относительного количества тепла от трения, отводимого в режущий инструмент с использованием двух безразмерных тепловых критериев [2,3]: числа Пекле (Pe) и числа Фурье (Fo). В процессе резания, число Пекле характеризует быстроту движения источника тепла. Число Фурье (Fo) определяет продолжительность воздействия источника тепла. Модель Резникова выражается следующей математической формулой [13]:

$$\eta_f = \frac{[(3\lambda_T/2\lambda_W)\sqrt{Pe_T \cdot Fo_W}]}{1 + [(3\lambda_T/2\lambda_W)\sqrt{Pe_T \cdot Fo_W}]}$$

$$Pe = \frac{v_{ct} l_c}{\alpha_T}$$

$$Fo = \frac{\alpha_W t}{l_c^2}$$

где λ_T , λ_W – коэффициент теплопроводности режущего инструмента и обрабатываемого материала соответственно, α_T , α_W – коэффициент температуропроводности режущего инструмента и обрабатываемого материала соответственно, v_c – скорость схода стружки, t – характерное время воздействия, l_c – характерная длина контакта стружки с инструментом.

Согласно модели Shaw, параметр η_f рассчитывается по формуле [4]:

$$\eta_f = \frac{[0.754(\lambda_T/\lambda_W)/(A\sqrt{N_T})]}{1 + [0.754(\lambda_T/\lambda_W)/(A\sqrt{N_T})]}$$

где N_T – безразмерный коэффициент диффузии скорости, A – коэффициент формы площади. Безразмерное число NT задаётся формулой:

$$N_T = \frac{v_{ct} l_c}{2\alpha_W}$$

Модель Kato & Fujii и Belinear задаётся формулой, соответственно [5,6]:

$$\eta_f = \frac{\sqrt{(c_p \rho \lambda)_T / (c_p \rho \lambda)_W}}{1 + \sqrt{(c_p \rho \lambda)_T / (c_p \rho \lambda)_W}}$$

$$\eta_f = \frac{0.45 (\lambda_T/\lambda_W) \sqrt{\pi \alpha_W / v_{ch} l_c}}{1 + 0.45 (\lambda_T/\lambda_W) \sqrt{\pi \alpha_W / v_{ch} l_c}}$$

Аналитические модели основаны на учёте теплофизических и механических свойств режущего инструмента и обрабатываемого материала и также режимов резания. Для расчета относительного количества тепла, отводимого в инструмент с использованием аналитических моделей при разных скоростях резания, необходимо проведение экспериментов для уточнения теплофизических параметров.

Ортогональное точение закалённой стали 40ХН2МФ выполнялось резцами с многослойным покрытием, который представлен на рисунке 1, марка пластины режущего инструмента: sandvik Coromant 4315, геометрия пластины CNMG 120408 PM, передний угол $\gamma = -5^\circ$, задний угол $\alpha = 0$. Скорость резания варьировалась при значениях 115, 145 и 180 м/мин, глубина резания составляла 1,5 мм, подача 0,2 мм/об.

Для расчета относительного количества теплоты от трения, отводимого в инструмент с использованием аналитических моделей, необходимо определить эквивалентную (эффективную) теплопроводность и теплоемкость твердосплавных инструментов с многослойными покрытиями при разных скоростях резания. Эквивалентные термические свойства покрытия (такие как эффективная теплопроводность и удельная теплоемкость) зависят прежде всего от химического состава отдельных слоёв и их толщины. В таблице представлены теплофизические свойства каждого слоя в зависимости от температуры [7-10].

Для этого были проанализированы сведения о химическом составе, толщине индивидуальных слоев, и теплофизических свойствах каждого слоя в зависимости от температуры, соответствующей определённому режиму резания.

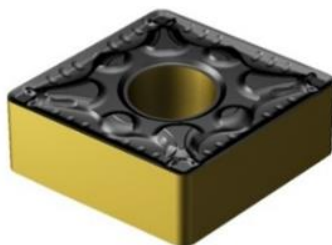


Рисунок 1 – Пластины режущего инструмента sandvik Coromant 4315

Химический состав, структура и толщины покрытия режущих пластин исследовались с использованием микроскопа TESCAN MIRA. Результаты исследования показали, что пластина имеет три слоя покрытия на задней поверхности TiCN/Al₂O₃/TiN и два на передней поверхности TiCN/Al₂O₃, среднее значение их толщин представляют собой: $T_{TiCN} = 9 \mu m$, $T_{Al_2O_3} = 6 \mu m$ и $T_{TiN} = 1 \mu m$, что можно увидеть на рисунке 2.

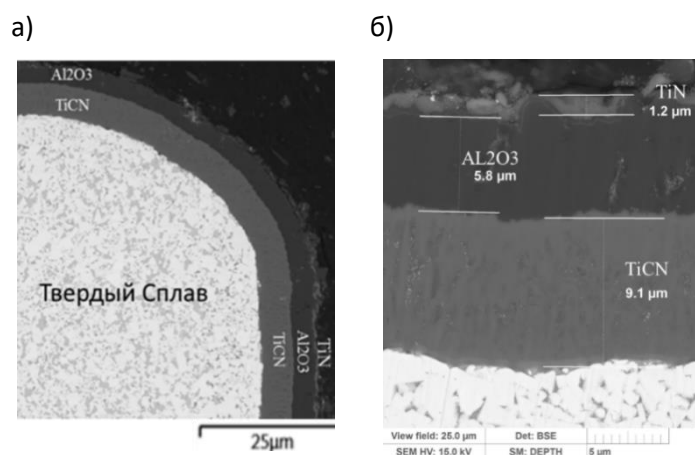


Рисунок 2 – Структура покрытия пластин №1: а – расположение слоев покрытия на передней и задней поверхности пластины; б – толщина слоев покрытия пластины

Эквивалентная (эффективная) теплопроводность k_{eq} и объемная теплоемкость C_{eq} рассчитываются по формулам, соответственно [11,12]:

$$\frac{\sum_1^t x_i}{k_{eq}} = \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \dots + \frac{x_t}{k_t}$$

$$C_{eq} = \frac{\sum_1^t x_i c_{pi} \rho_i}{\sum_1^t x_i}$$

где 1 – обозначает первый слой, t – верхний слой, x_i – толщина каждого отдельного слоя, c_{pi} – удельная теплоемкость каждого отдельного слоя.

На рисунке 3 представлены расчетные значения эффективной теплопроводности и объемной теплоемкости в зависимости от температуры резания. Согласно данным, представленным на рисунке 3, многослойное покрытие TiCN/Al₂O₃, расположенное на передней поверхности пластины, создает более благоприятное термическое состояние по сравнению с покрытием TiCN/Al₂O₃/TiN на задней поверхности. Это обусловлено различиями в теплофизических свойствах материалов покрытий.

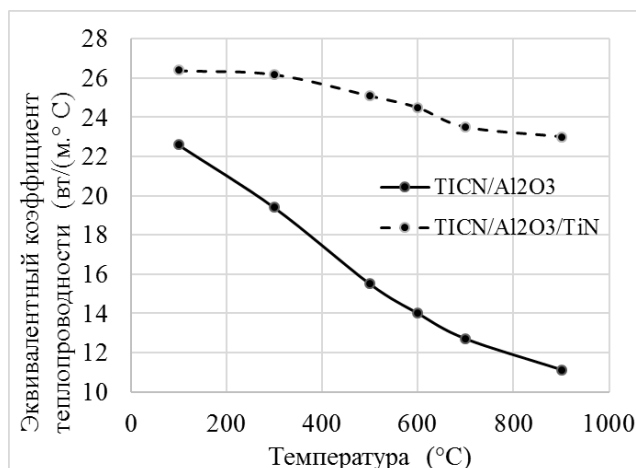


Рисунок 3 – эквивалентной теплопроводности слоев покрытия

Таблица 1 – Термические свойства зависимость от температуры включая теплопроводность и удельную теплоемкость

	Т °С	Державка резца (сталь 45)	ВК	TiN	TiCN	Al ₂ O ₃
Коэффициент теплопроводности, λ_T (Вт/(м·°С))	100	50,70	40,15	21,00	29,00	17,00
	200	48,20	44,35	21,47	29,90	14,10
	300	45,30	48,55	22,00	30,60	12,50
	400	41,90	52,75	22,52	31,50	10,80
	500	38,10	56,95	23,00	32,00	8,75
	600	33,90	61,15	23,72	33,00	7,50
	700	30,10	65,35	24,38	33,50	6,50
	800	24,70	69,55	25,01	34,50	6,00
	900	25,75	73,75	25,50	35,00	5,50
Удельная теплоемкость (Дж/ кг · °С)	100	470,40	346,01	702,60	1030	903
	200	520,80	358,01	752,70	1020	1022
	300	571,20	370,01	783,40	1040	1089
	400	621,60	382,01	801,16	1070	1139
	500	672,00	394,01	818,90	1120	1176
	600	722,40	406,01	833,46	1260	1202
	700	772,80	418,01	846,39	1350	1220
	800	823,20	430,01	856,00	1660	1237
	900	873,60	442,01	857,00	1810	1252

На рисунке 4 показано сравнение четырех аналитических моделей для расчета значения соотношения количества тепла от трения η_f при различных скоростях резания. Расчетные значения существенно различаются при одних и тех же условиях резания. Например, модель

Резникова А.Н. показывает более высокими значение для данного соотношения η_f , напротив, модель Shaw показывает низкие значения, при этом разница может достигать 35%.

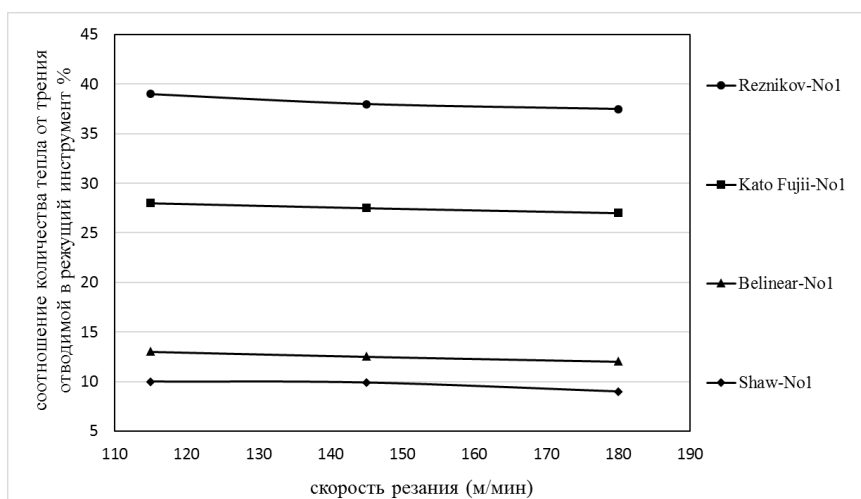


Рисунок 4 – Расчетные значения соотношений количества тепла от трения в зависимости от скорости резания

Таким образом, вопрос разработки универсальных методик определения теплового состояния режущего инструмента с многослойным покрытием остается актуальной задачей. Более точные модели расчета соотношения количества тепла, отводимого в инструмент, позволят прогнозировать тепловое состояние в зависимости от режимов резания, повысить эффективность работы, использовать рациональные режимы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Akbar F., Mativenga P. T., Sheikh M. A. An evaluation of heat partition in the high-speed turning of AISI/SAE 4140 steel with uncoated and TiN-coated tools // Journal of Manufacturing Science and Engineering. – 2008. – Vol. 130, No. 4. – P. 759–771.
2. Grzesik W. An investigation of the thermal effects in orthogonal cutting associated with multilayer coatings // Annals of the CIRP. – 2001. – Vol. 50, No. 1. – P. 53–56.
3. Grzesik W., Nieslony P. Thermophysical property based selection of coatings for dry machining of carbon and stainless steels // Transactions of the ASME. Journal of Manufacturing Science and Technology. – 2003. – Vol. 125. – P. 689–695.
4. Shaw M. C. Metal Cutting Principles. – Oxford: Clarendon Press, 1989.
5. Kato T., Fujii H. Energy partition in conventional surface grinding // ASME Transactions. Journal of Manufacturing Science and Engineering. – 1999. – Vol. 121. – P. 393–398.
6. Grzesik W. Advanced Machining Processes of Metallic Materials: Theory, Modelling and Applications. – Amsterdam: Elsevier, 2017.
7. Lovell M. R., Bhattacharya S., Zeng R. Modeling of orthogonal machining processes for variable tool chip interfacial friction using explicit dynamic finite element methods // Proceedings of the 1st CIRP International Workshop on Modeling of Machining Operations. – Atlanta, Georgia, 1998. – P. 2B/9.
8. Mimaroglu A., Kocabicak U., Taymaz I., Calli I., Gur M. Study of thermal stresses in diamond and other advanced ceramics coating systems // Proceedings of the 1st International Conference on «The Coatings in Manufacturing Engineering». – Thessaloniki, 1999. – P. 223–227.
9. Werthim R., Sivan R., Porat R., Ber A. Characterization of CVD coated carbide layers and their thermal properties // Annals of the CIRP. – 1982. – Vol. 31. – P. 1–7.
10. Childs T. H. C., Maekawa K., Obikawa T., Yamane Y. Metal Machining – Theory and Applications. – London: Arnold, 2000. – P. 101–112.
11. Incropera F. P., DeWitt D. P. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. – London: Edward Arnold, 1990.

12. Grzesik W., Nieslony P. A computational approach to evaluate temperature and heat partition in machining with multilayer coated tools // International Journal of Machine Tools and Manufacture. – 2003. – Vol. 43. – P. 1311–1317.

13. Резников А. Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов. Москва: Машиностроение, 1981. – 279 с.

Мона Кхалифа

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (г. Белгород, Россия)

Аспирант кафедры технологии машиностроения

E-mail: kh.mona@yandex.ru

УДК 004.3

*Научный руководитель:
Шамраев Анатолий Анатольевич,
доцент кафедры информационных
и робототехнических систем,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

С.А. ЛИТВИН
S.A. LITVIN

ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ АРХИТЕКТУРЫ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ СЕМЕЙСТВА GD32

LABORATORY SETUP FOR STUDYING THE ARCHITECTURE OF GD32 MICROCONTROLLERS

Данная статья посвящена разработке программного, аппаратного и методического обеспечения лабораторного стенда, что позволит создать условия для подготовки и выпуска профессиональных кадров, способных проектировать встраиваемые системы на базе микроконтроллеров.

Ключевые слова: лабораторный стенд, архитектура ARM, микроконтроллер, семейство GD32.

This article is devoted to the development of software, hardware, and methodological support for a laboratory stand, which will create conditions for the training and graduation of professional personnel capable of designing embedded systems based on microcontrollers.

Keywords: laboratory stand, ARM architecture, microcontroller, GD32 family.

При разработке встраиваемых систем на этапе выбора микроконтроллера разработчик может столкнуться с проблемой отсутствия возможности изучения и проверки работы устройства. Производители пытаются облегчить задачи своим потребителям, создавая платы с минимальным набором периферии, но этого недостаточно для тестирования и изучения работы устройства, поэтому необходимо создание специализированного оборудования, которым является лабораторный стенд.

Лабораторный стенд – это актуальный инструмент в образовательной и исследовательской деятельности. Он может применяться для проведения лабораторных работ, учебных проектов, курсового и дипломного проектирования, что делает его универсальным средством для обучения и экспериментов в области электроники и встраиваемых систем. Использование микроконтроллера GD32 позволяет ближе познакомиться с ARM архитектурой, а также получить практические навыки работы с периферией, отладкой, программированием низкого уровня и построением реальных систем.

Целью данной работы является совершенствование лабораторной базы при изучении микроконтроллерных систем за счет внедрения современных микроконтроллеров семейства GD32 с ARM-архитектурой.

Был проведен анализ современных производителей микроконтроллеров с ARM архитектурой, таких как: Texas Instruments, STMicroelectronics, NXP, Миландр, GigaDevice.

В таблице 1 представлена сравнительная характеристика производителей.

Микроконтроллеры STM32 (STMicroelectronics) и GD32 (GigaDevice) имеют схожую архитектуру на базе ядер ARM Cortex-M. GD32 часто позиционируется как более доступная альтернатива STM32, но у каждого производителя есть свои сильные и слабые стороны.

У микроконтроллеров STM32 более подробная документация и поддержка со стороны производителя. GD32 не отличается данным параметром, так как основная документация компании GigaDevice выходит на китайском языке. На сайте GigaDevice также доступны инструкции и на английском языке, но, при сравнении их с оригиналом обнаруживается, что часть информации может отсутствовать или быть неполной. По стоимости GD32

рассматривается как бюджетный вариант с большим объемом памяти, ориентированный на работу в нормальных (не экстремальных) условиях.

Таблица 1 – Сравнение производителей

	Texas Instruments	STMicroelectronics	NXP	Миландр	GigaDevice
Периферия	***	***	***	**	***
АЦП	**	***	**	***	***
DMA	**	***	**	**	**
Инструменты разработчика	***	***	***	**	**
Платы от разработчика	—	***	—	*	*
Цена	***	***	**	**	*
Доступность в РФ	—	—	—	***	***

Примечания:

*: узкий ассортимент/преобладание недостатков/низкая цена;

** : средний ассортимент/есть так и недостатки, так и преимущества/средняя стоимость;

***: широкий ассортимент/преобладание преимуществ/высокая стоимость.

Проведен анализ современной аппаратной учебной базы. Было рассмотрено оборудование от производителей Texas Instruments, GigaDevice, STMicroelectronics, а также от партнеров-поставщиков учебного оборудования.

Платы от производителей имеют низкую стоимость, в отличие от специализированного оборудования, но они не обладают достаточными набором периферии, и большинство из них недоступно на территории РФ (пример STM32).

Оборудование от партнеров-поставщиков имеет богатый набор периферии, в комплектации имеется руководства пользователя, а также методические указания для лабораторных работ. Недостатками являются высокая стоимость оборудования, отсутствие модульности и универсальности использования. Самыми популярными микроконтроллерами для стендов являются STM32 и ATmega32. Это говорит о малом спектре выбора для изучения программирования и проектирования встраиваемых систем с использованием микроконтроллеров.

Поэтому было принято решения создания собственного оборудования на основе архитектуры микроконтроллера GD32.

Структурная схема разработанного стенда представлена на рисунке 1.

Для подключения к сетям Wi-Fi и Bluetooth в состав устройства включены соответствующие модули. Для измерения параметров окружающей среды используются датчики температуры, влажности и давления. Отображение информации обеспечивается графическим и текстовыми дисплеями. Сенсорная клавиатура обеспечивает ввод информации на локальном пульте управления. Хранение больших объемов данных возможно с использованием flash носителя, которых подключается через интерфейс SPI при помощи разъема microSD. Для определения положения стенда в пространстве используется 3D-акселерометр, который позволяет измерять негравитационное ускорение, по которому рассчитывается изменение положение устройства. В качестве исполнительного устройства в состав стенд включен сервопривод, управление которым осуществляется при помощи широтно-импульсной модуляции. Сигналами управления исполнительными механизмами являются выходные сигналы потенциометра и джойстика. Для бесконтактного считывания информации с пластиковых карт в лабораторный стенд включен RFID модуль.

Для взаимодействия со всеми периферийными модулями стенда было разработано программное и методическое обеспечение. ПО построено по модульному принципу и

включает в себя драйверы всех устройств, входящих в стенд. Для освоения стенда разработано API с полным описанием всех функций.

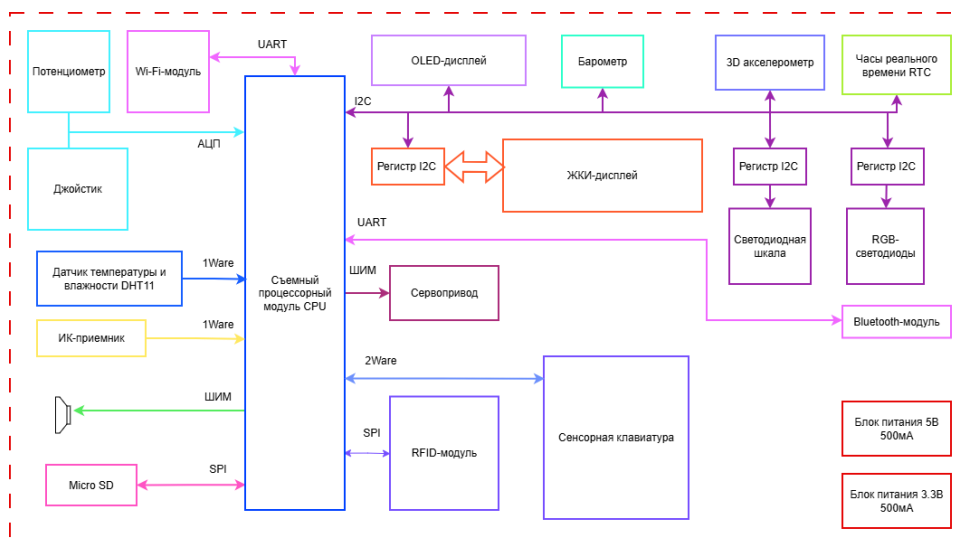


Рисунок 1 – Структурная схема

На рисунке 2 представлен итоговый лабораторный стенд.

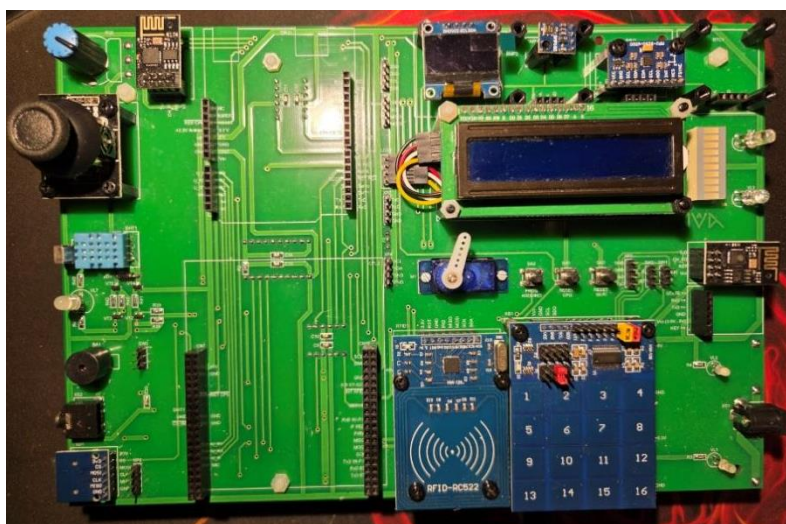


Рисунок 2 – Лабораторный стенд

Лабораторный стенд обеспечивает:

- подключение периферийных модулей по аналоговым цифровым интерфейсам;
- измерение входных напряжений в диапазоне от 0 до напряжения питания;
- определения положения исполнительного механизма;
- измерение температуры влажности, давления;
- поддержку приема команд в инфракрасном диапазоне;
- передачу данных по протоколу Bluetooth, Wi-Fi;
- отображение информации графических и текстовых дисплеях;
- измерения ускорений;
- отображение информации на светодиодной шкале, включение RGB индикатор;
- управление сервоприводом;
- считывание информации с RFID-меток и сенсорной клавиатуры;
- поддержку коммуникационных протоколов: I2C, SPI, USB, UART;
- модульный принцип подключения компонентов.

Такой богатый набор периферии и модульный принцип построения позволяют легко модернизировать стенд, расширяя его функционал за счет подключение новых устройств.

Разработанное методическое программное обеспечение позволит быстро и эффективно обучать слушателей, использовать его не только при подготовке бакалавров и магистров, но и при проведении курсов повышения квалификации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глобальный 32-битный рынок микроконтроллеров по применению (потребительская электроника, автомобильная), технология (аналоговая интеграция, встроенные системы), по конечным пользователям (профессиональные пользователи, аэрокосмическая и защита), по компоненту (тип памяти, архитектура микроконтроллера), по каналу дистрибуции (прямые продажи, дистрибьюторы), географические приспособления и для получения экологической. – Текст: электронный // Verified Market Reports: [сайт]. – URL: <https://www.verifiedmarketreports.com/ru/about-us/> (дата обращения: 15.04.2026).
2. 32-bit Microcontrollers (MCUs). – Текст: электронный // GigaDevice : [сайт]. – URL: <https://www.gigadevice.com/product/mcu> (дата обращения: 15.04.2026).
3. Carmine, Noviello Mastering STM32 / Noviello Carmine. –: Leanpub, 2018. – 826 с. – Текст: непосредственный.
4. Микроконтроллеры GIGADEVICE. Инструкция по освоению. – Текст: электронный // ЭЛТЕХ: [сайт]. – URL: <https://www.eltech.spb.ru/about> (дата обращения: 15.04.2026).

Литвин Софья Александровна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: 1645866@bsuedu.ru

УДК 004.89

*Научный руководитель:
Лазарев Сергей Александрович,
доцент кафедры информационных
и робототехнических систем,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

М.Е. МАМАТОВ, И.К. ПОЛЬЩИКОВ, О.А. ШЕВЧЕНКО
M.E. MAMATOV, I.K. POLSHCHIKOV, O.A. SHEVCHENKO

**СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ
ПАРАМЕТРАМИ ФОРМИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ
В БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ МОНИТОРИНГА ДИКИХ ЖИВОТНЫХ
DECISION SUPPORT SYSTEM FOR SIGNAL
GENERATING PARAMETERS CONTROL
IN A WIRELESS WILDLIFE MONITORING NETWORK**

Предложена схема системы поддержки принятия решений при управлении параметрами формирования сигналов в сети мониторинга диких животных, функционирующей на основе интернета вещей. Проведены вычислительные эксперименты, результаты которых показали, что использование предложенной системы может обеспечить существенное снижение энергопотребления в процессе мониторинга диких животных по сравнению с применением существующих средств управления параметрами формирования сигналов в сети интернета вещей.

Ключевые слова: интернет вещей, мониторинг диких животных, поддержка принятия решений, формирование сигналов, беспроводная сеть.

A decision support system for signal generation parameters control in a wildlife monitoring network based on the Internet of Things is proposed. Computational experiments have shown that the proposed system can significantly reduce energy consumption during wildlife monitoring compared to existing IoT signal generation parameters control tools.

Keywords: Internet of Things, wildlife monitoring, decision support, signal generation, wireless network.

Использование современных цифровых технологий позволяет решать задачи обнаружения и мониторинга объектов в самых различных сферах [1–9]. В этих целях успешно применяется стандарт интернета вещей LoRaWAN, использование которого позволяет обеспечить энергоэффективную беспроводную передачу коротких сообщений на значительные расстояния [10; 11]. Имеется необходимость совершенствования процесса выбора таких значений параметров SF (коэффициента расширения спектра) и $TXPower$ (мощности передачи сигналов), при которых обеспечивается требуемая вероятность доставки сообщений при минимизации энергопотребления оконечных LoRaWAN-устройств. Это приобретает ключевую значимость в процессе удаленного мониторинга диких животных, т.к. способствует своевременному и адекватному реагированию на состояние здоровья, местоположение и поведение контролируемых особей, а также увеличению срока службы элементов электропитания сетевых сенсорных устройств.

Разработана система поддержки принятия решений о выборе значений параметров формирования сигналов в IoT-сети мониторинга диких животных, схема которой представлена на рисунке. Предполагается, что система будет функционировать следующим образом. Сенсорные оконечные устройства, подключенные к IoT-сети мониторинга диких животных и размещенные на контролируемых особях, передают телеметрические данные в виде LoRaWAN-сигналов через шлюзы на сервер, с которым непосредственно взаимодействует предлагаемая система. В состав системы поддержки принятия решений входят шесть модулей, показанные на рисунке. Сигналы восходящих кадров, принимаемые шлюзами, поступают на модуль измерения мощности сигнала на выходе радиоканала. С

выхода этого модуля измеренное значение мощности принимаемого сигнала $RPower$ поступает в модуль оценивания затухания сигнала, в котором на основе имеющихся данных о значениях мощности передачи сигнала $TXPower$ вычисляется величина затухания сигнала SA . Данные о значениях величины SA передаются в модуль оценивания энергопотребления оконечных устройств и модуль оценивания вероятности доставки сообщений. В этих модулях с учетом значений $TXPower$ и коэффициента расширения спектра SF вычисляются величины $EnCon$ (энергопотребление) и PDM (вероятность доставки сообщения), данные о которых затем подаются в модуль выбора рекомендуемых значений параметров формирования сигналов. В этом модуле выбираются такие значения $SFRec$ (рекомендуемое расширение спектра) и $TXPowerRec$ (рекомендуемая мощность передатчика), при которых выполняются условия:

$$PDM \geq GPDM, \quad (1)$$

$$EnCon \rightarrow \min, \quad (2)$$

где $GPMD$ – минимально допустимое значение вероятности доставки сообщения.

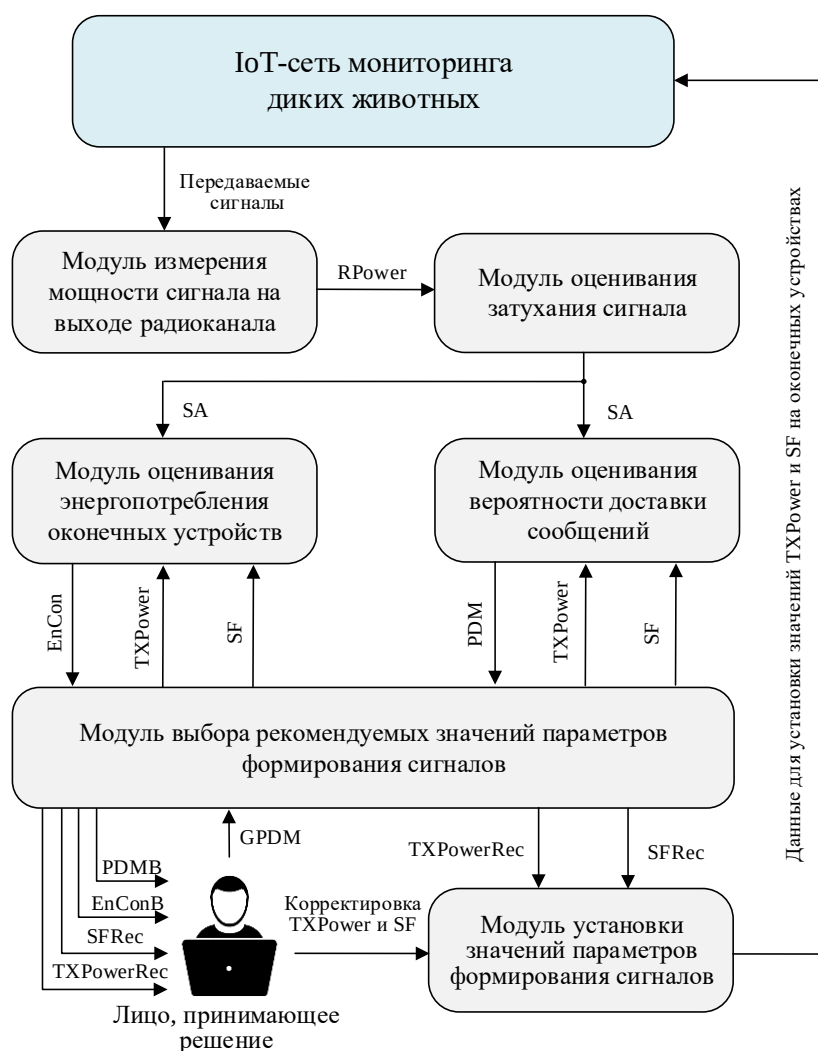


Рисунок – Схема системы поддержки принятия решений

Значения этих величин подаются в модуль установки значений параметров формирования сигналов, а также вместе с текущими значениями расчетных величин вероятности доставки сообщения $PDMB$ и энергопотребления оконечных устройств $EnConB$ с помощью предусмотренного интерфейса выдаются лицу, принимающему решения. Это лицо,

обладая опытом и квалификацией, имеет возможность при необходимости скорректировать значения параметров $TXPower$ и SF , которые будут установлены на конечном устройстве. Далее рекомендуемые значения коэффициента расширения спектра и мощности передатчика с помощью сообщений, формируемых сервером, передаются в IoT-сеть для установки на соответствующем конечном устройстве.

Получены результаты моделирования, показывающие, что использование предложенной системы может обеспечить существенное снижение энергопотребления в процессе мониторинга диких животных по сравнению с применением существующих средств управления параметрами формирования сигналов в сети интернета вещей.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-21-00431, <https://rscf.ru/project/25-21-00431/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Джамил, К.Д.К. Модель передачи видеопотоков в летающей беспроводной самоорганизующейся сети / К.Д.К. Джамил, Р.В. Лихошерстов, К.А. Польщиков // Экономика. Информатика. – 2022. – Т. 49, № 2. – С. 403–415.
2. Модель доставки сообщений в процессе управления выпасом животных на основе применения сети интернета вещей и беспилотного летательного аппарата / Д.К.Д. Карви, К.А. Польщиков, М.Е. Маматов, Д.А. Голдобин // Экономика. Информатика. – 2025. – Т. 52, № 1. – С. 227-238.
3. Polschikov, K. The methodology of modeling available for data traffic bandwidth telecommunications network / K. Polschikov, S. Olexij, N. Rvachova // Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science – Proceedings of the 10th International Conference, TCSET'2010, Lviv-Slavske, 23–27 февраля 2010 года. – Lviv-Slavske, 2010. – P. 158.
4. An algorithm for controlling the transmission of video streams in a flying ad hoc network / S.M.M Alghazali, W.K.M. Aljeazna, M.N. Rasol [et al.] // IAES International Journal of Artificial Intelligence. – 2025. – Vol. 14, No. 5. – P. 4290.
5. Балакшин, МС. Оценивание характеристик доставки данных в системе промышленного Интернета вещей / М.С. Балакшин, К.А. Польщиков // Современные наукоемкие технологии. – 2024. – № 8. – С. 35-40.
6. Clusters partition algorithm for a self-organizing map for detecting resource-intensive database inquiries in a geo-ecological monitoring system / T.N. Mahdi, J.Q. Jameel, K.A. Polshchikov [et al.] // Periodicals of Engineering and Natural Sciences. – 2021. – Vol. 9, No. 4. – P. 1138–1145.
7. Estimating the Message Delivery Probability Without Duplication in an Industrial Internet of Things Network System / M.J. Yaser, D. Abdullateef, K.A. Polshchikov, M.S. Balakshin // Journal of Advances in Information Technology. – 2025. – Vol. 16, No. 6. – P. 830-837.
8. Intelligent Control for Video Broadcasting in Flying Ad Hoc Networks: A Simulation Study / A.A.O. Al-Shamkhee, M.D.H. Almawlawe, K.A. Polshchikov, R.V. Likhosherstov // The Eurasia Proceedings of Science, Technology, Engineering & Mathematics (EPSTEM). – 2025. – Vol. 37. – P. 141-149.
9. The usage of the mobile ad-hoc networks in the construction industry / I. Konstantinov, K. Polshchikov, S. Lazarev, O. Polshchikova // Application of Information and Communication Technologies, AICT 2016 – Conference Proceedings: 10, Baku, 12–14 октября 2016 года. – Baku, 2016. – P. 7991741.
10. Ясир, М.Д.Я. Модель доставки сообщения в сенсорной сети с низким энергопотреблением / М.Д.Я. Ясир, К.А. Польщиков, В.И. Федоров // Экономика. Информатика. – 2023. – Т. 50, № 2. – С. 439-447.

11. Yaser, M. Ja. Algorithm for ensuring the minimum power consumption of the end node in the LoRaWAN network / M.Ja. Yaser, K.A. Polshchykov, I.K. Polshchikov // Periodicals of Engineering and Natural Sciences. – 2023. – Vol. 11, No. 4. – P. 168-174.

Маматов Михаил Евгеньевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Аспирант кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: 1333190@bsuedu.ru

Польщиков Илья Константинович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: ilia.polshchikov@gmail.com

Шевченко Олеся Александровна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Аспирант кафедры прикладной информатики и информационных технологий

E-mail: shevchenko_oa@bsuedu.ru

УДК 004.89

*Научный руководитель:
Лазарев Сергей Александрович,
доцент кафедры информационных
и робототехнических систем,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

В.А. МАРТЫНОВ, М.О. ТЕРСКИЙ, Е.В. ИГИТЯН
V.A. MARTYNOV, M.O. TERSKIY, E.V. IGITYAN

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В СЕТИ УЗКОПОЛОСНОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

SIMULATION MODELING OF DATA TRANSMISSION IN THE NARROWBAND INTERNET OF THINGS NETWORK

В статье исследуется проблема обеспечения высоконадежной связи для автономных устройств интернета вещей в условиях существенного затухания радиосигнала, характерного для подземных выработок и шахт. Результаты имитационного моделирования подтвердили целесообразность использования многократных повторений, передаваемых данных на физическом уровне. Разработан алгоритм динамической адаптации числа повторений позволил сократить среднее количество повторных передач и снизить энергопотребление сетевых устройств.

Ключевые слова: узкополосный интернет вещей, затухание сигнала, энергопотребление, OMNeT++, NB-IoT.

This article examines the problem of ensuring highly reliable communication for autonomous IoT devices under conditions of significant radio signal attenuation, typical of underground workings and mines. Simulation results confirmed the feasibility of using multiple repetitions of transmitted data at the physical layer. An algorithm for dynamically adapting the number of repetitions has been developed, reducing the average number of retransmissions and lowering the power consumption of network devices.

Keywords: narrowband IoT, signal attenuation, power consumption, OMNeT++, NB-IoT.

Развитие индустрии 4.0 и внедрение систем промышленного интернета вещей требует создания надежной телекоммуникационной инфраструктуры [1–5]. Главной задачей при этом является обеспечения связью автономные телеметрические датчики для их корректной работы. Зачастую такие датчики функционируют в экстремальных условиях, что приводит к существенному затуханию сигнала [6–10]. Для решения этой задачи можно использовать стандарт узкополосного интернета вещей (Narrowband IoT, NB-IoT), особенностью которого является использование «слепых повторений». Это позволяет базовой станции накапливать энергию сигнала, повышая его качество.

Популярные среды симуляции не обладают встроенной поддержкой когерентного сложения слепых повторений на физическом уровне радиоканала. Кроме того, жесткая фиксация 64 или 128 повторений приводит к неоправданному истощению ограниченного ресурса батарей автономных IoT-узлов в моменты кратковременного улучшения качества канала. Целью данной работы является разработка и программная реализация модифицированной имитационной модели физического уровня сети NB-IoT, а также проектирование энергоэффективного алгоритма динамической адаптации канала для повышения надежности доставки данных в условиях сильной деградации сигнала.

Исследование сети осуществлялась в среде дискретно-событийного моделирования OMNeT++ с использованием расширения Simu5G, которое предоставляет детализированные модели физического и канального уровней сотовых сетей. Виртуальная среда NBIotNetwork имитирует условия подземной выработки и включает в себя базовую станцию eNodeB; ядро сети оператора: шлюз PGW и маршрутизатор Router; сервер сбора телеметрических данных, на котором запущено приложение UdpSink. В качестве конечных узлов выступают 20 автономных IoT-датчиков, модули оконечных устройств, размещенных на различных дистанциях от базовой станции (до 2 километров) для оценки предела дальности связи.

Датчики используют приложение UdpBasicApp для генерации типового IoT-трафика – небольших пакетов размером 50 байт.

Поскольку базовая реализация библиотеки Simu5G не поддерживает когерентное накопление энергии от «слепых повторений», потребовалась модификация исходного C++ кода физического уровня. В класс модели радиоканала `LteRealisticChannelModel.cc` был внедрен расчет математического выигрыша от обработки `Processing Gain`. В структуру отправляемого пакета `LteAirFrame` была добавлена метка `blindRepetitions`, содержащая количество заявленных слепых повторений.

На рисунке 1 наглядно продемонстрирована проблема деградации радиоканала в сложных условиях распространения волн. Кривая показывает, как эффекты быстрого замирания и затенения создают глубокие «радио-ямы». В этих зонах отношение сигнал/шум резко падает ниже критического порога, в данной модели -8 дБ, что в стандартных сетях приводит к отбрасыванию пакетов. Внедренный математический расчет выигрыша от слепых повторений позволяет компенсировать эти провалы на физическом уровне.

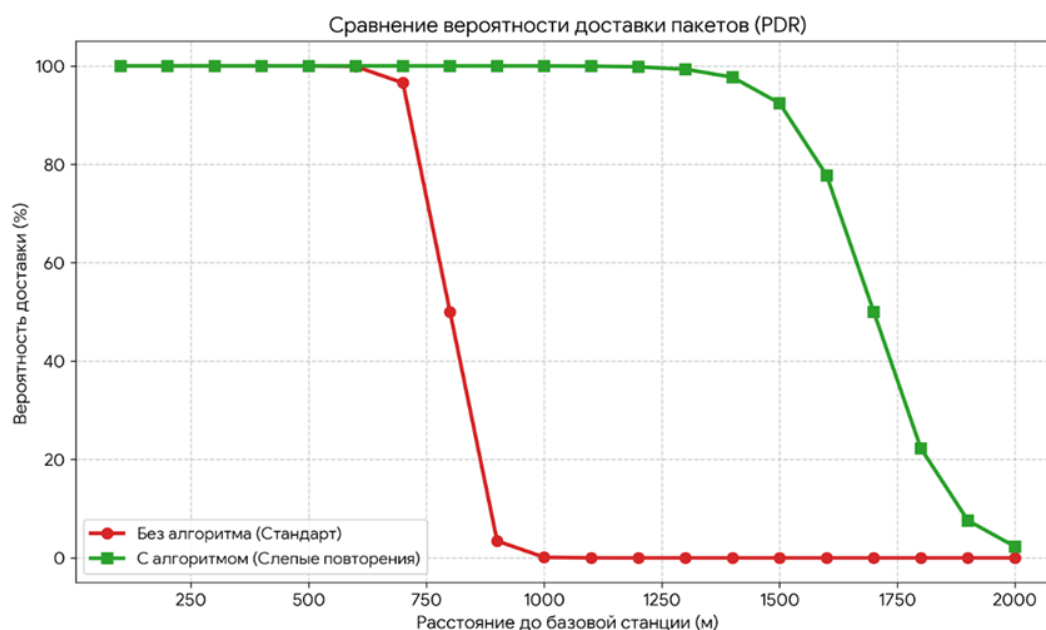


Рисунок 1 – Зависимость отношения сигнал/шум (SINR) от расстояния до базовой станции

Данный подход позволил корректно симитировать процесс когерентного сложения сигнала в приемнике до +24 дБ и выше, без необходимости ресурсоемкой генерации тысяч физических дубликатов пакета в симуляторе.

Для максимизации энергоэффективности автономных датчиков и увеличения срока службы их батарей, в файл управления радиомодулем устройства `LtePhyUe.cc` был встроен эвристический алгоритм автоматического выбора уровней расширения покрытия (`Coverage Enhancement Level Selection`). Работа алгоритма разбита на два этапа:

- 1) при первой попытке выхода в эфир датчик не имеет информации о затухании в подземном тоннеле, поэтому первый пакет отправляется с максимальным числом повторений;
- 2) при получении первого подтверждения от базовой станции устройство анализирует фактическое качество связи в нисходящем канале.

Для обеспечения стабильного соединения в модели установлен целевой порог `Target` на уровне 10.0. Для того чтобы дать возможность датчикам передавать пакеты в ответ на базовую станцию, датчику добавляется константа `Penalty`, которая равна 13.0 дБ, так как мощность базовой станции равна 46 дБм, против 20 дБм у датчика. Необходимое количество повторений считается по обратной логарифмической функции, полученное значение округляется до ближайшего числа кратному двум, интервал варьируется от 32 до 256. Этот процесс дает

возможность датчикам автоматически определять параметры передачи, избегая проблем с базовой станцией, тем самым уменьшая расход заряда батареи на передачу пакетов.

Тестирование алгоритма в среде имитационного моделирования показало, что усиление сигнала помогает датчикам преодолевать области затухания при отправке пакетов. Потеря подтверждений вынуждала датчики запускать бесконечные циклы необоснованных повторных передач, что приводило к переполнению буферов, возникновению тайм-аутов и масштабному «шторму коллизий» в условиях узкой полосы частот NB-IoT.

Для решения этой проблемы алгоритм накопления энергии был сделан симметричным. В код `LteRealisticChannelModel.cc` было внесено условие: служебным пакетам Downlink, летящим от вышки к датчикам без заявленной метки, принудительно назначается «зеркальный» бонус в +18.0 дБ, эквивалент 64 повторений. Дополнительно, для предотвращения эффекта домино и разгрузки эфира при одновременном пробуждении устройств, жесткое расписание генерации трафика, было заменено на стохастическое. Каждому приложению датчика было назначено равномерное математическое распределение времени старта от 0 до 80 секунд. Совокупность данных архитектурных решений позволила достичь 82,9% коэффициента успешной доставки (PDR) при минимальной нагрузке на эфир.

В ходе первого этапа моделирования оценивалась базовая дальность связи для автономных датчиков мощностью 20 дБм (100 мВт) без применения механизмов расширения покрытия. Результаты симуляции подтвердили, что из-за сильного многолучевого затухания и деструктивной интерференции радиосигнал полностью обрывается на дистанции около 820-830 метров. Датчики, расположенные глубже в шахтах и тоннелях, переходили в режим потери сети, так как уровень принимаемого сигнала падал ниже порога чувствительности базовой станции.

Внедрение эвристического C++ алгоритма внесло изменения в результаты моделирования. Имитация когерентного сложения энергии от слепых повторений дала выигрыш до +24 дБ, позволила успешно декодировать сигналы, уровень которых изначально находился значительно ниже уровня теплового шума, с отрицательным значением SINR. Благодаря этому алгоритму, гарантированный радиус доставки телеметрических пакетов увеличился более чем в 2,5 раза – с базовых 830 метров до 2 километров.

Количественная оценка данного эффекта представлена на графике вероятности успешной доставки (см. рисунок 2). Базовая реализация стандарта NB-IoT без адаптации канала демонстрирует резкий обрыв связи (эффект «водопада») на расстоянии около 800 метров. Применение модифицированного алгоритма со слепыми повторениями позволяет поддерживать надежность доставки, близкую к 100%, на значительно больших расстояниях, сдвигая границу уверенного приема вплоть до 1700–2000 метров.

Для устранения «лавины коллизий» жесткое временное разделение было заменено на стохастическое распределение. Каждому датчику было назначено равномерное математическое распределение времени старта от 0 до 80 секунд, что позволило распределить передачу во времени и предотвратить эффект домино. Дополнительно была решена фундаментальная проблема асимметрии каналов связи. Эксперименты показали, что даже если усиленный сигнал датчика Uplink успешно достигает базовой станции из глубокой радиоямы, служебная квитанция подтверждения в нисходящем канале Downlink теряется из-за многолучевого затухания, так как отправляется без слепых повторений.

Для восстановления симметричности в модель канала `LteRealisticChannelModel.cc` был встроен механизм принудительного «зеркального» бонуса +18.0 дБ для служебных сообщений от базовой станции. При совмещении стохастического таймера и симметричного расширения покрытия, PDR поднялся до 82,9%.

Важнейшим результатом работы стала оптимизация расхода ресурса батарей автономных IoT-устройств с помощью алгоритма адаптивного выбора уровня CE Link Adaptation, в отличие от статического подхода, при котором всем датчикам жестко задаются 128-256 повторений устройство дополнительно расходовало энергию, разработанный алгоритм действует по принципу Open-Loop Power Control.

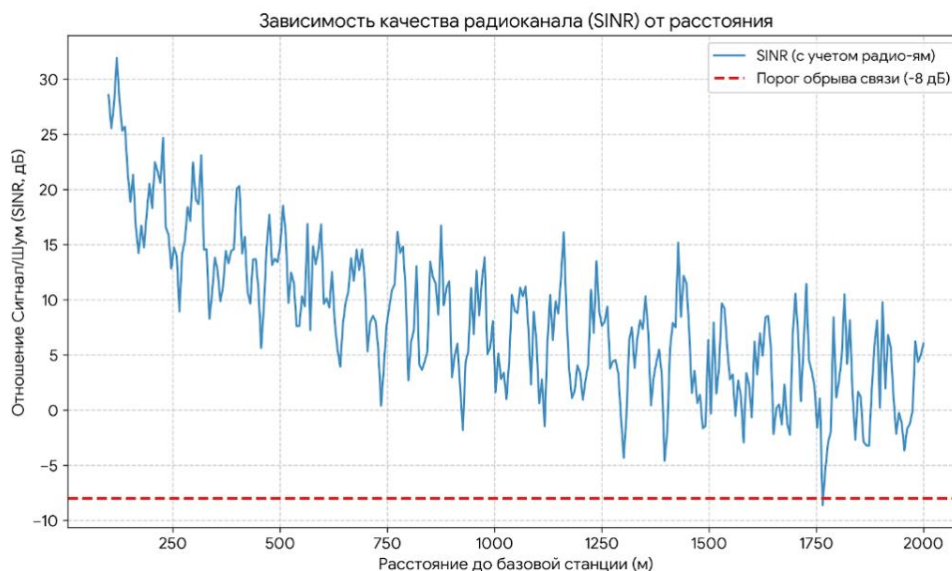


Рисунок 2 – Сравнительный анализ вероятности успешной доставки пакетов (PDR)

Оценка энергетической эффективности предложенного подхода (см. рисунок 3) демонстрирует существенное преимущество динамического алгоритма над статическим. Вместо жестко заданного максимального количества передач, характерного для статического подхода, разработанная модель интеллектуально подбирает минимально необходимое число повторений на основе оценки качества канала. Как видно из гистограммы, это позволяет снизить среднее количество отправляемых копий на один пакет в несколько раз, что радикально увеличивает срок службы автономных источников питания IoT-устройств

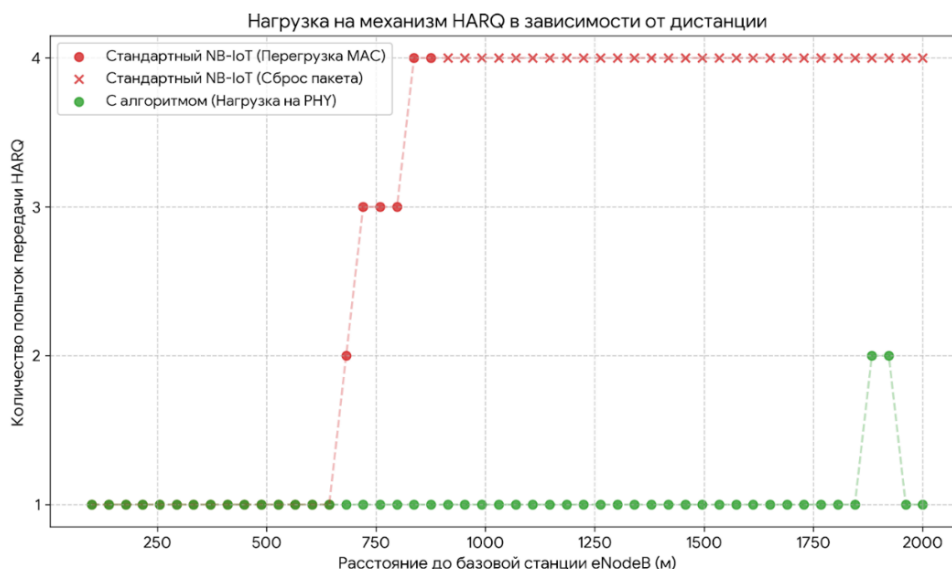


Рисунок 3 – Сравнение оценки затрат энергии статического метода и динамического алгоритма адаптации канала

Таким образом, в результате проведенного имитационного моделирования установлено, что в сложных условиях стандартный механизм стандарта NB-IoT не способен обеспечить надежность связи, так как быстро исчерпывает лимит попыток повторных передач. Внедрение слепых повторений позволило снизить число повторных передач до 1-2. Разработанная модель показала способность противостоять эффекту резкого обрыва связи. Гарантированный радиус доставки телеметрических пакетов увеличился более чем в 2,5 раза,

с 800 до 1700-2000 метров. Эксперименты по симуляции подземной шахты с искусственным штрафом затухания в -30 дБ показали высокий коэффициент успешной доставки, который составил 82,9%. Интеграция разработанного алгоритма динамической адаптации канала решила проблему избыточной траты заряда батарей автономных узлов. Алгоритм в автоматическом режиме подбирает минимально необходимое число повторений. В смоделированном сценарии это позволило снизить среднее количество отправляемых копий на один пакет до 14 (в сравнении с жестко заданными 64 повторениями в статическом методе), что экономит до 78% энергии радиомодуля в режиме передачи. Разработанная имитационная модель и предложенный алгоритм могут быть использованы операторами связи на предприятиях горнодобывающей промышленности и других объектах со сложными условиями распространения радиоволн.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-21-00431, <https://rscf.ru/project/25-21-00431/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Polschikov, K. The methodology of modeling available for data traffic bandwidth telecommunications network / K. Polschikov, S. Olexij, N. Rvachova // Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science – Proceedings of the 10th International Conference, TCSET'2010, Lviv-Slavske, 23–27 февраля 2010 года. – Lviv-Slavske, 2010. – P. 158.
2. Модель доставки сообщений в процессе управления выпасом животных на основе применения сети интернета вещей и беспилотного летательного аппарата / Д.К.Д. Карви, К.А. Польщиков, М.Е. Маматов, Д.А. Голдобин // Экономика. Информатика. – 2025. – Т. 52, № 1. – С. 227-238.
3. Джамил, К.Д.К. Модель передачи видеопотоков в летающей беспроводной самоорганизующейся сети / К.Д.К. Джамил, Р.В. Лихошерстов, К.А. Польщиков // Экономика. Информатика. – 2022. – Т. 49, № 2. – С. 403–415.
4. Intelligent Control for Video Broadcasting in Flying Ad Hoc Networks: A Simulation Study / A.A.O. Al-Shamkhee, M.D.H. Almawlawe, K.A. Polshchikov, R.V. Likhosherstov // The Eurasia Proceedings of Science, Technology, Engineering & Mathematics (EPSTEM). – 2025. – Vol. 37. – P. 141-149.
5. Балакшин, МС. Оценивание характеристик доставки данных в системе промышленного Интернета вещей / М.С. Балакшин, К.А. Польщиков // Современные наукоемкие технологии. – 2024. – № 8. – С. 35-40.
6. Clusters partition algorithm for a self-organizing map for detecting resource-intensive database inquiries in a geo-ecological monitoring system / T.N. Mahdi, J.Q. Jameel, K.A. Polshchikov [et al.] // Periodicals of Engineering and Natural Sciences. – 2021. – Vol. 9, No. 4. – P. 1138–1145.
7. Ясир, М.Д.Я. Модель доставки сообщения в сенсорной сети с низким энергопотреблением / М.Д.Я. Ясир, К.А. Польщиков, В.И. Федоров // Экономика. Информатика. – 2023. – Т. 50, № 2. – С. 439-447.
8. An algorithm for controlling the transmission of video streams in a flying ad hoc network / S.M.M Alghazali, W.K.M. Aljeazna, M.N. Rasol [et al.] // IAES International Journal of Artificial Intelligence. – 2025. – Vol. 14, No. 5. – P. 4290.
9. The usage of the mobile ad-hoc networks in the construction industry / I. Konstantinov, K. Polshchikov, S. Lazarev, O. Polshchikova // Application of Information and Communication Technologies, AICT 2016 – Conference Proceedings: 10, Baku, 12–14 октября 2016 года. – Baku, 2016. – P. 7991741.
10. Yaser, M. Ja. Algorithm for ensuring the minimum power consumption of the end node in the LoRaWAN network / M.Ja. Yaser, K.A. Polshchikov, I.K. Polshchikov // Periodicals of Engineering and Natural Sciences. – 2023. – Vol. 11, No. 4. – P. 168-174.

11. Estimating the Message Delivery Probability Without Duplication in an Industrial Internet of Things Network System / M.J. Yaser, D. Abdullateef, K.A. Polshchykov, M.S. Balakshin // Journal of Advances in Information Technology. – 2025. – Vol. 16, No. 6. – P. 830-837.

Мартынов Владимир Александрович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Аспирант кафедры прикладной информатики и информационных технологий

E-mail: vladimirred333@mail.ru

Терский Максим Олегович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Аспирант кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: maxbox4job@mail.ru

Игитян Елена Владимировна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Старший научный сотрудник соглашения РНФ №25-21-00431

E-mail: medvedeva_e@bsuedu.ru

УДК 004.45:656.073

*Научный руководитель:
Подпругина Ирина Вячеславовна,
старший преподаватель кафедры
прикладной информатики
и информационных технологий,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

В.А. МАТВЕЕНКО, А.И. ПОДПРУГИН
V.A. MATVEENKO, A.I. PODPRUGIN

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ
ДЛЯ ВЕТЕРИНАРНОЙ КЛИНИКИ С УЧЕТОМ ТРЕБОВАНИЙ
ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

**DESIGN AND MODELING OF A TELECOMMUNICATION NETWORK
FOR A VETERINARY CLINIC TAKING INTO ACCOUNT INFORMATION
SECURITY REQUIREMENTS**

В статье рассматривается процесс проектирования и моделирования защищенной телекоммуникационной сети для ветеринарной клиники. Проведен анализ требований к сетевой инфраструктуре с учетом необходимости обработки персональных данных и врачебной тайны. Разработана логическая и физическая схема сети с применением технологии виртуальных локальных сетей (VLAN) для разграничения трафика функциональных зон учреждения. Выполнено моделирование сети в среде Cisco Packet Tracer, включающее настройку коммутаторов, маршрутизатора и проверку связности между сегментами. Приведены схемы расположения оборудования, таблицы распределения IP-адресации и результаты тестирования работоспособности спроектированной инфраструктуры.

Ключевые слова: телекоммуникационная сеть, информационная безопасность, ветеринарная клиника, VLAN, Cisco Packet Tracer, моделирование сети, IP-адресация

The article discusses the process of designing and modeling a secure telecommunication network for a veterinary clinic. An analysis of the requirements for network infrastructure was conducted, taking into account the need to process personal data and medical confidentiality. A logical and physical network diagram was developed using Virtual Local Area Network (VLAN) technology to segment the traffic of the institution's functional zones. Network modeling was performed in the Cisco Packet Tracer environment, including the configuration of switches, a router, and verification of connectivity between segments. Equipment layout diagrams, IP addressing distribution tables, and test results of the designed infrastructure's operability are provided.

Keywords: telecommunication network, information security, veterinary clinic, VLAN, Cisco Packet Tracer, network modeling, IP addressing.

В современных условиях цифровизации бизнес-процессов ветеринарная клиника представляет собой технологически насыщенную организацию, эффективность работы которой напрямую зависит от надежности и безопасности информационной инфраструктуры. Грамотная разработка телекоммуникационной сети объединяет в единую систему рабочие компьютеры, серверное и сетевое оборудование, диагностические устройства из операционного кабинета и точки беспроводного доступа для внутренних пользователей и посетителей. Как отмечается в современной учебной литературе, проектирование компьютерных сетей представляет собой комплексный процесс, включающий разработку физической и логической структуры, выбор качественного оборудования и определение политик безопасности, обеспечивающих защиту передаваемых данных [1].

Особую актуальность задача обеспечения информационной безопасности приобретает в связи с тем, что ветеринарная клиника обрабатывает персональные данные владельцев животных (фамилии, адреса, телефоны) и медицинскую информацию о питомцах, которая по

сути является врачебной тайной. В соответствии с Федеральным законом № 152-ФЗ «О персональных данных», проектируемая сеть должна обеспечивать конфиденциальность, целостность и доступность данных. Вопросам защиты информации в подобных системах посвящены работы, рассматривающие современные угрозы и методы противодействия им на этапе проектирования инфраструктуры [2]. Целью работы является проектирование логической структуры сети, обеспечивающей сегментирование трафика для защиты критически важной информации, и моделирование ее работоспособности в симуляционной среде.

При выполнении работы использованы методы системного анализа и структурного проектирования сетей. Моделирование выполнялось в приложении Cisco Packet Tracer, что позволило детально воспроизвести этапы настройки оборудования и проверить корректность архитектурных решений. Для логического разделения трафика применена технология виртуальных локальных сетей (VLAN) на базе стандарта IEEE 802.1Q, описанная в актуальных руководствах по сетевым технологиям [4].

Реализация поставленных требований начинается с построения физической схемы помещения ветеринарной клиники.

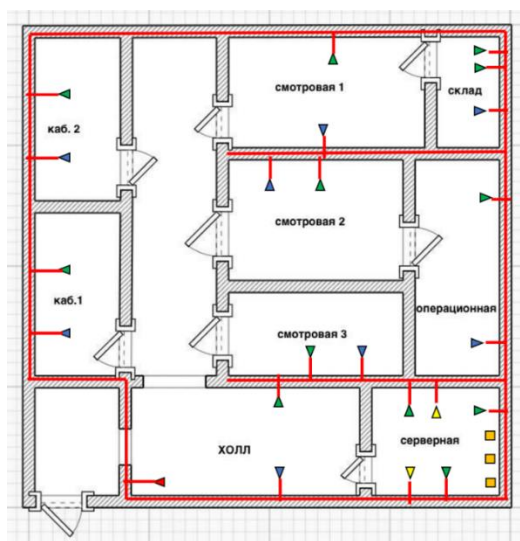


Рисунок 1 – Физическая схема сети для ветеринарной клиники

Расположение помещений важно учитывать при прокладке горизонтальной подсистемы структурированной кабельной системы для обеспечения подключений всех рабочих станций, медицинского оборудования и точек доступа. Основы построения таких систем подробно изложены в специализированных изданиях [3].

На рисунке 1 показан план первого этажа отдельно стоящего здания, занимаемого клиникой. В ее состав входят: холл с регистратурой, три смотровые комнаты, операционная, административный и лабораторный кабинет, серверная и склад.

На основе физического плана и с учетом функционального назначения помещений была разработана логическая схема сети, которая представлена на рисунке 2.

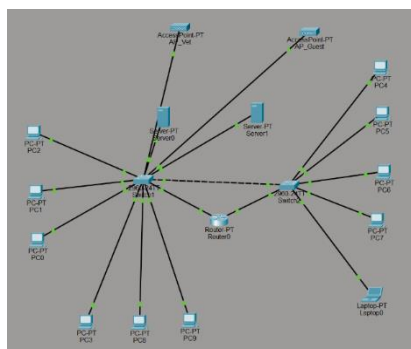


Рисунок 2 – Логическая схема сети для ветеринарной клиники

При разработке схемы учитывались методические рекомендации по проектированию сетей передачи данных для организаций [6].

Для наглядного представления сетевой инфраструктуры используются стандартизированные условные обозначения (рис. 3).

№ п/п	Обозначение	Наименование
1	▲	Однопортовая розетка
2	▲	Двухпортовая розетка
3	▲	Кабель оконечный для Wi-Fi
4	▲	Сервер
5	■	Коммутационный шкаф

Рисунок 3 – Условные обозначения

Однопортовые и двухпортовые розетки обозначают места подключения рабочих станций. Коммутационный шкаф указывает на место размещения активного сетевого оборудования – коммутаторов и маршрутизаторов. Сервер обозначает вычислительное оборудование, на котором развернуты базы данных и службы каталога.

Применение технологии VLAN позволяет организовать сеть таким образом, что трафик административного и лабораторного кабинетов, смотровых комнат, операционной, серверной и гостевой Wi-Fi-сети не пересекается между собой на канальном уровне. Даже физически проходя по одним и тем же коммутаторам и кабельным трассам, эти потоки данных остаются изолированными, что существенно повышает уровень безопасности. Современные подходы к сегментированию сетей детально разбираются в учебных пособиях по проектированию информационных сетей [7]. В таблице 1 приведено распределение IP-подсетей и шлюзов для каждой функциональной зоны клиники (табл. 1.).

Таблица 1 – Распределение IP-подсетей и шлюзов для каждой функциональной зоны клиники

VLAN	Назначение	IP-сеть	Шлюз
2	Администрация	192.168.2.0/24	192.168.2.1
3	Регистратура	192.168.3.0/24	192.168.3.1
5	Ветврачи	192.168.5.0/24	192.168.5.1
6	Операционная	192.168.6.0/24	192.168.6.1
7	Серверная	192.168.7.0/24	192.168.7.1
10	Гостевая беспроводная сеть	192.168.10.0/24	192.168.10.1
14	Склад	192.168.14.0/24	192.168.14.1

Для проверки предложенной архитектуры выполнено моделирование в Cisco Packet Tracer. Методика проведения лабораторных работ в данной среде, включая настройку VLAN и маршрутизации, рассматривается в специализированных учебно-методических материалах [8, 10].

Настройка маршрутизатора Router0 выполнялась в командной строке, процесс конфигурации представлен на рисунке 4. На физических интерфейсах FastEthernet 0/0 и FastEthernet 1/0 были созданы логические субинтерфейсы с инкапсуляцией IEEE 802.1Q и назначены IP-адреса шлюзов для каждой VLAN согласно таблице 1.

Корректность настройки маршрутизатора подтверждается выводом команды «show ip interface brief». Все логические субинтерфейсы находятся в активном состоянии с назначенными IP-адресами, что свидетельствует о готовности устройства к маршрутизации между VLAN.


```
Router0>show ip interface brief
Interface      IP-Address      OK? Method Status      Protocol
FastEthernet0/0 unassigned      YES unset   up          up
FastEthernet0/0.2 192.168.2.1    YES manual   up          up
FastEthernet0/0.3 192.168.3.1    YES manual   up          up
FastEthernet0/0.7 192.168.7.1    YES manual   up          up
FastEthernet0/0.10 192.168.10.1   YES manual   up          up
FastEthernet0/0.14 192.168.14.1   YES manual   up          up
FastEthernet1/0 unassigned      YES unset   up          up
FastEthernet1/0.5 192.168.5.1    YES manual   up          up
FastEthernet1/0.6 192.168.6.1    YES manual   up          up
Serial2/0 unassigned      YES unset   administratively down down
Serial3/0 unassigned      YES unset   administratively down down
FastEthernet4/0 unassigned      YES unset   administratively down down
FastEthernet5/0 unassigned      YES unset   administratively down down
Router0>
```

Copy

Paste

Рисунок 4 – Состояние интерфейсов маршрутизатора Router0

Конфигурация коммутатора Switch0, обслуживающего административную зону и серверную, приведена на рисунке 5. Порты распределены по VLAN в соответствии с функциональным назначением помещений: VLAN 7 выделен под серверы (Fa0/5-Fa0/6), VLAN 2 – под административные кабинеты (Fa0/1-Fa0/3), VLAN 10 – под гостевой Wi-Fi (Fa0/11).

```
[OK]
Switch0#show vlan brief
VLAN Name                Status Ports
-----
1    default                active Fa0/12, Fa0/13, Fa0/14, Fa0/15
    Fa0/16, Fa0/17, Fa0/18, Fa0/19
    Fa0/20, Fa0/21, Fa0/22, Fa0/23
    Fa0/24, Gig0/2
2    Admin_Cabinets          active Fa0/1, Fa0/2, Fa0/3
3    Hall_Reception           active Fa0/4
5    Vet_Doctors              active Fa0/9
6    Operating                active
7    ServerRoom               active Fa0/5, Fa0/6
10   Guest_WiFi               active Fa0/11
14   Reserved                 active Fa0/7, Fa0/8
1002 fddi-default             active
1003 token-ring-default      active
1004 fddinet-default         active
1005 trnet-default           active
Switch0#
```

Copy

Paste

Рисунок 5 – Конфигурация VLAN на коммутаторе Switch0

Настройка второго коммутатора Switch1, отвечающего за медицинскую зону, отражена на рисунке 6. Порты Fa0/1-Fa0/3 назначены в VLAN 5 для ветеринарных врачей, а порты Fa0/4-Fa0/5 – в VLAN 6 для оборудования операционной, что обеспечивает изоляцию медицинского трафика [5].

```
Switch1#show vlan brief
VLAN Name                Status Ports
-----
1    default                active Fa0/6, Fa0/7, Fa0/8, Fa0/9
    Fa0/10, Fa0/11, Fa0/12, Fa0/13
    Fa0/14, Fa0/15, Fa0/16, Fa0/17
    Fa0/18, Fa0/19, Fa0/20, Fa0/21
    Fa0/22, Fa0/23, Fa0/24, Gig0/2
2    Admin_Cabinets          active
3    Hall_Reception           active
5    Vet_Doctors              active Fa0/1, Fa0/2, Fa0/3
6    Operating                active Fa0/4, Fa0/5
7    ServerRoom               active
10   Guest_WiFi               active
1002 fddi-default             active
1003 token-ring-default      active
1004 fddinet-default         active
1005 trnet-default           active
Switch1#
```

Рисунок 6 – Конфигурация VLAN на коммутаторе Switch1

Конечным устройствам в серверной VLAN 7 были назначены статические IP-адреса. Настройки сервера Server0 (192.168.7.10/24, шлюз 192.168.7.1) и сервера Server1 (192.168.7.11/24) показаны на рисунке 7 соответственно.

Заключительным этапом стала проверка связности между устройствами из разных VLAN. С рабочей станции администратора были успешно выполнены эхо-запросы к серверу (192.168.7.10), компьютеру врача (192.168.5.10), устройству в операционной (192.168.6.10) и складу (192.168.14.10). Потеря первого пакета в каждой сессии объясняется работой протокола ARP и не влияет на работоспособность сети. Время отклика составило менее 1 мс, что подтверждает корректную настройку маршрутизации.

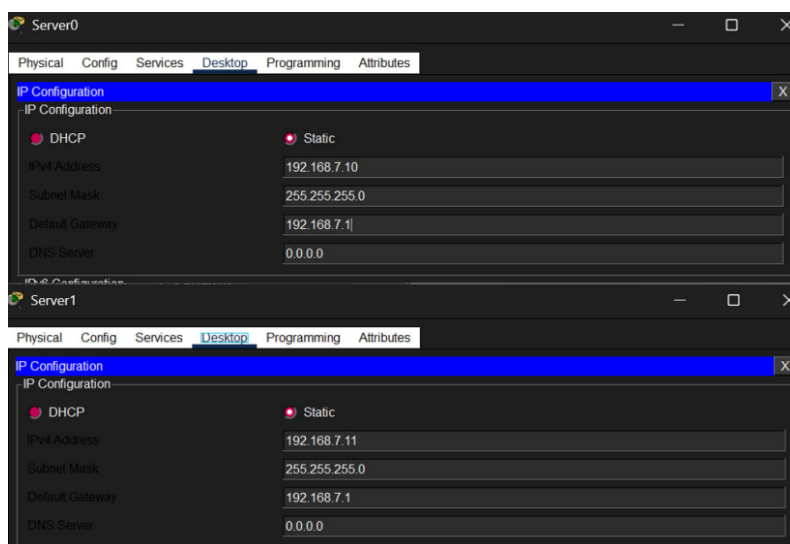


Рисунок 8 – Настройки IP-адресации серверов Server0 и Server1

В результате выполнения работы была спроектирована и смоделирована защищенная телекоммуникационная сеть для ветеринарной клиники [7]. Применение технологии VLAN позволило логически изолировать критически важные сегменты от общедоступного гостевого Wi-Fi и трафика смотровых кабинетов. Моделирование в среде Cisco Packet Tracer подтвердило корректность предложенных архитектурных решений и работоспособность настроек активного сетевого оборудования [8]. Спроектированная модель может быть рекомендована к внедрению в качестве типового решения для малых и средних ветеринарных учреждений, обеспечивая требуемый уровень информационной безопасности [5]. Дальнейшие исследования могут быть направлены на внедрение списков контроля доступа (ACL) для более детальной фильтрации трафика между VLAN.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cisco Networking Academy. Networking Essentials Lab Manual. – 2nd ed. – Indianapolis: Cisco Press, 2023. – 216 p. – ISBN 978-0-13-829372-7.
2. Зенков, А. В. Информационная безопасность и защита информации: учебное пособие для вузов / А. В. Зенков. – Москва: Юрайт, 2023. – 104 с. – ISBN 978-5-534-16388-9.
3. Моделирование локальных вычислительных сетей: методические указания / сост. А. В. Баранов. – Воронеж: ВГТУ, 2023. – 43 с.
4. Нечаев, А. М. Компьютерные сети: учебник и практикум для вузов / А. М. Нечаев [и др.]; под науч. ред. А. М. Нечаева, А. Е. Трубина, А. Ю. Анисимова. – Москва: Юрайт, 2025. – 515 с. – ISBN 978-5-534-21452-9.
5. Олифер, В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: учебное пособие / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – 6-е изд. – Санкт-Петербург: Питер, 2024. – 1008 с. – ISBN 978-5-4461-2356-8.
6. Самарский, П. А. Основы структурированных кабельных систем / П. А. Самарский. – 2-е изд., эл. – Москва: ДМК Пресс, 2023. – 216 с. – ISBN 978-5-89818-567-1.
7. Сорокин, А. А. Проектирование сети передачи данных для крупной организации: учебное пособие / А. А. Сорокин, В. В. Никулин, А. И. Волкова. – Москва, Вологда: Инфра-Инженерия, 2023. – ISBN 978-5-9729-1234-8.
8. Суворова, Г. М. Информационная безопасность: учебное пособие для вузов / Г. М. Суворова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Юрайт, 2024. – 277 с. – ISBN 978-5-534-16460-2.
9. Томилов, И. Н. Информационные сети. Основы проектирования сетей: учебное пособие / И. Н. Томилов, Е. Е. Истратова. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2023.

10. Чернова, Е. В. Информационная безопасность человека: учебное пособие для вузов / Е. В. Чернова. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: Юрайт, 2024. – 327 с. – ISBN 978-5-534-16721-4.

Матвеевко Виолетта Александровна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент инжинирингового колледжа

E-mail: 1685428@bsuedu.ru

Подпругин Александр Ильич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Ассистент кафедры прикладной информатики и информационных технологий

E-mail: podprugin@bsuedu.ru

УДК 004.02

*Научный руководитель:
Пузырев Никита Сергеевич,
ассистент кафедры информационных
и робототехнических систем,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

Д.И. НЕРОНОВ
D.I. NERONOV

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СВОЙСТВ СПЛАВОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ДАННЫХ PREDICTION OF ALLOY PROPERTIES USING INTELLIGENT DATA ANALYSIS METHODS

В статье рассматривается процесс прогнозирования свойств сплавов с использованием интеллектуальных методов анализа данных. Особое внимание уделено применению алгоритмов машинного обучения при анализе химического состава, параметров термической обработки и эксплуатационных характеристик сплавов. Раскрыта роль интеллектуальных методов в выявлении скрытых зависимостей между признаками материала и его свойствами. Также показаны особенности проектирования системы, включающей модули загрузки, подготовки и анализа данных, а также пользовательский интерфейс. Сделан вывод о высокой практической значимости подобных решений для инженерной и производственной сферы.

Ключевые слова: сплавы, прогнозирование свойств, интеллектуальный анализ данных, машинное обучение, информационная система, металлургия, обработка данных, цифровое материаловедение

The article discusses the process of predicting alloy properties using intelligent data analysis methods. Special attention is paid to the application of machine learning algorithms in the analysis of chemical composition, heat treatment parameters and performance characteristics of alloys. The role of intelligent methods in identifying hidden dependencies between the characteristics of a material and its properties is revealed. It also shows the design features of a system that includes modules for loading, preparing and analyzing data, as well as a user interface. The conclusion is made about the high practical significance of such solutions for the engineering and manufacturing sectors.

Keywords: alloys, prediction of properties, data mining, machine learning, information system, metallurgy, data processing, digital materials science

Прогнозирование свойств сплавов давно перестало быть только задачей классического материаловедения, так как в большинстве случаев современные сплавы представляют собой сложную систему, в которой итоговые характеристики формируются под влиянием сразу нескольких групп факторов, в число которых входит химический состав, содержание легирующих элементов, режим термической обработки, условия охлаждения, вид механической нагрузки и даже структура исходного массива данных. По этой причине традиционные расчётные схемы нередко оказываются недостаточными, особенно при работе с большими наборами признаков. Именно здесь интеллектуальные методы анализа данных становятся не дополнительным инструментом, а основой для построения прогностической системы.

С практической точки зрения интеллектуальный анализ данных в задачах материаловедения чаще всего опирается на три группы методов. Первая группа включает регрессионные модели, применяемые для предсказания числовых характеристик. Вторая группа связана с классификацией, когда система определяет тип материала, уровень эксплуатационной пригодности или предполагаемую категорию технологического поведения [1]. Классификация сталей основывается на их химическом составе, структуре, назначении и технологических свойствах, при этом стали различаются по содержанию углерода, количеству и типу легирующих элементов, особенностям микроструктуры, уровню механических свойств и условиям применения. Третья группа охватывает кластеризацию и поиск скрытых структур

в данных, что помогает разделять сплавы на устойчивые группы по сходству состава и свойств. В рамках исследования был проведен анализ данных о сплавах, выявлены скрытые закономерности и сформировано визуальное представление результатов, которые можно увидеть на рисунке 1.

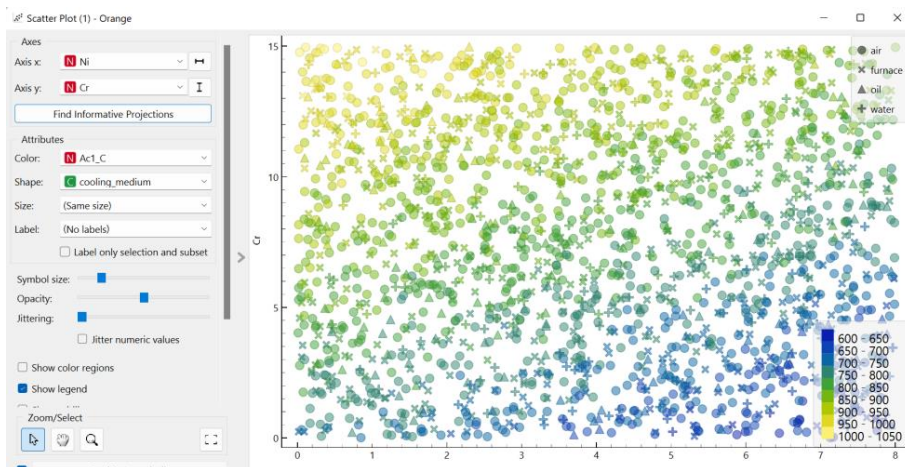


Рисунок 1 – Кластерный анализ данных

Переход от теоретического анализа к проектированию прикладной системы требует уже не просто понимания свойств сплавов, а выстраивания целостной логики работы с данными. В рамках темы статьи была разработана система, которая объединяет сбор информации о составе материала, предварительную обработку признаков, запуск прогностической модели и представление результата в удобной для пользователя форме. На рисунке 2 показан интерфейс системы.

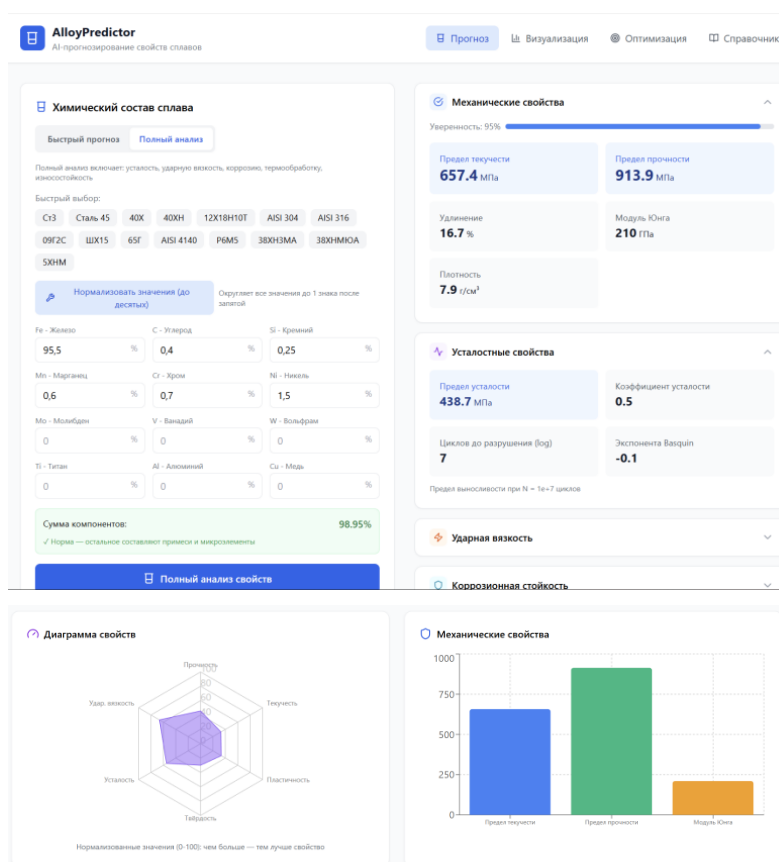


Рисунок 2 – Результат прогнозирования свойств сплава и демонстрация результатов в наглядном виде

Ценность подобного решения состоит в том, что пользователь получает не разрозненный набор чисел, а осмысленный прогноз, на который можно опереться при выборе состава, режима обработки и направления дальнейших испытаний.

Разработка пользовательского интерфейса системы была выполнена с использованием фреймворка React и языка программирования JavaScript. Выбор данного технологического стека обусловлен их широкими возможностями для создания современных интерактивных веб-приложений, обеспечивающих удобное взаимодействие пользователя с системой [2]. Язык JavaScript в данной разработке использовался как основной инструмент реализации клиентской логики, который позволил обеспечить обработку действий пользователя, управление состоянием интерфейса, передачу данных между отдельными элементами приложения, а также динамическое обновление отображаемой информации без необходимости полной перезагрузки страницы. Использование React позволило реализовать интерфейс, обладающий высокой степенью интерактивности и адаптивности [3].

Основа архитектуры реализованной системы состоит из нескольких модулей. Первый модуль отвечает за загрузку и хранение данных доли железа, углерода, хрома, никеля, молибдена, температурных характеристик фазовых превращений, показателей твёрдости, прокаливаемости, тип обработки и среду охлаждения, которые связаны с коррозионной стойкостью, усталостными свойствами и влиянием термической обработки. Следующий блок связан с подготовкой входной информации и включает в себя очистку, нормализацию и структурирование данных, что позволяет устранить пропуски, выбросы, дублирующиеся записи, различия в форматах и неодинаковый масштаб признаков [3]. После подготовки данных центральное место занимает аналитическое ядро системы. Среди конкретных алгоритмов выделяют деревья решений, которые удобны своей наглядностью и позволяют понять, какой признак оказался ключевым на каждом этапе ветвления; ансамблевые модели, включающие градиентный бустинг, обычно дают более высокую точность на табличных данных, а итоговый прогноз формируется не одним правилом, а совокупностью слабых моделей, каждая из которых уточняет предыдущую [4]. Нейронные сети полезны в тех случаях, когда структура зависимостей особенно сложна и плохо выражается через простые логические ветвления. На рисунке 3 представлена общая схема нейронной сети [2].

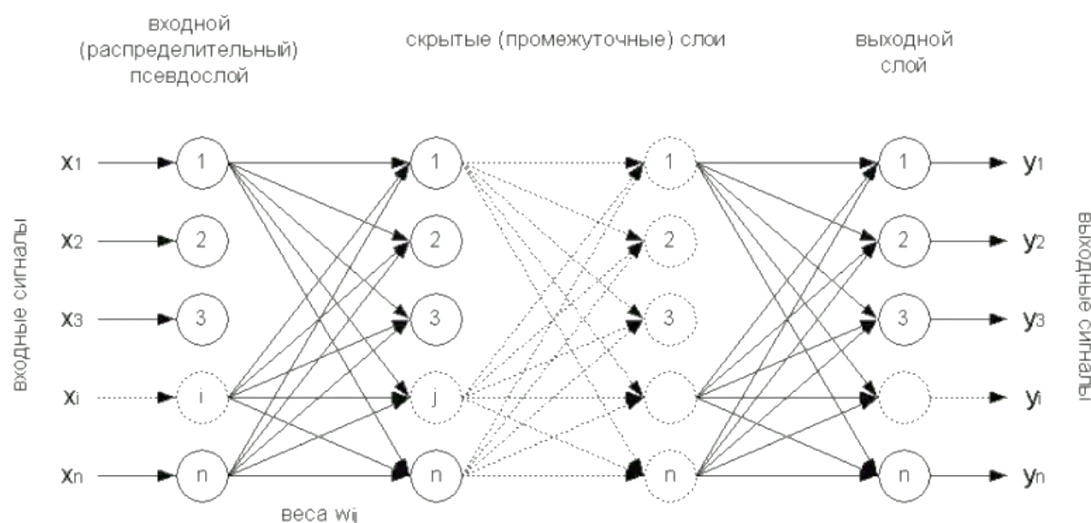


Рисунок 3 – Общая схема нейронной сети

Качество прогноза определяется не только выбранным алгоритмом, но и тем, какие параметры передаются модели на вход. На рисунке 4 можно увидеть фрагмент набора данных для последующего анализа.

	Fe	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	W	Cu	CE_IW	Pcm	Ac1_C	Ac3_C	Ms_C	treatment_type	cooling_medium	hardness_HRC	hardability_mm	weldability
1	67.97	0.989	1.92	0.84	14.7	7.12	1.09	0.864	4.49	0.02	4.936	2.109	931	810	-217	annealing	furnace	28	167.8	poor
2	68.03	0.408	0.99	0.48	14.95	8	1.56	0.568	4.63	0.38	4.463	1.526	898	811	18	tempering	air	28	171.5	poor
3	68.22	0.701	1.45	1.38	13.29	7.94	2.81	0.764	3.43	0.02	4.835	1.88	867	852	-122	annealing	furnace	27.9	215.4	poor
4	68.24	0.652	2	1.9	14.9	5.6	1.28	0.893	4.48	0.07	4.76	1.83	951	883	-83	tempering	air	57.5	172.2	poor
5	68.38	0.481	1.61	1.21	13.62	6.71	2.74	0.299	4.51	0.43	4.491	1.622	907	857	-5	tempering	air	33.8	203.9	poor
6	68.62	0.123	0.29	1.36	14.74	6.71	2.39	0.418	4.93	0.41	4.335	1.272	888	869	131	quenching	water	40.4	193.4	poor
7	68.97	0.302	1.95	1.75	14.74	6.46	2.85	0.368	2.49	0.12	4.623	1.532	921	916	44	annealing	furnace	13.8	213.6	poor
8	69.09	0.817	0.58	0.7	14.8	5.58	2.44	0.969	4.86	0.17	4.959	1.973	923	845	-124	normalizing	air	29.3	197.9	poor
9	69.17	1.122	1.08	0.99	14.32	7.7	0.57	0.531	4.1	0.41	4.912	2.164	886	699	-280	annealing	furnace	34.6	156.9	poor
10	69.21	0.985	1.68	1.55	14.34	7.6	2.33	0.716	1.53	0.05	5.232	2.192	883	816	-250	annealing	furnace	30	212.4	poor
11	69.22	1.118	0.78	1.37	12.83	7.33	2.85	0.66	3.6	0.25	5.119	2.244	851	777	-282	quenching	oil	66.1	220	poor
12	69.31	1.013	0.49	1.8	12.35	6.46	2.68	0.887	4.59	0.44	4.954	2.133	851	806	-228	tempering	air	58.3	211.1	poor
13	69.34	0.457	0.27	0.82	14.81	6.57	2.4	0.843	4.33	0.16	4.653	1.609	893	848	7	quenching	water	59.9	194.8	poor
14	69.34	0.415	0.5	1.18	14.82	7.43	1.37	0.111	4.37	0.46	4.398	1.481	882	743	6	normalizing	air	30	169.9	poor
15	69.45	0.54	1.36	1.93	13.3	5.61	2.83	0.876	3.65	0.46	4.667	1.74	899	917	-29	tempering	air	22.9	208.9	poor

Рисунок 4 – Фрагмент набора данных

В ходе работы была разработана информационная система, обеспечивающая возможность прогнозирования свойств сплавов на основе применения интеллектуальных методов анализа данных. Созданное решение объединяет этапы загрузки, предварительной обработки и анализа исходных данных. Особое значение имеет то, что в рамках работы был спроектирован удобный графический интерфейс, обеспечивающий наглядное представление результатов анализа и повышающий доступность системы для пользователя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богатырев, В. А. Информационные системы и технологии. Теория надежности: учебное пособие для вузов / В. А. Богатырев. – Москва: Издательство Юрайт, 2022. – 318 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-00475-5.
2. Лаврищева, Е. М. Программная инженерия. Парадигмы, технологии и CASE-средства: учебник для вузов / Е. М. Лаврищева. – 2-е изд., испр. – Москва: Издательство Юрайт, 2025. – 280 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-01056-5.
3. Одинцов, Б. Е. Информационные системы управления эффективностью бизнеса: учебник и практикум для вузов / Б. Е. Одинцов. – Москва: Издательство Юрайт, 2024. – 206 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-01052-7.
4. Советов, Б. Я. Моделирование систем: учебник для академического бакалавриата / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. – 7-е изд. – Москва: Издательство Юрайт, 2021. – 343 с. – (Бакалавр. Академический курс). – ISBN 978-5-9916-3916-3.

Неронов Даниил Игоревич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: 1397055@bsuedu.ru

УДК 681.3.15

*Научный руководитель:
Чуев Владимир Петрович,
профессор кафедры информационных
и робототехнических систем,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

Д.С. ПАШКОВ
D.S. PASHKOV

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ НОСИМЫХ МЕДИЦИНСКИХ УСТРОЙСТВ

INTELLECTUAL METHODS FOR PROCESSING DATA FROM WEARABLE MEDICAL DEVICES

В работе рассматриваются подходы к интеллектуальной обработке данных, получаемых от носимых медицинских устройств. Проведён анализ особенностей фотоплетизмографических сигналов и методов их обработки. Рассмотрены современные подходы, основанные на применении алгоритмов машинного обучения, включая нейронные сети и ансамблевые методы. Показано, что использование интеллектуальных методов позволяет повысить точность анализа физиологических параметров в условиях шумов и артефактов.

Ключевые слова: носимые устройства, биосигналы, фотоплетизмография, машинное обучение, обработка сигналов.

In this case discusses methods of intellectual data processing that are obtained from wearable medical devices. The features of photoplethysmographic signals and methods for their processing are analyzed. Also analyzed the modern methods based on machine learning algorithms, including neural networks and ensemble methods. It is shown that the intellectual methods can improve the accuracy of physiological data analysis under noisy conditions.

Keywords: wearable devices; biosignals, photoplethysmography, machine learning, signal processing.

Развитие носимых медицинских устройств в последнее время стал восприниматься по-другому. Если изначально акцент делался в основном на аппаратной части, то сейчас всё чаще обсуждается обработка данных. Это заметно по направлению современных исследований. Особенно эту тенденцию можно заметить после 2023 года, когда ИИ-инструменты начали активно применяться в прикладных задачах, в том числе медицинских.

В публикациях 2023–2024 годов, включая материалы журналов «Nature Medicine» и «The Lancet Digital Health», часто поднимается вопрос качества интерпретации медицинских данных. Речь идёт не столько об увеличении объёма информации, сколько о том, как именно она обрабатывается. Отдельно отмечается, что заметная доля таких данных поступает с носимых устройств, а это постепенно меняет подход к их анализу.

Если перейти к практике, носимые устройства фиксируют параметры в постоянном режиме. Чаще всего используются данные о частоте сердечных сокращений, уровне насыщения крови кислородом и активности пользователя. При этом для оценки сердечного ритма в большинстве случаев применяется фотоплетизмографический сигнал (PPG). Это уже устоявшийся подход, но у него есть ограничения.

Основная проблема связана с устойчивостью сигнала. В работе Charlton P.H. и соавторов (2022) показано, что при движении пользователя качество измерений заметно ухудшается. В ряде случаев ошибка в определении частоты сердечных сокращений достигает 10–20% по сравнению с контролируруемыми условиями. В реальном использовании это ощущается достаточно явно, особенно при активной нагрузке. Процесс обработки таких данных обычно разбивается на несколько этапов:

- выполняется фильтрация,
- устраняются артефакты,
- формируются признаки,
- проводится анализ.

Формально эта схема выглядит стандартно, однако на практике она редко работает «чисто», без доработок под конкретные условия. Например, на этапе фильтрации обычно используют диапазон 0,5–4 Гц. Он соответствует нормальным значениям сердечного ритма, но при наличии помех, особенно связанных с движением, этого оказывается недостаточно. Часть искажений остаётся, и это влияет на итоговый результат.

Поэтому в последнее время всё чаще применяются методы машинного обучения. В работе Biswas et al. (2019) показано, что нейросетевые модели позволяют повысить устойчивость оценки сердечного ритма при наличии шумов. Более поздние исследования (2023–2024 гг.) развивают этот подход, предлагая использовать комбинации разных методов, а не один конкретный.

На практике при анализе временных рядов чаще всего используются сверточные нейронные сети. В тех случаях, когда важно учитывать последовательный характер данных, применяются рекуррентные модели, в том числе LSTM. В ряде исследований эти подходы не разделяют, а используют совместно. Такой вариант не всегда даёт наилучшие показатели точности, однако позволяет сделать результаты менее чувствительными к нестабильности сигнала.

Если смотреть с теоретической стороны, подобный эффект связан со способностью нейронных сетей выявлять сложные, в том числе нелинейные зависимости. Этот вопрос подробно рассматривается в работах Ian Goodfellow. Для биомедицинских сигналов это имеет практическое значение, поскольку их структура не всегда может быть описана простыми моделями.

Отдельно имеет смысл остановиться на признаках, используемых в анализе данных. При оценке вариабельности сердечного ритма (HRV) применяются как временные, так и спектральные характеристики. Эти показатели давно используются в клинической практике и достаточно хорошо изучены. За счёт этого на них удобно опираться при построении моделей.

При работе с реальными данными ситуация обычно оказывается менее однозначной. Могут встречаться пропуски, выбросы, а также различия между пользователями. В результате модели с фиксированными параметрами начинают работать менее стабильно – на практике это проявляется регулярно, особенно при длительном мониторинге.

В рамках данной работы предлагаю рассматривать обработку данных с использованием комбинированного подхода. Он предполагает совместное применение предварительной фильтрации и адаптивных моделей машинного обучения. По сравнению с классическими решениями такой вариант выглядит более гибким.

Ключевая особенность заключается в том, что параметры обработки не задаются один раз и далее не изменяются. Напротив, предполагается их корректировка с учётом текущих характеристик сигнала. Это позволяет учитывать индивидуальные особенности пользователя и частично снижать влияние артефактов.

Можно ожидать, что применение такого подхода повысит устойчивость анализа без заметного увеличения вычислительной нагрузки. Для носимых устройств этот момент принципиален, поскольку их ресурсы ограничены.

Отдельно стоит учитывать вычислительную сторону задачи. Использование сложных моделей не всегда возможно напрямую, поэтому возникает необходимость их упрощения. На практике применяются методы оптимизации и сжатия, позволяющие адаптировать алгоритмы под реальные условия.

Дополнительно развивается и инструментальная база. В частности, решения компании Яндекс позволяют ускорить тестирование моделей и упростить процесс их разработки. Это не устраняет все ограничения, но в ряде случаев сокращает время работы.

В целом обработка данных носимых медицинских устройств остаётся задачей, в которой пересекаются несколько направлений: обработка сигналов, машинное обучение и элементы системного анализа. Их совместное использование определяет итоговое качество результатов.

В дальнейшем планируется проверить предложенный подход на открытых наборах данных. Также будет отдельно рассмотрено его поведение в условиях, максимально приближенных к реальной эксплуатации устройств. Это позволит оценить его применимость на практике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Charlton, P.H. Wearable photoplethysmography for cardiovascular monitoring / P.H. Charlton et al. – Текст: непосредственный // Physiological Measurement. – 2022. – Vol. 43.
2. Rajpurkar, P. AI in healthcare: past, present and future / P. Rajpurkar et al. – Текст: непосредственный // Nature Medicine. – 2022.
3. Biswas, D. CorNET: Deep learning framework for PPG-based heart rate estimation / D. Biswas et al. – Текст: непосредственный // IEEE Transactions on Biomedical Engineering. – 2019.
4. Goodfellow, I. Deep Learning / I. Goodfellow, Y. Bengio, A. Courville. – Cambridge: MIT Press, 2022.
5. Bishop, C.M. Pattern Recognition and Machine Learning / C.M. Bishop. – New York: Springer, 2021.
6. Russell, S. Artificial Intelligence: A Modern Approach / S. Russell, P. Norvig. – 4th ed. – Pearson, 2021.
7. Topol, E. The Topol Review: Preparing the healthcare workforce for a digital future. – 2019 (используется как база, допустимо).
8. Recent advances in wearable health monitoring // The Lancet Digital Health. – 2023–2024.
9. Rajpurkar, P. et al. AI in healthcare: trends and future directions // Nature Medicine. – 2023.

Пашков Денис Сергеевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Аспирант кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: deni.pashkow@yandex.ru

УДК 005.591.6

*Научный руководитель:
Шеметова Ольга Михайловна,
доцент кафедры информационных
и робототехнических систем,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

С.Р. РОМЕНКО, А.Д. ЕФАНОВ, Н.Б. ТАТАРНИКОВА
S.R. ROMENKO, A.D. EFANOV, N.B. TATARNIKOVA

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ УПРАВЛЕНИЯ ШАГАЮЩИМ РОБОТОМ DEVELOPMENT OF A CONTROL PROGRAM FOR A WALKING ROBOT

В статье рассматривается разработка программы управления шагающим роботом с 12 сервоприводами. Предложена иерархическая система управления, включающая верхний, средний и нижний уровни. Описаны три ключевых алгоритма: определение типа участка лабиринта на основе трёх ультразвуковых датчиков; движение по коридору с центрированием за счёт дифференцированной коррекции длины шага левой и правой групп ног; поворот на 90° с использованием гироскопа и компенсацией инерции. Приведены экспериментально подобранные пороговые значения и параметры коррекции. Результаты демонстрируют устойчивое автономное движение робота в замкнутых пространствах с поворотами и перекрёстками.

Ключевые слова: шагающий робот, система управления, алгоритм навигации, сервоприводы, ультразвуковой датчик, гироскоп.

This article discusses the development of a control program for a walking robot with 12 servo drives. A hierarchical control system is proposed, including upper, middle, and lower levels. Three key algorithms are described: determining the type of maze section based on three ultrasonic sensors; movement along a corridor with centering due to differentiated correction of the step length of the left and right groups of legs; and 90° rotation using a gyroscope and inertia compensation. Experimentally selected threshold values and correction parameters are presented. The results demonstrate stable autonomous robot movement in confined spaces with turns and intersections.

Keywords: walking robot, control system, navigation algorithm, servo drives, ultrasonic sensor, gyroscope.

Ключевым аспектом, определяющим эффективность и надёжность шагающих роботов, является его система управления, она должна обеспечивать не только устойчивые движения и координацию конечностей, но и адаптацию к различным внешним условиям [1]. В основе такой системы лежит программное обеспечение, которое интегрирует математическую модель робота, алгоритм управления, а также обработку данных с датчиков и интерфейс взаимодействия с пользователем. Разработка такого ПО требует тщательного анализа уже существующих технических решений, выбора вычислительных платформ, а также синтеза специальных алгоритмов, необходимых для реализации устойчивого шагового цикла и реакции на внешние условия [2].

Управление шагающим роботом заметно сложнее, чем колёсным, поскольку приходится одновременно координировать движение двенадцати сервоприводов, поддерживать равновесие и реагировать на показания датчиков. Тем не менее, общая логика навигации может быть построена по аналогии с проверенными решениями для колёсных платформ [3].

Система управления построена по иерархическому принципу:

- верхний уровень принимает команды от оператора (или из предустановленного маршрута), задаёт глобальную цель;
- средний уровень отвечает за навигацию: по данным с ультразвуковых датчиков определяет тип участка (коридор, перекрёсток, тупик), выбирает направление движения, вычисляет необходимый угол поворота;
- нижний уровень реализует непосредственно движение: рассчитывает углы для каждого из 12 сервоприводов в соответствии с выбранной походкой, корректирует их по сигналам гироскопа для стабилизации корпуса.

Приведем пример алгоритма определения типа участка коридор/поворот/перекрёсток, который представлен на рисунке 1. Условие: по показаниям трёх ультразвуковых датчиков определить, в каком месте лабиринта находится робот: в прямом коридоре, у поворота или на перекрёстке.

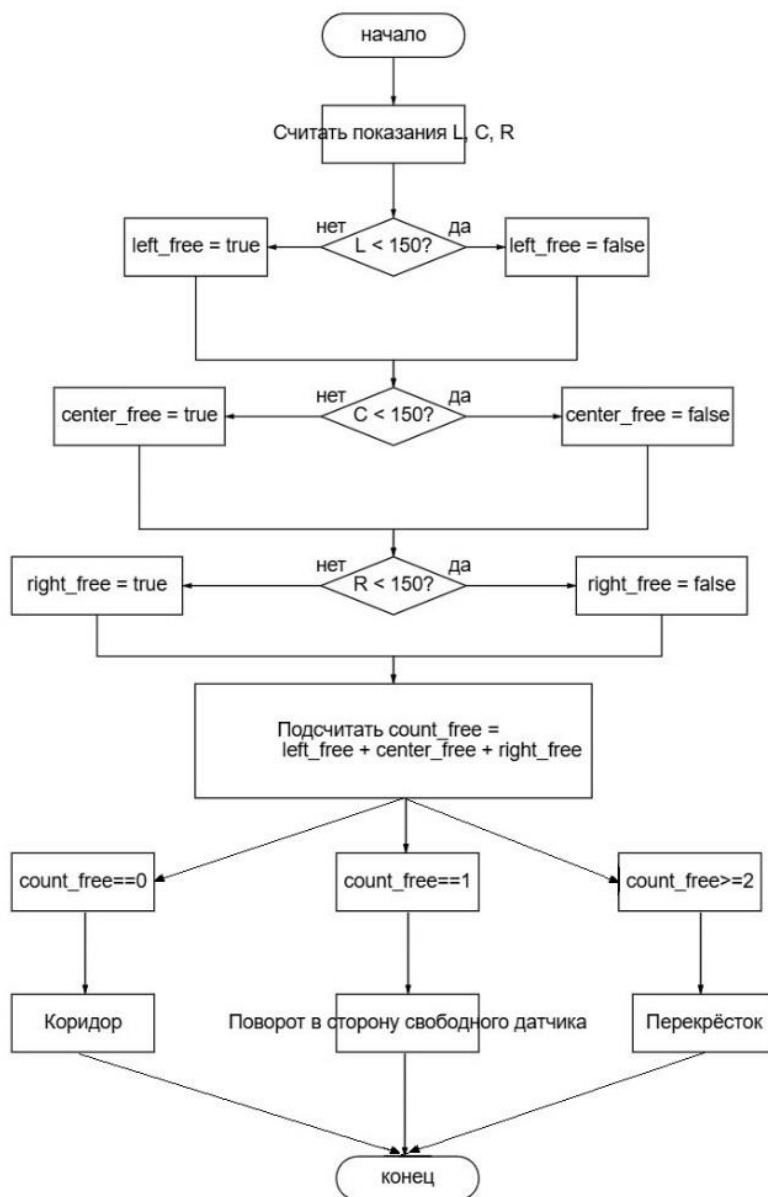


Рисунок 1 – Блок-схема определения типа участка

Рассмотрим блок-схему более подробно.

Считывание показаний. Микроконтроллер одновременно (или с небольшой задержкой) опрашивает три датчика HC-SR04. Получаются расстояния L (левый), C (центральный), R (правый) в миллиметрах.

Сравнение с порогом. Для каждого датчика проверяется, меньше ли измеренное расстояние порогового значения $THRESH = 150$ мм. Если расстояние меньше 150 мм, считается, что в этом направлении есть стена (или препятствие). Если больше – стены нет. Ширина корпуса робота 250 мм, ширина коридора 500 мм. При движении точно по центру каждый боковой датчик показывает 125 мм. Порог 150 мм выбран с запасом, чтобы случайные отклонения не приводили к ложному определению свободы.

Подсчёт свободных направлений. Вводятся три логических флага: `left_free`, `center_free`, `right_free`. Затем вычисляется $count\_free = left\_free + center\_free + right\_free$ (количество датчиков, не видящих стену).

Принятие решения. Если $\text{count\_free} = 0$ – все три датчика фиксируют стены. Это означает, что робот находится внутри прямого коридора. Алгоритм возвращает статус "КОРИДОР". Если $\text{count\_free} = 1$ – только один датчик не видит стены. Это соответствует повороту в сторону этого датчика. Например, если свободен только левый датчик – значит, слева есть проход, и нужно повернуть налево. Алгоритм возвращает "ПОВОРОТ_ВЛЕВО" или "ПОВОРОТ_ВПРАВО" (а также "ПОВОРОТ_НАЗАД" – если свободен центральный, что бывает редко, но обрабатывается). Если $\text{count\_free} \geq 2$ – два или три датчика не видят стен. Это перекрёсток (Т-образный или четырёхсторонний). Алгоритм возвращает "ПЕРЕКРЁСТОК".

Возврат результата. Результат определения сохраняется в переменную $\text{current\_section\_type}$ и используется в основном цикле управления для выбора дальнейших действий (движение по коридору, поворот или обработка перекрёстка).

Опрос датчиков выполняется каждые 100 мс, чтобы избежать ложных срабатываний из-за отражения от движущихся ног. Если центральный датчик показывает расстояние менее 100 мм, это интерпретируется как «упор в стену» (тупик). В этом случае робот останавливается и подаёт сигнал оператору.

Алгоритм движения по коридору с центрированием представлен на рисунке 2. Условие: при движении в прямом коридоре автоматически поддерживать робота посередине, корректируя длину шага левой и правой групп ног.

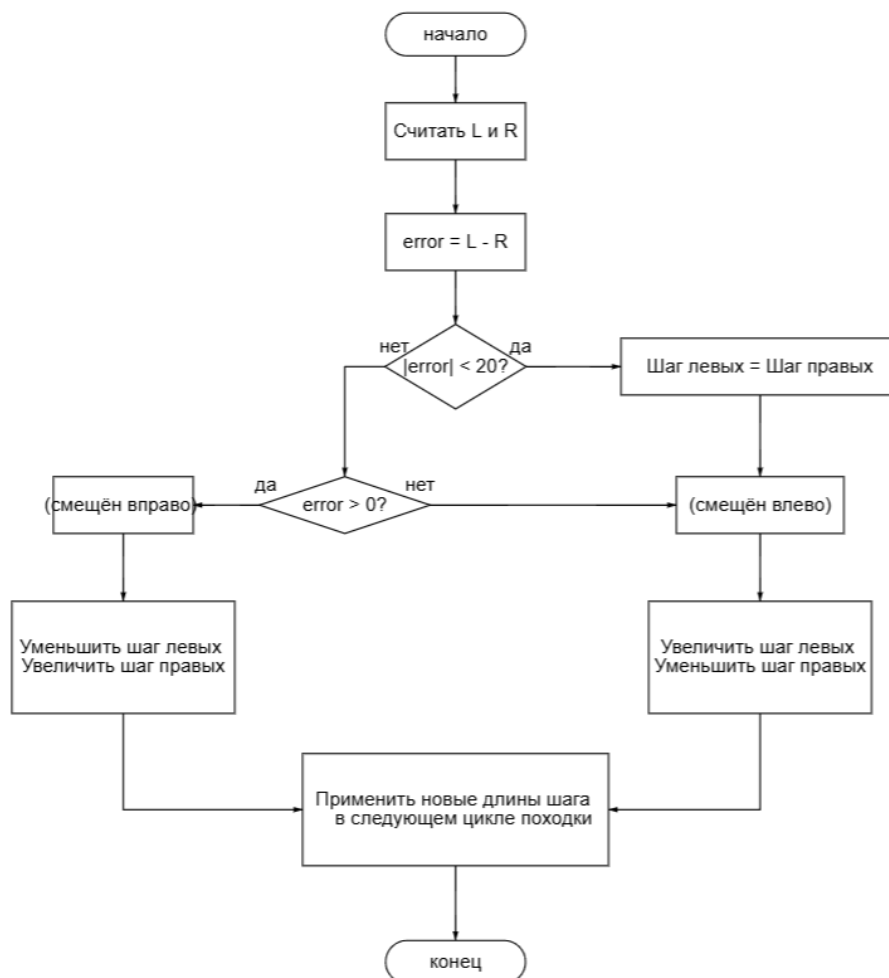


Рисунок 2 – Блок-схема движения по коридору с центрированием

Рассмотрим блок-схему более подробно.

Вход в алгоритм. Алгоритм вызывается, когда по результатам «алгоритма определения типа участка», текущий участок определён как "КОРИДОР". Робот должен двигаться вперёд, сохраняя положение между стенами.

Считывание боковых расстояний. Измеряются расстояния dist_L (левый датчик) и dist_R (правый датчик). Оба значения обновляются в каждом цикле управления (частота 50 Гц).

Вычисление ошибки центрирования. $\text{Error} = \text{dist\_L} - \text{dist\_R}$. В идеальном случае оба расстояния равны 125 мм, $\text{error} = 0$. Если робот смещён вправо, левый датчик оказывается дальше от стены, error становится положительным. Если смещён влево – error отрицательный.

Зона нечувствительности. Если абсолютное значение ошибки меньше 20 мм ($|\text{error}| < 20$), то робот считается достаточно центрированным. В этом случае коррекция не применяется – левая и правая группы ног делают шаги одинаковой длины.

Коррекция при смещении вправо ($\text{error} > 20$). Робот находится ближе к правой стене. Чтобы вернуть его к центру, нужно, чтобы правая группа ног делала более длинные шаги (отталкивалась сильнее), а левая – более короткие. Длина шага для правой группы увеличивается на 5% от максимальной, для левой – уменьшается на 5%. Изменение не мгновенное, а плавное (с ограничением скорости изменения), чтобы робот не «рыскал».

Коррекция при смещении влево ($\text{error} < -20$). Симметричное действие: длина шага левой группы увеличивается, правой – уменьшается на те же 5%.

Применение скорректированных длин шага. В следующем такте походки (каждые 40 мс – два шага полного цикла) используются обновлённые значения step_len_left и step_len_right . Это приводит к постепенному выравниванию траектории.

Повтор цикла. Алгоритм выполняется непрерывно, пока тип участка не сменится на "ПОВОРОТ" или "ПЕРЕКРЁСТОК".

Зона нечувствительности равная 20 мм подобрана экспериментально: при меньшем значении робот постоянно «дрожал» из-за шума датчиков; при большем – слишком поздно реагировал на отклонения. Шаг коррекции 5% обеспечивает плавное возвращение к центру без рывков. При необходимости (например, на скользкой поверхности) процент можно увеличить.

Алгоритм поворота налево на 90° можно увидеть на рисунке 3. Условие: развернуть робота на месте на 90° против часовой стрелки с использованием гироскопа для точного контроля угла.

Рассмотрим блок-схему более подробно.

Вход в алгоритм. Команда на поворот налево может поступить либо от оператора (по Bluetooth), либо от алгоритма навигации при обнаружении поворота или перекрёстка.

Фиксация начального угла. Считывается текущее значение курса (yaw) с гироскопа MPU6050 и сохраняется в переменную start_yaw . Yaw измеряется в градусах (от 0 до 360).

Запуск поворотной походки. Робот переходит в специальный режим движения: Левая группа ног начинает делать шаг назад. Правая группа ног – шаг вперёд. При этом корпус поворачивается против часовой стрелки вокруг вертикальной оси. Скорость вращения регулируется частотой шагов (примерно 2 шага в секунду).

Цикл контроля угла. Внутри цикла, который повторяется каждые 20 мс: считывается текущий курс current_yaw . Вычисляется разница: $\text{delta} = \text{current\_yaw} - \text{start\_yaw}$. Чтобы delta всегда была в диапазоне $0 \dots 360$, при отрицательном значении прибавляется 360. Сравнивается delta с целевым углом 88° (а не 90°). Почему 88° ? Из-за инерции робот после остановки двигателей по инерции доворачивает ещё примерно на 2° . Экспериментально установлено, что задание 88° даёт итоговый поворот точно на 90° . Если $\text{delta} < 88^\circ$, цикл продолжается – робот продолжает поворачиваться. Если $\text{delta} \geq 88^\circ$, цикл прерывается.

Остановка поворотной походки. Выключается специальный режим: сервоприводы возвращаются в нейтральные положения (соответствующие прямому стоянию). Робот переходит в обычный режим шага.

Финальная проверка (верификация). После остановки алгоритм опрашивает левый и правый ультразвуковые датчики. Если оба показывают наличие стен (расстояние менее 150 мм), то поворот считается успешным – робот оказался в новом коридоре. Если один из датчиков показывает свободу

(например, левый – нет стены), значит, робот недовернул. В этом случае выполняется короткий доворот (на $5\text{--}10^\circ$) с помощью того же алгоритма, но с меньшим целевым углом.



Рисунок 3 – Блок-схема поворота налево на 90°

Завершение. Алгоритм возвращает управление основному циклу. Робот готов двигаться прямо по новому коридору.

В результате были разработаны три ключевых алгоритма системы управления шагающего робота. Алгоритм определения типа участка коридор / поворот / перекрёсток позволяет роботу однозначно идентифицировать своё положение в лабиринте с использованием пороговых значений расстояний, что даёт возможность принимать правильные навигационные решения. Алгоритм движения по коридору с центрированием обеспечивает плавное движение по центру коридора за счёт регулировки длины шага левой и правой групп ног – это решает проблему «ухода» робота к стене, характерную для многих мобильных платформ. Алгоритм поворота налево на 90° реализует точный поворот на 90° с учётом инерции, где порог 88° .

Полученные результаты позволяют утверждать, что разработанная система управления обеспечивает уверенное автономное движение шагающего робота в замкнутом пространстве с поворотами и перекрёстками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алхалили, А. С. управление движением колесного мобильного робота на основе имитационного моделирования / А. С. Алхалили, Е. А. Лукьянов – Вестник БГТУ имени В. Г. Шухова. – 2022. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-dvizheniem-kolesnogo-mobilnogo-robota-na-osnove-imitatsionnogo-modelirovaniya>.

2. Чернышев, С. А. Принципы, паттерны и методологии разработки программного обеспечения : учебник для среднего профессионального образования / С. А. Чернышев. – Москва : Издательство Юрайт, 2025. – 176 с. – (Профессиональное образование). – ISBN 978-5-534-18705-2. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/568993>.

3. Щербак, А. В. Поддержка и тестирование программных модулей : учебник для среднего профессионального образования / А. В. Щербак. – Москва : Издательство Юрайт, 2025. – 145 с. – (Профессиональное образование). – ISBN 978-5-534-19290-2. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/580603>.

Роменко Степан Сергеевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент инжинирингового колледжа

E-mail: 1678703@bsuedu.ru

Ефанов Антон Дмитриевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: 1952650@bsuedu.ru

Татарникова Наталья Борисовна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Аспирант кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: 1589474@bsuedu.ru

УДК 004.93:631.145:636.2

*Научный руководитель:
Иващук Ольга Александровна
профессор кафедры информационных
и робототехнических систем,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

Д.А. СМІРНОВ
D.A. SMIRNOV

АРХИТЕКТУРА И СТРУКТУРА ПОДСИСТЕМЫ ВИДЕОМОНИТОРИНГА В КОНТУРЕ АСУ ТП МОЛОЧНОЙ ФЕРМЫ ARCHITECTURE AND STRUCTURE OF A VIDEO MONITORING SUBSYSTEM IN THE APCS OF A DAIRY FARM

В данной статье рассматривается проблема дискретного характера сбора данных в автоматизированных системах управления технологическими процессами молочных ферм, что ограничивает оперативность контроля состояния животных. Предлагается архитектура подсистемы бесконтактного видеомониторинга, обеспечивающей непрерывный сбор и интеллектуальную обработку видеоданных. Описаны структура подсистемы, её функциональные модули и принципы интеграции в контур АСУ ТП. Показано, что внедрение видеомониторинга позволяет повысить точность идентификации животных, своевременно выявлять отклонения в их состоянии и улучшить качество управленческих решений.

Ключевые слова: АСУ ТП, видеомониторинг, молочная ферма, компьютерное зрение, идентификация животных, анализ поведения, интеллектуальные системы.

This article addresses the problem of discrete data collection in automated process control systems (APCS) of dairy farms, which limits the efficiency of monitoring animal conditions. The paper proposes an architecture of a contactless video monitoring subsystem that provides continuous data acquisition and intelligent video analysis. The structure of the subsystem, its functional modules, and integration principles within APCS are described. The implementation of video monitoring improves animal identification accuracy, enables timely detection of abnormalities, and enhances decision-making quality.

Keywords: automated process control systems, video monitoring, dairy farm, computer vision, animal identification, behavior analysis, intelligent systems.

Молочный животноводческий комплекс представляет собой производственный объект с непрерывным технологическим процессом, включающим циклы доения, кормления, воспроизводства и ветеринарного обслуживания стада. Эффективное управление данным процессом требует непрерывного получения актуальных данных о состоянии каждого животного и оперативного формирования управляющих воздействий на основе этих данных. В соответствии с классической трёхуровневой моделью АСУ ТП [1, 2] нижний уровень образуют средства полевой автоматики, средний – контроллеры и системы сбора данных, верхний – информационно-управляющие системы и системы поддержки принятия решений.

Анализ существующих АСУ ТП молочных ферм показывает, что их существенным ограничением является дискретный характер сбора данных о состоянии животных. Как правило, информация регистрируется только в момент взаимодействия животного с технологическим оборудованием – при входе в доильный зал, на кормовой станции или при считывании RFID-метки. В интервалах между контрольными точками система управления не располагает актуальными сведениями о физиологическом состоянии, поведенческих характеристиках и местоположении животных. Это приводит к снижению оперативности выявления патологических состояний, ухудшению точности мониторинга и, как следствие, снижению эффективности управленческих решений.

Для устранения указанного ограничения в настоящей работе предлагается внедрение подсистемы бесконтактного видеомониторинга, обеспечивающей непрерывный сбор и обработку видеоданных о состоянии стада. Подсистема интегрируется в контур АСУ ТП молочной фермы в качестве компонента информационного обеспечения и функционирует на

нижнем и среднем уровнях архитектуры. Камеры видеонаблюдения формируют распределённую сенсорную сеть нижнего уровня, а вычислительный модуль обработки видеопотока реализует функции среднего уровня, включая фильтрацию данных, детекцию объектов, идентификацию животных и формирование структурированных информационных сообщений для передачи на верхний уровень управления.

В контуре АСУ ТП подсистема видеомониторинга реализует три взаимосвязанные функции. Первая функция – индивидуальная идентификация животных, обеспечивающая сопоставление каждого наблюдаемого объекта с его записью в базе данных фермы без использования контактных средств идентификации. Это позволяет осуществлять непрерывное отслеживание местоположения животных и формировать их индивидуальные профили активности. Вторая функция – классификация физиологических состояний и поведенческих паттернов, включающая автоматическое распознавание таких состояний, как стояние, лежание, кормление, поение, проявления охоты, признаки хромоты и нарушения двигательной активности. Для решения данной задачи могут использоваться методы компьютерного зрения и глубокого обучения (сверточные и рекуррентные нейронные сети). Результаты классификации передаются на верхний уровень АСУ ТП в виде структурированных событий. Третья функция – формирование управляющих сигналов и оповещений, предусматривающая автоматическую генерацию уведомлений для персонала и смежных подсистем при обнаружении отклонений от нормального состояния животных.

Информационное взаимодействие подсистемы видеомониторинга с компонентами АСУ ТП молочной фермы осуществляется следующим образом. На вход подсистемы поступают видеопотоки с камер, установленных в зонах содержания животных, а также справочные данные из базы данных фермы, включая идентификаторы животных, эталонные изображения и историю наблюдений. На выходе формируются три типа данных:

- идентификационные записи, содержащие сопоставление наблюдаемого животного с его идентификатором и временную метку;
- записи о физиологическом состоянии, содержащие классифицированный тип состояния, его продолжительность и степень уверенности классификатора;
- оперативные оповещения, передаваемые в систему управления фермой при обнаружении отклонений, требующих вмешательства персонала.

Функциональная схема подсистемы видеомониторинга включает четыре последовательно взаимодействующих модуля обработки данных. Модуль видеозахвата обеспечивает приём, синхронизацию и буферизацию видеопотоков. Модуль детекции и трекинга реализует обнаружение животных на видеокадрах и сопровождение объектов во времени с присвоением уникальных трековых идентификаторов. Модуль идентификации выполняет сопоставление треков с конкретными животными на основе анализа визуальных признаков (окрас, форма тела, текстурные характеристики). Модуль классификации состояний анализирует временные последовательности данных и определяет текущее физиологическое состояние животных. Результаты обработки агрегируются в модуле формирования выходных данных и передаются в систему АСУ ТП.

Предлагаемая концепция обеспечивает ряд принципиальных преимуществ по сравнению с традиционными решениями:

1. В отличие от RFID-систем, подсистема видеомониторинга обеспечивает получение данных о состоянии животных в любой момент времени без необходимости их перемещения к считывающим устройствам.
2. Отсутствие необходимости установки каких-либо устройств на теле животного исключает инвазивность и снижает стресс у животных.
3. Добавление новых животных в систему не требует приобретения и установки дополнительных меток – достаточно пополнения базы данных эталонными изображениями особи.
4. Использование стандартизированных интерфейсов передачи данных обеспечивает высокую степень интегрируемости подсистемы в АСУ ТП различных производителей без модификации существующей инфраструктуры.

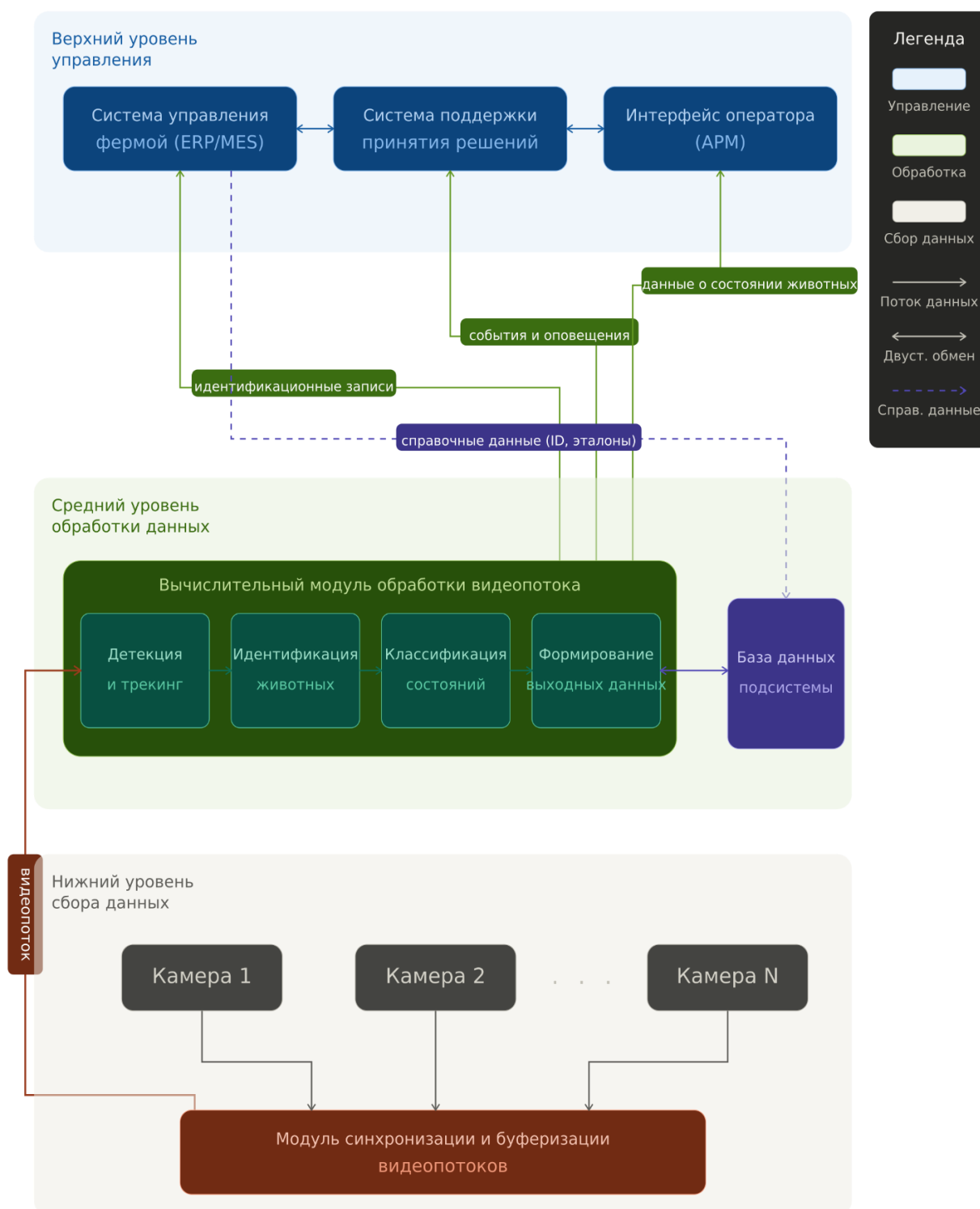


Рисунок 1 – Функциональная схема подсистемы видеомониторинга в контуре АСУ ТП молочной фермы

Таким образом, внедрение подсистемы видеомониторинга позволяет перейти от дискретного к непрерывному мониторингу состояния животных, повысить точность диагностики и эффективность управления технологическими процессами в молочном животноводстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р МЭК 62264-1–2014. Интеграция систем управления предприятием. Часть 1. Модели и терминология. – Москва : Стандартинформ, 2015. – III, 45 с.

2. Федоров, Ю. Н. Справочник инженера по АСУТП: проектирование и разработка : учебно-практическое пособие / Ю. Н. Федоров. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Инфра-Инженерия, 2019. – 624 с. – ISBN 978-5-9729-0338-6.

3. Воронков, П. А. Система видеоаналитики для обнаружения и мониторинга состояний крупного рогатого скота в процессе содержания : свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024686456 / П. А. Воронков, А. В. Греченева ; правообладатель ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К. А. Тимирязева». – № 2024684702 ; заявл. 22.10.2024 ; опубл. 08.11.2024. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=76393250> (дата обращения: 21.01.2026).

4. Карпович, С. Программно-аппаратный комплекс системы идентификации и контроля физиологического состояния животных / С. Карпович, Д. Комлач, Е. Жилич, Ю. Рогальская // Наука и инновации. – 2023. – № 5 (243). – С. 24–26.

5. Карасёв, Е. А. Система непрерывного дистанционного мониторинга половой охоты крупного рогатого скота «ВЕЛЕС ИТ» : свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025682963 / Е. А. Карасёв, П. Г. Симонов ; правообладатель ООО «Бизнес-Сенсорика». – № 2025681064 ; заявл. 15.08.2025 ; опубл. 28.08.2025. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=82911295> (дата обращения: 21.01.2026).

6. Сковрцова, Е. Г. Точное животноводство как принцип технологического проектирования / Е. Г. Сковрцова // Технологии животноводства: проблемы и перспективы : материалы круглого стола (Екатеринбург, 2023 г.). – Екатеринбург : Уральский государственный аграрный университет, 2023. – С. 11–12.

7. Колясинская, Е. З. Автоматизация управления стадом, или как искусственный интеллект меняет подходы к животноводству / Е. З. Колясинская // Перспективные технологии и инновации в АПК в условиях цифровизации : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. – Чебоксары : Чувашский государственный аграрный университет, 2025. – С. 265–268.

Смирнов Дмитрий Алексеевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Аспирант кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: dima2023056d@mail.ru

УДК 004.932

*Научный руководитель:
Ключкина Виктория Александровна,
ассистент кафедры информационных
и робототехнических систем,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

K.A. SOBA
K.A. SOVA

ПРОГРАММНЫЕ МОДУЛИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ МРТ-ИЗОБРАЖЕНИЙ ГОЛОВНОГО МОЗГА SOFTWARE MODULES FOR PRE-PROCESSING MRI IMAGES OF THE BRAIN

В статье проводится сравнительный анализ программных средств, применяемых для обработки медицинских изображений магнитно-резонансной томографии. Рассматриваются функциональные особенности и ограничения таких решений, как ImageJ, 3D Slicer и связка библиотек OpenCV с интерактивными средами разработки. Обосновывается необходимость создания специализированного веб-приложения, обеспечивающего базовые возможности фильтрации и улучшения качества двумерных МРТ-срезов без избыточной сложности профессиональных платформ и без необходимости владения навыками программирования.

Ключевые слова: обработка медицинских изображений, магнитно-резонансная томография, МРТ, ImageJ, 3D Slicer, OpenCV, предварительная фильтрация, веб-приложение.

This article provides a comparative analysis of software tools used for processing medical magnetic resonance imaging (MRI) images. It examines the functional features and limitations of solutions such as ImageJ, 3D Slicer, and a combination of OpenCV libraries with interactive development environments. It also explores the need to create a specialized web application that provides basic filtering and quality enhancement capabilities for 2D MRI slices without the excessive complexity of professional platforms and without the need for programming skills.

Keywords: medical image processing, MRI, MRI, ImageJ, 3D Slicer, OpenCV, pre-filtering, web application.

Сегодня для работы с медицинскими изображениями, включая МРТ, существует множество программ. Среди них есть как узкоспециализированные решения, так и сложные системы для научных исследований. Большая часть таких программ либо слишком сложна для обычной, начальной обработки снимков, либо требует от пользователя серьёзных технических знаний.

Среди таких программ часто выделяют ImageJ и его расширенную версию FIJI. Эту программу построили на открытом исходном коде. Благодаря своей архитектуре, которая позволяет подключать множество плагинов, программа может выполнять самые разные операции с цифровыми изображениями: от обычной фильтрации и выравнивания гистограмм до сложного морфологического анализа и построения так называемых «остовов» (скелетизации) [1]. Пользовательский интерфейс приложения ImageJ показан на рисунке 1.

Хотя ImageJ обладает впечатляющими техническими возможностями, на практике его использовать бывает непросто. Главная проблема в том, что его нужно устанавливать локально, и он сильно завязан на среду Java. На сегодняшних компьютерах, особенно в больницах, где действуют строгие правила безопасности, это может стать настоящей проблемой. К тому же, его внешний вид, сделанный на старых библиотеках, выглядит не очень понятно для тех, кто не разбирается глубоко в обработке сигналов. Это особенно неудобно для врачей, которые не являются техническими специалистами. Важно также отметить, что изначально эту платформу создавали для изучения биологических микропрепаратов. Чтобы работать с томографическим форматом DICOM, приходится ставить дополнительные плагины, что, конечно, усложняет работу.

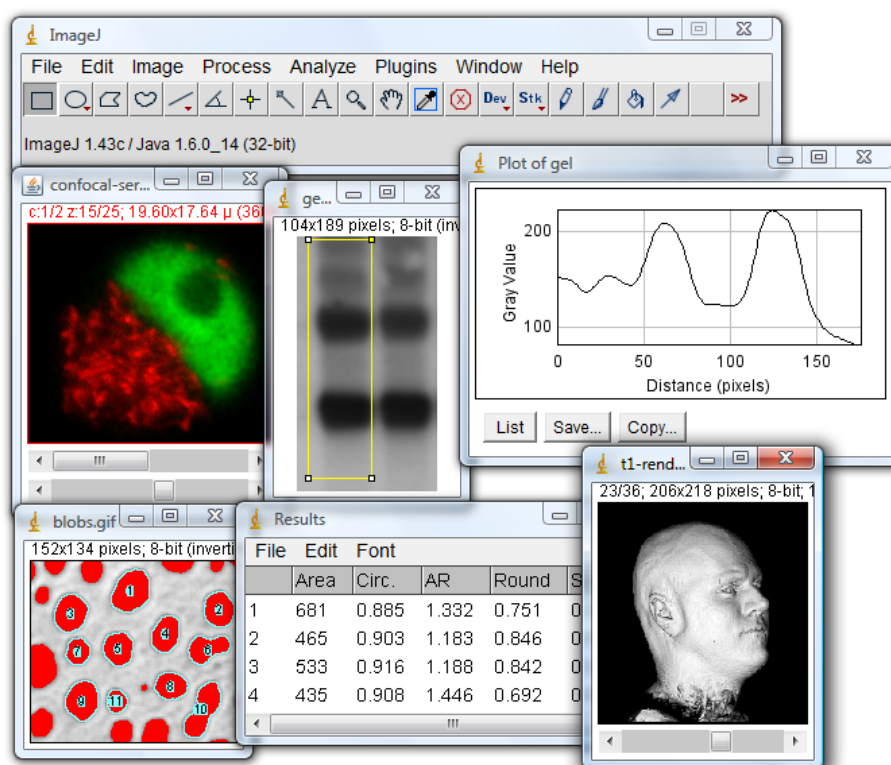


Рисунок 1 – Пользовательский интерфейс приложения ImageJ

Совершенно другой по своим возможностям и задачам инструмент – это система 3D Slicer. Этот программный комплекс с открытым исходным кодом уже широко применяется в повседневной работе клиник. 3D Slicer может делать почти всё, что связано с медицинскими изображениями: от простого импорта и расшифровки DICOM-файлов до сложной трёхмерной реконструкции, частичной автоматической сегментации и подготовки к операциям [2]. Наличие встроенных вычислительных модулей позволяет выполнять операции гауссова и медианного сглаживания, бинаризацию по порогу, эрозию и дилатацию. Пример интерфейса платформы представлен на рисунке 2.

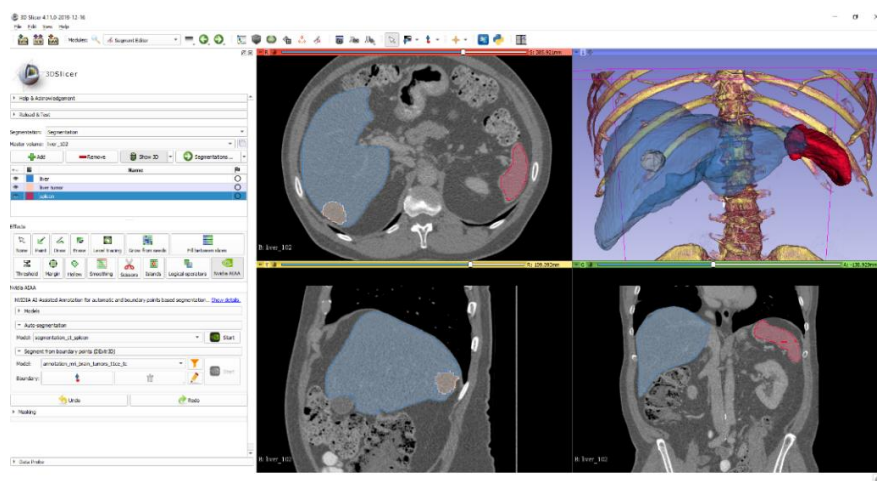


Рисунок 2 – Интерфейс платформы 3D Slicer

Главное различие кроется в целевой аудитории. 3D Slicer – это инструмент для профессионалов узкой квалификации (радиологов, хирургических бригад, научных сотрудников), которым доступна ручная и автоматическая коррекция масок, методы глубокого обучения и визуализация объёмных данных. Для задач же первичной обработки отдельных двумерных МРТ-слоёв в учебных или скрининговых целях данная программа оказывается слишком сложной. Избыточный интерфейс, обязательное погружение в логику трёхмерных координат и высокие

требования к программному обеспечению делают её неоптимальным выбором в условиях дефицита времени или при необходимости массового обучения в студенческих аудиториях.

В рамках исследовательских проектов нередко наблюдается отказ от монолитных программных пакетов в пользу более гибкой комбинации библиотек компьютерного зрения (OpenCV) и интерактивных вычислительных сред, таких как Jupyter Notebook. Такой подход предоставляет контроль над реализацией алгоритмов: от расчёта градиентов по методам Собеля или Лапласа до адаптивного вычисления порога и морфологических трансформаций. Все функции, заложенные в архитектуру веб-приложения, могут быть воспроизведены в коде Python. Как выглядит рабочая область Jupyter Notebook, показано на рисунке 3.

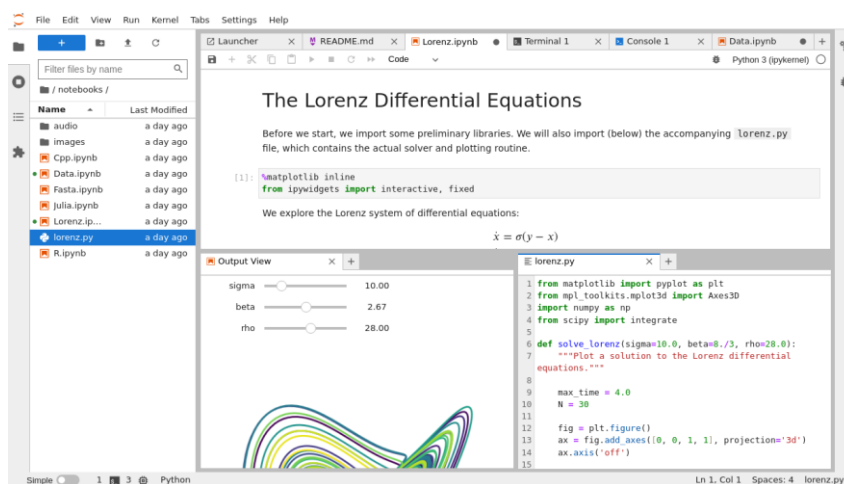


Рисунок 3 – Интерфейс среды разработки Jupyter Notebook

Но основной проблемой, которая мешает широко использовать такой подход вне медицины или в образовании, остаётся одно: нужно уверенно владеть программированием. Что-то, что специалисту кажется простым, например, применить фильтр Гаусса, от обычного пользователя потребует знаний: как работать с массивами NumPy, понимать принципы библиотеки Matplotlib для вывода данных и уметь отлаживать свой код.

МРТ показывает нам послойные изображения внутренних органов. Работает это так: томограф регистрирует, как протоны водорода в теле реагируют на сильное магнитное поле. Благодаря такому способу получения контраста, МРТ очень хорошо видит изменения в мягких тканях. Часто это то, что обычный рентген или компьютерная томография показать не могут.

Таким образом, первичные данные МРТ – это только начало большого анализа. Чтобы потом сегментировать, измерять формы или строить трёхмерные модели, крайне важна предварительная обработка. Она помогает убрать шумы и сделать нужные анатомические структуры более заметными. Анализ существующих программ показывает, что на рынке всё ещё нужен такой инструмент, который не был бы перегружен лишними функциями, как профессиональные системы вроде 3D Slicer. При этом он должен избавить пользователя от необходимости писать код, что сейчас приходится делать, если использовать связку OpenCV и Jupyter Notebook.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ImageJ: бесплатная программа для анализа и обработки изображений [Электронный ресурс] // Научные переводы. – URL: <https://xn--80aegsaabcbngm5a6c1ci.xn--p1ai/imagej/>
2. Абламейко С. В., Лагуновский Д. М. Обработка изображений: технология, методы, применение [Текст] / С. В. Абламейко, Д. М. Лагуновский. – Минск: [б. и.], 2009. – 304 с.

Сова Ксения Александровна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: Sova_K@bsuedu.ru

УДК 656.138

Научный руководитель:
Игрунова Светлана Владимировна,
доцент кафедры математического моделирования,
ВГУ (Воронеж, Россия)

Е.Е. СОМОВ, А.Д. ЕФАНОВ
E.E. SOMOV, A.D. EFANOV

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕНДА И КРАТКОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ РОССИЙСКОГО АВТОМОБИЛЬНОГО РЫНКА В УСЛОВИЯХ НЕСТАБИЛЬНОСТИ

TREND MODELING AND SHORT-TERM FORECAST OF THE RUSSIAN AUTOMOBILE MARKET IN AN UNSTABLE CONDITION

В статье рассматривается задача анализа и прогнозирования временных рядов на примере ежемесячных продаж новых легковых автомобилей в Российской Федерации за период 2019–2024 гг. Исследование направлено на выявление основной тенденции (тренда) и построение прогноза на первое полугодие 2025 года. Проведено сравнение линейной и полиномиальной моделей второй степени. На основе метрик MSE и коэффициента детерминации R^2 обоснован выбор нелинейной модели. Приведены результаты краткосрочного прогнозирования, демонстрирующие восстановление рынка.

Ключевые слова: временные ряды, анализ данных, тренд, полиномиальная регрессия, метод наименьших квадратов, прогнозирование, автомобильный рынок.

This article examines the problem of time series analysis and forecasting using monthly sales of new passenger cars in the Russian Federation for the period 2019–2024 as an example. The study aims to identify the main trend and construct a forecast for the first half of 2025. A comparison of linear and second-degree polynomial models is conducted. The choice of a nonlinear model is justified based on MSE metrics and the R^2 determination coefficient. Short-term forecasting results are presented, demonstrating market recovery.

Keywords: time series, data analysis, trend, polynomial regression, least squares method, forecasting, automobile market.

Современные экономические условия, характеризующиеся высокой волатильностью и воздействием внешних шоков (пандемия, геополитические изменения), требуют тщательного анализа рыночных индикаторов. Рынок новых легковых автомобилей является чувствительным индикатором состояния экономики, реагирующим на изменения покупательской способности и макроэкономической стабильности. Целью данной работы является построение адекватной математической модели, описывающей трендовую составляющую временного ряда продаж, и получение на её основе точечного прогноза. Источником данных послужили ежемесячные отчёты Автостата, Минпромторга России и Ассоциация европейского бизнеса [1-3]. Данные в источниках имеют незначительные отличия, поэтому используем средние значения.

Исходные данные представляют собой временной ряд ($\{y_t\}_{t=1}^{72}$), где (t) – порядковый номер месяца (от января 2019 до декабря 2024), (y_t) – объём продаж (шт.). Первичная визуализация данных, которая представлена на рисунке 1, позволяет выдвинуть гипотезу о наличии нелинейного тренда, обусловленного структурными сдвигами в 2020 и 2022 годах [1-3].

Для подтверждения наличия трендовой компоненты, а не только сезонных колебаний, был рассчитан ряд индексов сезонности как отношение фактических продаж к среднему значению за весь период: $I_t = \frac{y_t}{\bar{y}}$.

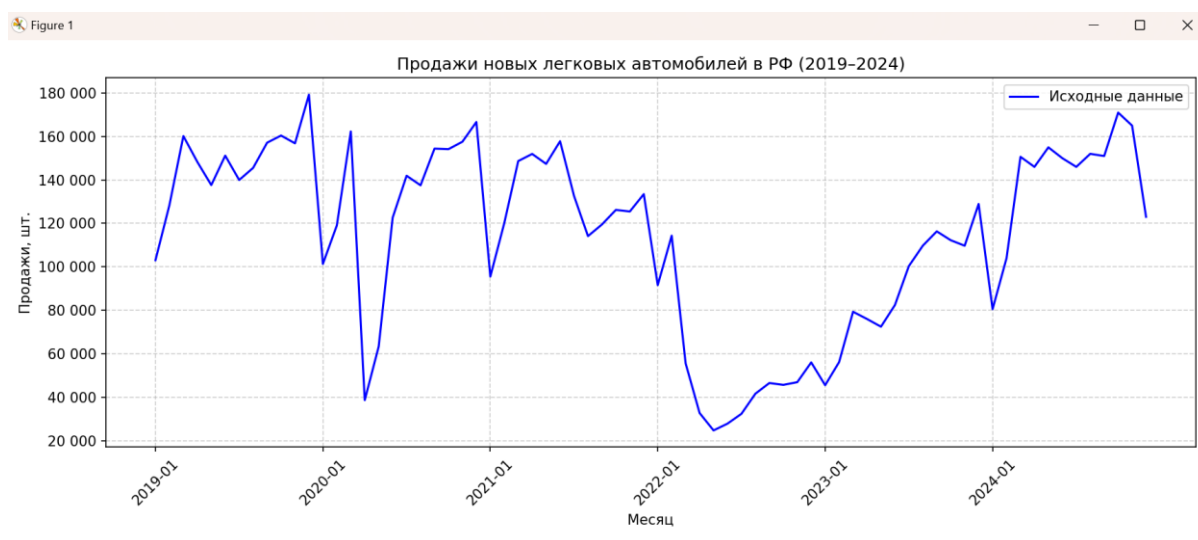


Рисунок 1 – Динамика ежемесячных продаж новых легковых автомобилей в РФ (2019–2024 гг.)

На рисунке 2 представлен график индексов, который демонстрирует длительные периоды отклонения от единицы (значительное падение в 2022 году и последующий рост), что свидетельствует о доминировании тренда над сезонной компонентой и невозможности использования простых сезонных моделей без учёта тенденции.



Рисунок 2 – Индексы сезонности продаж (отношение к среднему за период)

Для аппроксимации тренда были выбраны две модели: линейная (1) и полиномиальная 2-й степени (2). Выбор полинома второй степени обусловлен наличием одного «перегиба» тренда (спад после 2021 года и начало роста после 2022):

$$y_{t1} = a_1 t + a_0. \quad (1)$$

$$y_{t2} = b_2 t^2 + b_1 t + b_0. \quad (2)$$

Оценка коэффициентов (a_0, a_1) и (b_0, b_1, b_2) производилась методом наименьших квадратов (МНК) с использованием встроенных функций библиотеки NumPy. В результате получены следующие уравнения.

Линейная модель: $y_t = -421.53 \cdot t + 130094.41$.

Для центрированной переменной: $y_t = -441.3 \cdot t' + 105220$.

Полиномиальная модель: $y_t = 52.89 \cdot t^2 + -4282.22 \cdot t + 177709.59$.

Для центрированной переменной: $y_t = 48.2 \cdot (t')^2 - 315 \cdot t' + 110430$.

Визуальное сравнение моделей, представленное на рисунке 3, показывает, что линейная модель не способна адекватно отразить глубокий провал 2022 года и последующий восстановительный рост, в то время как квадратичная функция лучше адаптируется к нелинейной динамике.

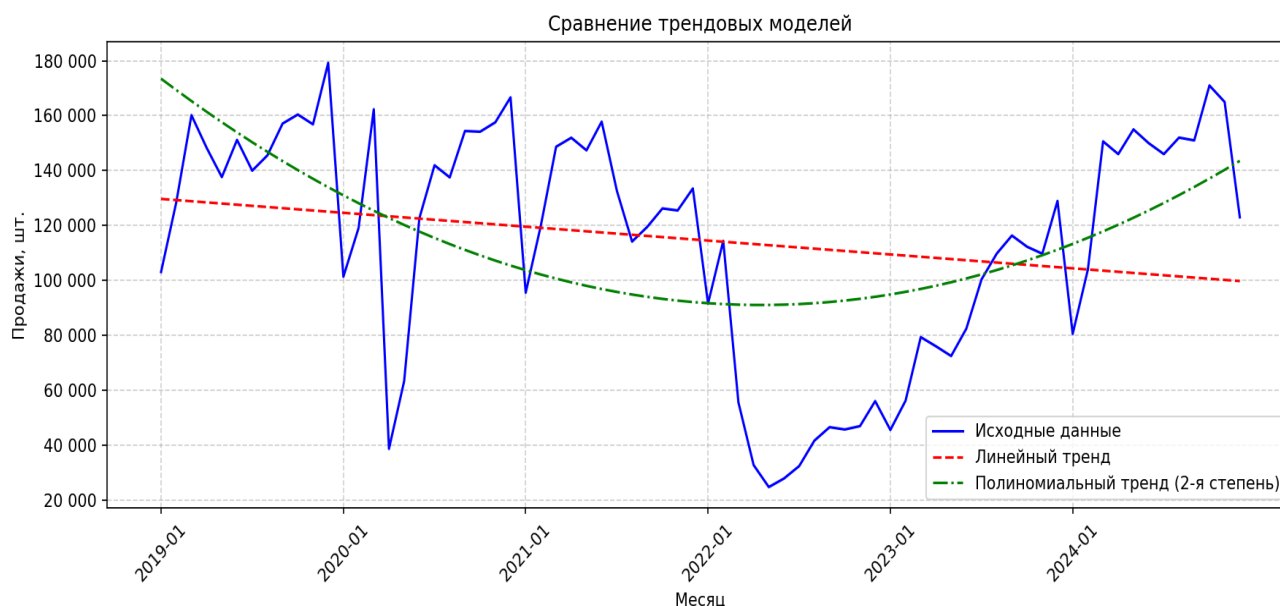


Рисунок 3 – Аппроксимация исходных данных линейной и полиномиальной моделями

Для упрощения вычислений и более точного, и наглядного построения графиков, был написан код в среде Python с использованием библиотек: pandas – для загрузки и преобразования данных, numpy – для полиномиальной аппроксимации методом наименьших квадратов (функция polyfit), matplotlib – для построения графиков исходного ряда, индексов сезонности, сравнения моделей и прогноза. Расчет метрик качества (MSE, R^2) выполнен с помощью модуля sklearn.metrics. Применение указанных библиотек позволило автоматизировать вычисления и обеспечить воспроизводимость результатов.

Для количественного сравнения точности моделей использовались среднеквадратическая ошибка (MSE) и коэффициент детерминации (R^2). Результаты расчетов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительный анализ точности моделей

Модель	MSE (тыс. шт.) ²	(R^2)
Линейная	1724.0	0.0426
Полиномиальная (2-я степень)	1306.8	0.2743

Коэффициент детерминации для полиномиальной модели ($R^2=0.2743$) означает, что выбранная модель объясняет лишь 27.4 % дисперсии зависимой переменной. Это низкий показатель, однако он существенно выше, чем для линейной модели ($R^2=0.0426$). Меньшее значение MSE (тыс. шт.)² также подтверждает предпочтительность полиномиальной модели, хотя обе модели демонстрируют невысокую точность из-за сильной волатильности исходных данных. Дальнейшее прогнозирование будет выполнено на основе полиномиальной модели.

С использованием полученных коэффициентов полинома был рассчитан прогноз на период ($t = 73...78$), что соответствует первому полугодью 2025 года (январь–июнь). Результаты прогнозирования представлены в таблице 2 и на рисунке 4.

Таблица 2 – Прогноз продаж на I полугодие 2025 года

Месяц 2025 г	Период (t)	Прогноз, шт
Январь	73	146938
Февраль	74	150430
Март	75	154028
Апрель	76	157732
Май	77	161541
Июнь	78	165456

Согласно полученным данным, прогнозируется увеличение среднемесячных продаж до уровня 160–165 тыс. автомобилей к середине 2025 года. Это свидетельствует о постепенном возвращении рынка к показателям 2019 года, хотя и с изменённой структурой спроса и предложения.



Рисунок 4 – Прогноз продаж новых автомобилей на I полугодие 2025 г.

В ходе исследования был проведён анализ временного ряда продаж новых легковых автомобилей в России. Установлено, что динамика ряда носит выраженный нелинейный характер. Сравнение линейной и полиномиальной регрессионных моделей по критериям MSE и R^2 показало, что полином второй степени является более адекватным инструментом для описания тренда ($MSE = 1306,8$ (тыс. шт.)², $R^2 = 0.2743$).

Построенный на основе выбранной модели прогноз указывает на продолжение тенденции восстановления рынка. Полученные результаты могут быть полезны для аналитических отделов автопроизводителей и дилерских центров. Направлением дальнейших исследований является включение в модель сезонной компоненты и анализ остатков на предмет автокорреляции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пресс-релиз от 5 августа 2024 <Ассоциация европейского бизнеса> [Электронный ресурс] URL: [https:// https://aebrus.ru/upload/iblock/8a6/RUS-car-sales-July-2024.pdf](https://aebrus.ru/upload/iblock/8a6/RUS-car-sales-July-2024.pdf) – (Дата обращения: 15.04.2026). – Текст: электронный.
2. Министерство промышленности и торговли РФ. «Автомобильная промышленность». [Электронный ресурс]. URL: <https://minpromtorg.gov.ru/search?fragment=объём%20продаж%20автомобилей> – (Дата обращения: 15.04.2026). – Текст: электронный.
3. Продажи новых легковых автомобилей в России в июле 2024 года <Автостат аналитическое агенство> [Электронный ресурс] URL: <https://www.autostat.ru/press-releases/58218/> – (Дата обращения: 15.04.2026). – Текст: электронный.

4. Имитационная модель оптимизации параметров процесса усреднения для бункера перемешивания / О. Д. Иващук, О. О. Иващук, С. В. Игрунова [и др.] // Информационные технологии в науке, образовании и производстве (ИТНОП-2023) : Сборник трудов IX Международной научно-технической конференции, Белгород, 31 мая – 02 2023 года. – Белгород: Белгородский государственный национальный исследовательский университет, 2023. – С. 157-163. – EDN YHKNZH.

Сомов Егор Евгениевич

Воронежский государственный университет (г. Воронеж, Россия)

Студент кафедры математического моделирования

E-mail: igrunovasv@mail.ru

Ефанов Антон Дмитриевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: 1952650@bsuedu.ru

УДК 004.422.81

*Научный руководитель:
Шамраев Анатолий Анатольевич,
доцент кафедры информационных
и робототехнических систем,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

М.С. ТАРАРЫЕВ, В.В. ИГОЛКИНА, В.А. ЧУБ
M.S. TARARIEV, V.V. IGOLKINA, V.A. CHUB

РАЗРАБОТКА И ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ УЧЕТА РАДИОКОМПОНЕНТОВ ПРЕДПРИЯТИЯ

DEVELOPMENT AND PRACTICAL APPLICATION OF AN ENTERPRISE RADIO COMPONENT ACCOUNTING SYSTEM

Данная статья посвящена разработке системы учета радиоэлектронных компонентов (РЭК) в условиях мелкосерийного производства. Предложено решение на базе платформы 1С, особенностью которого является учет в разрезе складских ячеек и характеристик, а также прямой автоматический импорт данных из BOM-файла, экспортированного из ECAD EasyEDA.

Ключевые слова: система учета, складское хозяйство, радиоэлектроника, мелкосерийное производство.

This article is devoted to the development of an accounting system for electronic components (EC) in the context of small-scale production. A solution based on the 1C platform is proposed, the distinctive feature of which is inventory tracking by storage bins and characteristics, as well as direct automatic import of data from a BOM file exported from ECAD EasyEDA.

Keywords: accounting system, warehouse management, radio electronics, small-scale production.

В современных условиях импортозамещения и активного развития отечественной приборостроительной отрасли, в организациях, осуществляющих свою деятельность в области разработки электронных устройств, возникает потребность в автоматизации специфики количественного учета электронных компонентов с различной функциональностью и характеристикой.

Большинство компаний, работающих в сфере создания электронных устройств различного назначения, одной из которых является ООО «АНТРЕЛ-Автоматизация», для которой и было разработано приведенное в данной статье решение, встречаются с проблемой складского и производственного (управленческого) учета радиоэлектронных компонентов (РЭК). Особенно важной является указанная проблема в сфере практической работы разработчиков и инженеров-программистов, работающих в условиях одновременного множества целевых заказов, в спецификациях которых используются однотипные компоненты. Сложность заключается и в том, что несмотря на наличие в типовых конфигурациях различной глубины организованного аналитического учета, это не в полной мере решает вопрос интеграции со средами автоматизации проектирования (САПР) электроники (EasyEDA и Altium) в части подгрузки списка используемых в проекте компонентов согласно спецификации, а также возможной интеграции с существующими бухгалтерскими системами.

Другим проблемным вопросом является необходимость учета и поиска компонентов в разрезе их технических характеристик и особенности наименования данных характеристик в перечисленных САПР.

Все это обуславливает актуальность выбранной темы статьи.

Радиоэлектронные компоненты – это базовые элементы электронных устройств, обеспечивающие их функциональность.

Специфика учета РЭК обусловлена их многономенклатурностью, широким спектром критичных характеристик (типоразмер, допуск, ТКЕ) и малыми габаритами, осложняющими адресное хранение.

Еще одной проблемой современных решений является отсутствие интеграции с САПР – проектировщики работают в средах (Altium, EasyEDA), где формируются спецификации компонентов, но их синхронизация с учетными системами часто отсутствует.

Для определения вектора дальнейшей разработки был проведен сравнительный анализ имеющихся в настоящее время на рынке похожих программных продуктов, с этой целью на основе полученной в процессе исследования информации была сформирована таблица 1, отражающая итоги сравнительного анализа современных учетных систем:

Таблица 1 – Сравнительный анализ современных отечественных и зарубежных систем программных продуктов в области учета

Программный продукт	Страна-разработчик	Тип лицензии	Архитектура системы
PartKeeper	Германия	Open-Source	Web (PHP/MySQL)
Altium 365	США	Subscription (Cloud)	SaaS (Облачная)
ERP-система «Галактика»	Россия	Проприетарная	Клиент-серверная
Платформа 1С и типовые конфигурации на ее основе	Россия	Проприетарная	Клиент-серверная
МойСклад	Россия	Subscription (SaaS)	Web (Облачная)
Лоцман:PLM	Россия	Проприетарная	Клиент-сервер

Анализ факторов внешней среды (санкционные риски, требования к импортозамещению ПО для участия в тендерах) и внутренних регламентов ООО «АНТРЕЛ-Автоматизация» (необходимость работы в режиме «белых списков» доступа к сети Интернет) накладывает жесткие ограничения на выбор инструментария. Иностранные продукты и облачные (Web-ориентированные) сервисы были признаны неприемлемыми для решения задачи ведения учета РЭК ввиду невозможности обеспечения полной автономности и безопасности данных.

Наиболее рациональным решением, отвечающим потребностям предприятия, является использование решений на основе платформы «1С:Предприятие 8.3» в качестве фундамента, данный выбор был обусловлен возможностями самой среды, сочетающей в себе функционал промышленной СУБД с гибкими инструментами интеграции с инженерным ПО. Следуя логике исследования, целесообразно также произвести выбор конкретной стратегии решения поставленной задачи организации учета РЭК.

Нами также был произведен анализ и сравнение готовых типовых решений «1С:Предприятие 8.3» в части складского учета материалов по сравнению с собственной реализацией на той же платформе. Сравнительная характеристика выбранных решений представлена в таблице 2.

На основе проведенного анализа было выявлено, что ни одно из существующих типовых решений не удовлетворяет одновременно критериям легкости интерфейса, низкой стоимости владения и специфической интеграции с ECAD-системами (EasyEDA/Altium). Учитывая выявленные недостатки систем, было принято решение о разработке специализированной конфигурации «с нуля» на платформе «1С:Предприятие 8.3».

Предлагаемый нами метод реализации признан полностью оправданным, так как позволяет достичь ряд стратегических преимуществ, перечисленных в таблице 3, особенностью которой является структура хранения характеристик и возможность автоматической подгрузки данных из ECAD EasyEDA

В целом, разработка предлагаемого нами индивидуального решения является оптимальным балансом между функциональной мощностью промышленной СУБД и гибкостью локального средства автоматизации.

Таблица 2 – Сравнительный анализ готовых типовых решений «1С:Предприятие 8.3» в части складского учета РЭК по сравнению с собственной реализацией по сформированным критериям

Критерий	1С:ERP	1С:УТ / 1С:КА	1С:PDM	Спец. конф. 1С (разработка)
Многопользовательский режим	5	5	5	5
Гибкость/Скорость разработки	1	2	2	5
Целостность данных	5	5	5	5
Низкая стоимость владения	1	3	2	4
Автономность	5	5	5	5
Интеграционные возможности	2	2	3	5
ИТОГО	19	22	22	29

Таблица 3 – Стратегические преимущества автоматизации учета РЭК посредством специализированной конфигурации на платформе «1С:Предприятие 8.3»

Направление стратегического преимущества	Содержание стратегического преимущества	Результат практического применения стратегического преимущества
микро-сервисный подход	в систему закладывается только тот функционал, который реально используется в ОВС (учет номиналов, аналогов и складских ячеек)	позволяет исключить избыточность интерфейсов типовых решений и значительно снизить количество ошибок персонала
интеграционный потенциал, обозначенный через собственную архитектуру	позволяет создать «бесшовный» механизм парсинга спецификаций (BOM) напрямую из EasyEDA и обеспечивающий глубокую интеграцию с инженерным ПО	сокращающий время постановки изделия на учет с нескольких часов до нескольких минут
экономическая эффективность	через использование базовых объектов платформы исключает необходимость покупки дорогостоящих отраслевых модулей (PLM/WMS)	сохраняется возможность последующей выгрузки данных в «1С:Бухгалтерию 3.0», уже эксплуатируемую на предприятии, что гарантирует преемственность учетных данных

Для автоматизации учета РЭК в ООО «АНТРЕЛ-Автоматизация» нами была разработана специализированная конфигурация на платформе «1С:Предприятие 8.3», одной из особенностей которой является структура хранения характеристик и возможность автоматической подгрузки данных из ECAD EasyEDA.

В основе решения лежит использование следующих основных объектов метаданных:

- справочник «Номенклатура» представляет собой классический справочник 1С, содержащий одновременно как атомарные компоненты, так и продукцию компании со спецификациями (для реализации гибкого механизма вложенности), а также с внедренной возможностью подкрепления изображений и документации как компонентов, так и изделий;
- справочник «Складские ячейки» реализован для адресного хранения малогабаритных компонентов;
- регистр накопления «Остатки Материалов» – типовой механизм платформы 1С, доработанный в части возможности фильтрации остатков по привязке к конкретной ячейке;
- механизм импорт BOM из EasyEDA в составе формы номенклатуры как ключевой модуль системы. Алгоритм обработки позволяет выполнить парсинг файла выгрузки любого формата Excel посредством COM соединения и автоматически сопоставить позиции

спецификации с имеющийся информацией как компонентов так и их характеристик. В случае отсутствия компонента программа автоматически дополняет базу данных недостающей информацией.

На рисунке 1 представлен интерфейс рабочего места оператора склада РЭК.

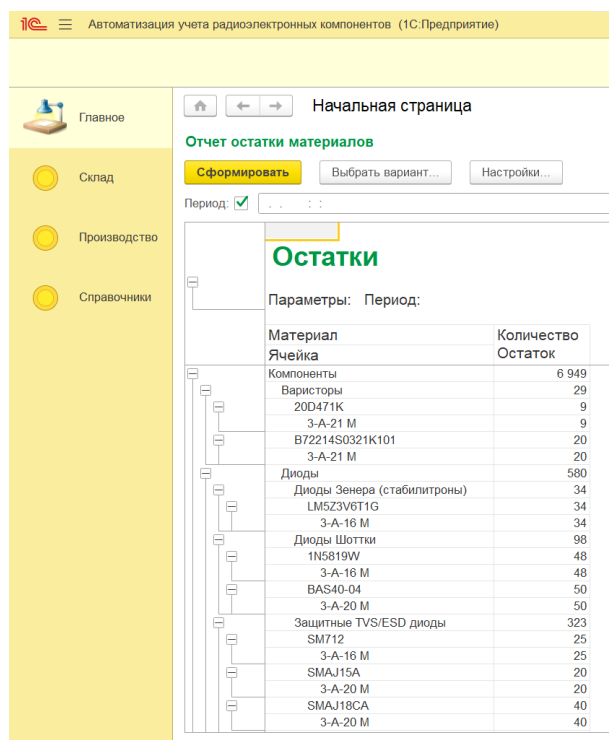


Рисунок 1 – Форма списка номенклатуры с отбором по характеристикам

На рисунке 2 представлен результат работы обработки загрузки BOM-файла.

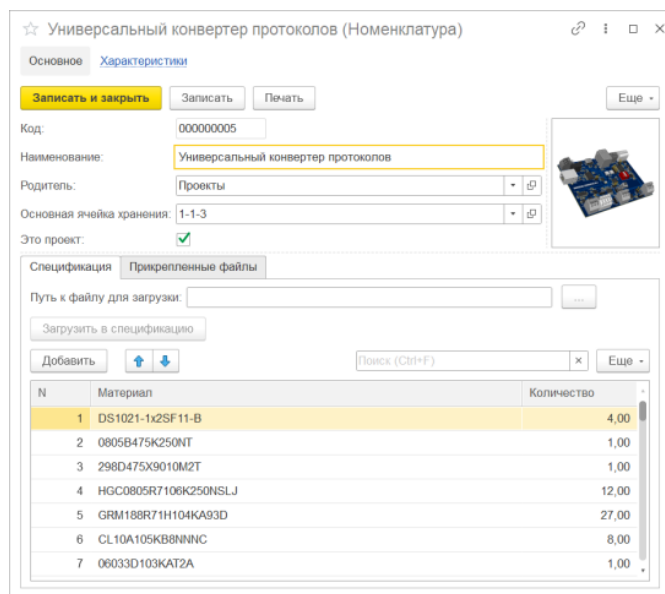


Рисунок 2 – Результат автоматического импорта спецификации из EasyEDA

Практическая апробация в течение полугода эксплуатации на предприятии показала, что время, затрачиваемое складским рабочим на заполнение данных об компонентах и продукции, сократилось с 40-60 минут (при ручном поиске компонентов и вводе BOM) до 5-7 минут, затраченных на одну позицию.

Таким образом, проведенный нами сравнительный анализ современных отечественных и зарубежных систем программных продуктов в области учета материалов, а также

сравнительный анализ готовых типовых решений «1С:Предприятие 8.3» в части складского учета конкретно РЭК по сравнению с собственной реализацией по сформированным критериям, позволили выделить целые направления стратегических преимуществ автоматизации учета РЭК посредством специализированной конфигурации на платформе «1С:Предприятие 8.3» и сформулировать особенности структуры хранения характеристик с возможностью автоматической подгрузки данных из ECAD EasyEDA. А практическая реализация и внедрение проекта позволилократно увеличить эффективность работы отдела встраиваемых систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов, Н. И. Особенности производственного учета в решении «1С: ERP Управление предприятием» для упрощения анализа данных / Н. И. Абрамов, Ю. Н. Нестеренко // Контентус. – 2024. – № 3(140). – С. 3-12. – DOI 10.24411/2658-6932-2024-03-3-12. – EDN GHIOLE.
2. Магомаева, Л. Р. Автоматизация бизнес-процессов на крупных предприятиях: сравнительный анализ 1С:ERP и 1С:КА / Л. Р. Магомаева, Ш. С. Кадыров // Электронный экономический вестник Татарстана. – 2023. – № 2. – С. 55-61. – EDN KSTQBM.
3. Савина, А. Г. Развитие функциональности механизмов технологической платформы 1С: Предприятие для расширения возможностей адаптации типовых конфигураций / А. Г. Савина, Л. И. Малявкина // Образование и наука без границ: фундаментальные и прикладные исследования. – 2023. – № 18. – С. 79-87. – DOI 10.36683/2500-249X/2023-18/79-87. – EDN EICWRD.
4. Тхаркахова, И. Г. Проблемы и перспективы цифровизации налогового учета: сравнительный анализ функционала программных продуктов / И. Г. Тхаркахова // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия: Экономика. – 2025. – № 3(365). – С. 197-203. – DOI 10.53598/2410-3683-2025-3-365-197-203. – EDN XLTLTK.
5. Хачатрян, Д. Д. Сравнительный анализ отечественных и зарубежных систем электронного документооборота / Д. Д. Хачатрян, М. В. Перова // Исследования. Инновации. Практика. – 2025. – № 3(16). – С. 77-81. – EDN GBPAYH.
6. Эркенова, М. У. Сравнительный анализ существующих CRM-систем и возможности их адаптации на 1С: Предприятие 8.3 / М. У. Эркенова, И. А. Хачиров // Тенденции развития науки и образования. – 2024. – № 116-19. – С. 177-180. – DOI 10.18411/trnio-12-2024-897. – EDN KCSZFU.

Тарарьев Матвей Сергеевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)
Студент кафедры информационных и робототехнических систем
E-mail: 1723502@bsuedu.ru

Иголкина Виктория Викторовна

АНО ВО «Белгородский университет кооперации, экономики и права» (г. Белгород, Россия)
Доцент кафедры бухгалтерского учета, анализа и статистики
E-mail: vika.igolckina@yandex.ru

Чуб Владимир Александрович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)
Студент кафедры прикладной информатики
E-mail: chubys@yandex.ru

УДК 004.89

*Научный руководитель:
Польщиков Константин Александрович,
профессор кафедры информационных
и робототехнических систем,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

М.О. ТЕРСКИЙ
M.O. TERSKIY

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ ПОВТОРЕНИЙ ИНФОРМАЦИОННЫХ БЛОКОВ В СЕТИ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ МОНИТОРИНГА ДОБЫЧИ ГАЗА

AUTOMATED SYSTEM FOR CONTROLLING THE PARAMETERS OF INFORMATION BLOCKS REPETITIONS IN THE INTERNET OF THINGS NETWORK FOR MONITORING GAS PRODUCTION

Предложена схема автоматизированной системы управления параметрами повторений информационных блоков в сети интернета вещей мониторинга добычи газа. Разработано программное обеспечение для реализации логики работы системы. Проведены имитационные и вычислительные эксперименты, результаты которых показали, что применение предложенной системы позволяет обеспечить требуемые вероятностно-временные характеристики доставки сообщений в беспроводной сети мониторинга технологического процесса добычи газа в условиях возникновения предаварийных ситуаций на контролируемом оборудовании.

Ключевые слова: промышленный интернет вещей, мониторинг добычи газа, автоматизированная система, беспроводная сеть, повторения информационных блоков, телеметрические сообщения.

An automated system for managing the parameters of information block repetitions in an Internet of Things network for monitoring gas production is proposed. Software for implementing the system's operational logic has been developed. Simulation and computational experiments have demonstrated that the proposed system ensures the required probabilistic and temporal characteristics of message delivery in a wireless network for monitoring gas production processes during pre-emergency situations at the monitored equipment.

Keywords: Industrial Internet of Things, gas production monitoring, automated system, wireless network, information block repetitions, telemetry messages.

Цифровые технологии удаленного мониторинга активно используются в целях решения различных прикладных задач [1–8]. Для контроля функционирования производственного оборудования внедряются беспроводные сети промышленного интернета вещей [9; 10]. Они применяются, в частности, для обеспечения мониторинга добычи газа. При этом многочисленные оконечные сенсорные устройства подключаются к базовым станциям для передачи данных о техническом состоянии контролируемого оборудования на сервер центра принятия решений. В целях повышения качества доставки телеметрических сообщений в сети интернета вещей применяются многократные повторения информационных блоков.

Разработана автоматизированная система управления параметрами повторений информационных блоков в сети интернета вещей мониторинга добычи газа. Схема системы представлена на рисунке. Система установлена в центре принятия решений, в котором формируются команды для необходимых управляющих воздействий. Оконечные устройства, подключенные к беспроводной сети мониторинга добычи газа, передают на сервер телеметрические сообщения о состоянии контролируемого оборудования. Значительную часть времени оконечные устройства находятся в спящем режиме. Когда необходимо передать сообщения, они пытаются связаться с базовой станцией, направляя преамбулы по каналам случайного доступа. В процессе приема базовой станцией преамбул определяется текущее отношение «сигнал / шум» (Signal-to-Noise Ratio, SNR) с помощью модуля измерения SNR.

Параллельно с помощью модуля подсчета NRP формируются данные о числе корректно обнаруженных преамбул в окне канала случайного доступа. Затем эти данные поступают в модуль оценивания NTP, с помощью которого вычисляется количество оконечных устройств, пытающихся связаться с базовой станцией в текущем окне канала случайного доступа.

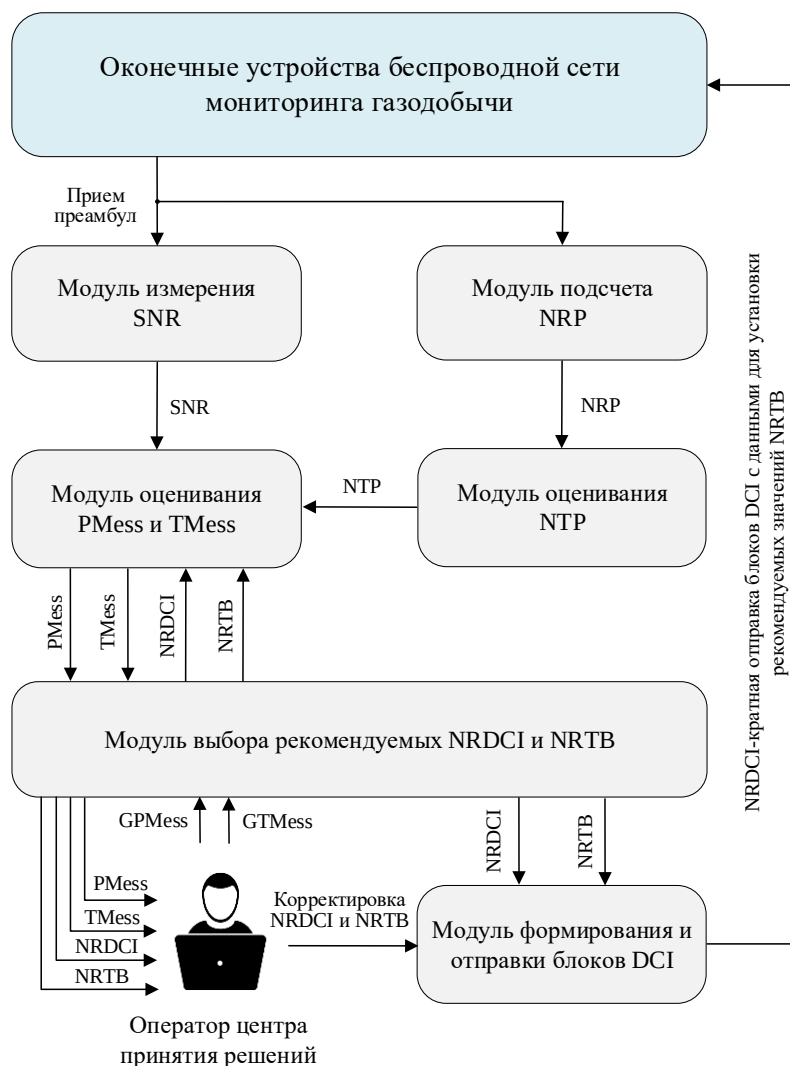


Рисунок – Схема предлагаемой автоматизированной системы

Далее измеренные данные о значениях *SNR* и вычисленные данные о значениях *NTP* (числе передаваемых преамбул) поступают в модуль оценивания *PMess* и *TMess*. Здесь в соответствии с предложенным алгоритмом вычисляются значения вероятности и среднего времени доставки сообщений, которые передаются в модуль выбора рекомендуемых *NRDCI* и *NRTB*. Из этого модуля в обратном направлении поступают текущие данные о значениях *NRDCI* (число повторений управляющей информации) и *NRTB* (число повторений транспортного блока), используемых в процессе вычисления величин вероятности *PMess* и среднего времени *TMess* доставки телеметрических сообщений.

С использованием логики предложенного алгоритма в модуле выбора рекомендуемых *NRDCI* и *NRTB* оцениваются рекомендуемые значения параметров повторений информационных блоков. При этом используются величины *GPMess* и *GTMess* – требуемые значения вероятности и среднего времени доставки телеметрических сообщений, устанавливаемые оператором центра принятия решений. В свою очередь, этот оператор, контролируя отображаемые данные о вычисленных характеристиках качества доставки сообщений и рекомендуемых параметрах повторений информационных блоков, имеет возможность скорректировать значения *NRDCI* и *NRTB* с помощью интерфейса модуля их формирования и отправки. В результате работы этого модуля осуществляется *NRDCI*-кратная

отправка блоков управляющей информации (Downlink Control Information, DCI) с данными для установки рекомендуемых значений *NRTB* на сетевых оконечных устройствах.

Разработано программное обеспечение, реализующее логику работы предложенной системы с учетом возникновения предаварийных ситуаций на контролируемом оборудовании. С использованием указанного программного обеспечения было выполнено имитационное моделирование в специализированной программной среде OMNeT++ (Objective Modular Network Testbed in C++) для оценивания показателей качества доставки данных в NB-IoT-сети. Кроме того, с аналогичными исходными данными проведены вычислительные эксперименты в среде Mathcad. Получены данные о том, что максимальное расхождение между результатами имитационного моделирования и вычислительных экспериментов для величины *TMess* не превышает 7,16 % и для величины *PMess* не превышает 8,24 % при значениях *SNR*, соответствующих реальным условиям добычи газа. Это подтверждает обоснованность принятия решений, рекомендуемых разработанной системой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Clusters partition algorithm for a self-organizing map for detecting resource-intensive database inquiries in a geo-ecological monitoring system / T.N. Mahdi, J.Q. Jameel, K.A. Polshchykov [et al.] // Periodicals of Engineering and Natural Sciences. – 2021. – Vol. 9, No. 4. – P. 1138–1145.
2. Yaser, M. Ja. Algorithm for ensuring the minimum power consumption of the end node in the LoRaWAN network / M.Ja. Yaser, K.A. Polshchykov, I.K. Polshchikov // Periodicals of Engineering and Natural Sciences. – 2023. – Vol. 11, No. 4. – P. 168-174.
3. Джамил, К.Д.К. Модель передачи видеопотоков в летающей беспроводной самоорганизующейся сети / К.Д.К. Джамил, Р.В. Лихошерстов, К.А. Польщиков // Экономика. Информатика. – 2022. – Т. 49, № 2. – С. 403–415.
4. Ясир, М.Д.Я. Модель доставки сообщения в сенсорной сети с низким энергопотреблением / М.Д.Я. Ясир, К.А. Польщиков, В.И. Федоров // Экономика. Информатика. – 2023. – Т. 50, № 2. – С. 439-447.
5. Модель доставки сообщений в процессе управления выпасом животных на основе применения сети интернета вещей и беспилотного летательного аппарата / Д.К.Д. Карви, К.А. Польщиков, М.Е. Маматов, Д.А. Голдобин // Экономика. Информатика. – 2025. – Т. 52, № 1. – С. 227-238.
6. An algorithm for controlling the transmission of video streams in a flying ad hoc network / S.M.M Alghazali, W.K.M. Aljeazna, M.N. Rasol [et al.] // IAES International Journal of Artificial Intelligence. – 2025. – Vol. 14, No. 5. – P. 4290.
7. Polshchykov, K. The methodology of modeling available for data traffic bandwidth telecommunications network / K. Polshchykov, S. Olexij, N. Rvachova // Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science – Proceedings of the 10th International Conference, TCSET'2010, Lviv-Slavske, 23–27 февраля 2010 года. – Lviv-Slavske, 2010. – P. 158.
8. Intelligent Control for Video Broadcasting in Flying Ad Hoc Networks: A Simulation Study / A.A.O. Al-Shamkhee, M.D.H. Almawlawe, K.A. Polshchykov, R.V. Likhosherstov // The Eurasia Proceedings of Science, Technology, Engineering & Mathematics (EPSTEM). – 2025. – Vol. 37. – P. 141-149.
9. Балакшин, МС. Оценивание характеристик доставки данных в системе промышленного Интернета вещей / М.С. Балакшин, К.А. Польщиков // Современные наукоемкие технологии. – 2024. – № 8. – С. 35-40.
10. Estimating the Message Delivery Probability Without Duplication in an Industrial Internet of Things Network System / M.J. Yaser, D. Abdullateef, K.A. Polshchykov, M.S. Balakshin // Journal of Advances in Information Technology. – 2025. – Vol. 16, No. 6. – P. 830-837.

Терский Максим Олегович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Аспирант кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: mailbox4job@mail.ru

Научный руководитель:
Заева Ольга Геннадьевна,
старший преподаватель кафедры
информационных и робототехнических систем,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)

И.И. ТОКАРЕВ, Т.А. НЕСТЕРОВА
I.I. TOKAREV, T.A. NESTEROVA

СИСТЕМЫ ДЛЯ ПОИСКА ПУТИ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ MOBILE ROBOTIC PATHFINDING SYSTEMS

В статье рассматриваются фундаментальные составляющие мобильных роботов: сенсорные системы, исполнительные механизмы и управляющие модули. Анализируется иерархическая структура навигации и замкнутый цикл взаимодействия с внешней средой. Приводится сравнительный анализ современных методов поиска пути: от классических графовых алгоритмов до вероятностных, геометрических и интеллектуальных подходов. Обсуждаются тенденции интеграции с SLAM-системами, применения ROS2/Nav2 на платформе TurtleBot4, а также использование больших языковых моделей для генерации навигационных стратегий. Отдельное внимание уделено гибридизации методов и областям применения – от чрезвычайных ситуаций до складской логистики.

Ключевые слова: мобильная робототехника, планирование траектории, RRT, SLAM, сенсорные системы, CoppeliaSim.

This article examines the fundamental components of mobile robots: sensor systems, actuators, and control modules. It analyzes the hierarchical structure of navigation and the closed-loop interaction with the external environment. A comparative analysis of modern pathfinding methods is provided, ranging from classical graph algorithms to probabilistic, geometric, and intelligent approaches. Trends in integration with SLAM systems, the application of ROS2/Nav2 on the TurtleBot4 platform, and the use of large language models for generating navigation strategies are discussed. Special attention is given to the hybridization of methods and application areas, ranging from emergency situations to warehouse logistics.

Keywords: mobile robotics, path planning, RRT, SLAM, sensor systems, CoppeliaSim.

В состав любого роботизированного комплекса входят три ключевых компонента: сенсорная система, исполнительные механизмы, или эффекторы (для взаимодействия с внешней средой), и управляющий модуль, отвечающий за выполнение целевых операций. (рисунок 1).

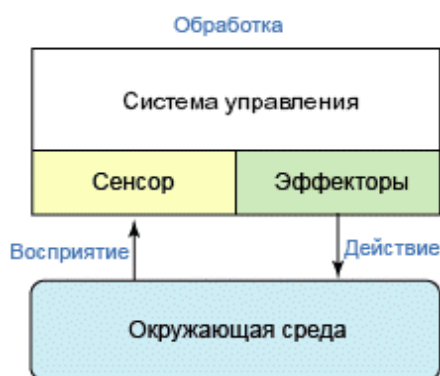


Рисунок 1 – Фундаментальные составляющие робототехнических систем

Анализ окружающего пространства мобильным роботом (МР) осуществляется посредством широкого спектра измерительных приборов: от дистанционных и температурных сенсоров до детекторов химических веществ и радиационного фона. Для активного изменения положения объектов или собственного перемещения в пространстве применяются двигательные установки, выступающие в роли эффекторов. Как показано на рисунке 2, в замкнутой системе регистрируемые сенсорами изменения среды инициируют работу управляющих контуров.



Рисунок 2 – Схема замкнутого цикла взаимодействия робота с внешней средой

Этот процесс реализуется через механизм обратной связи: когда блок управления инициирует действие, влекущее трансформацию среды, сенсоры фиксируют новое состояние и передают соответствующие данные в систему для последующей корректировки. Применение мобильных роботов позволяет минимизировать риски для жизни и здоровья человека-оператора. В связи с этим особую значимость приобретает разработка автономных платформ, способных к самостоятельной локомоции и реализации поставленных задач без внешнего вмешательства. Ключевым аспектом здесь выступает создание навигационной подсистемы, обеспечивающей картирование рабочей зоны, прокладку оптимального маршрута к цели и преодоление препятствий.

На современном этапе развития техники распространена практика прямого управления роботами человеком-оператором на уровне отдельных движений. Данный подход требует непрерывного контроля и быстрой реакции, что обусловлено ограниченной автономностью самой машины. К числу его недостатков относится необходимость поддержания стабильного канала связи (проводного или радио), что сужает сферу применения устройств. Кроме того, оператор, получая визуальную информацию от систем технического зрения, вынужден одновременно управлять манипуляторами и шасси. Высокая когнитивная нагрузка в сочетании с необходимостью соблюдать осторожность ведет к быстрому утомлению и росту вероятности ошибок. Нередко человек не в состоянии адекватно интерпретировать телеметрические данные для точного управления. Решением является переход от управления движениями к управлению целеполаганием, когда робот, получив общую задачу, выполняет ее автономно или при минимальном участии оператора.

Два десятилетия назад задачи навигации роботов казались относительно простыми: предполагалось, что достаточно наделить машину способностью распознавать образы и измерять дистанции до объектов. Ранние навигационные системы базировались на сканирующих устройствах. Вычислительные блоки преобразовывали электрические сигналы в примитивные модели препятствий, оперируя такими категориями, как «стена», «обрыв», «наклон», что позволяло принимать решения о характере движения. В современной практике процесс технического зрения при навигации принято делить на три иерархических уровня, соответствующих дальнему, среднему и ближнему обзору (рисунок 3).

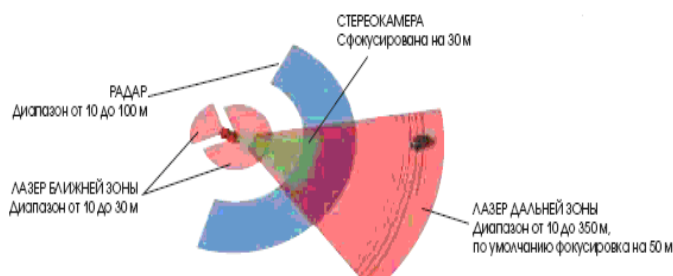


Рисунок 3 – Зоны навигации

Система дальней навигации отвечает за глобальное планирование траектории, где основной функцией машинного зрения является идентификация ориентиров. Оптическая схема включает объектив с переменным фокусом, блок управления камерой, поворотный механизм и модуль распознавания. Входными данными служат карты видимости, модели

ориентиров и описание целевой задачи. Представление о среде формируется на основе карт проходимости и положения самого робота. Система средней навигации оперирует более детализированной картой, являющейся частью глобальной. Ее задача – обеспечить движение в пределах гомогенных зон видимости, где маневрирование не требуется. Этот уровень обеспечивает сегментацию изображений, качественную оценку дистанций и уточнение маршрута. Система ближней навигации предназначена для точных измерений и анализа микроструктуры местности в непосредственной близости от робота. Она обрабатывает данные одометрии и курса, определяет безопасные зоны перемещения и планирует объезд препятствий. Отдельной подзадачей является следование по дорогам, включающее адаптацию к изменениям рельефа и взаимодействие с другими роботами. Процесс управления строится на нисходящей передаче целевых задач от более абстрактных уровней к конкретным исполнительным, при этом информация о состоянии системы движется в обратном направлении. Каждый навигационный уровень располагает собственной картой рабочей зоны и специализированными видеодатчиками.

Методы случайной выборки, включая PRM и RRT, сохраняют лидирующие позиции в современных исследованиях благодаря способности эффективно работать в пространствах высокой размерности и сложных средах с высокой плотностью препятствий. В исследовании Ayawli и соавторов, опубликованном в журнале *Robotica*, проведен сравнительный анализ трех популярных методов построения дорожных карт: диаграммы Вороного (VD), вероятностных дорожных карт (PRM) и быстро исследующих случайных деревьев (RRT). Оценка производилась на ста картах различной сложности с плотностью препятствий от 50.95% до 78.42% по трем критериям: длина пути, время вычислений и безопасность траектории. Базовый алгоритм RRT, предложенный профессором Стивеном ЛаВаллем, итеративно расширяет дерево в сторону случайно выбираемых точек конфигурационного пространства, обеспечивая вероятностную полноту и равномерное распределение вершин. Однако стандартный RRT не гарантирует оптимальности найденного пути. RRT* представляет собой оптимизированную версию, добавляющую две ключевые характеристики: хранение информации о пути (cost) для каждой вершины относительно родительской и анализ вершин в фиксированной окрестности от новой точки с выбором узла, обеспечивающего наименьшую стоимость. На рисунке 4 представлена схема расширения RRT, где X_{start} – начальная точка, X_{rand} – случайная точка, $X_{nearest}$ – ближайший узел дерева, X_{new} – новая вершина, добавляемая на шаге.

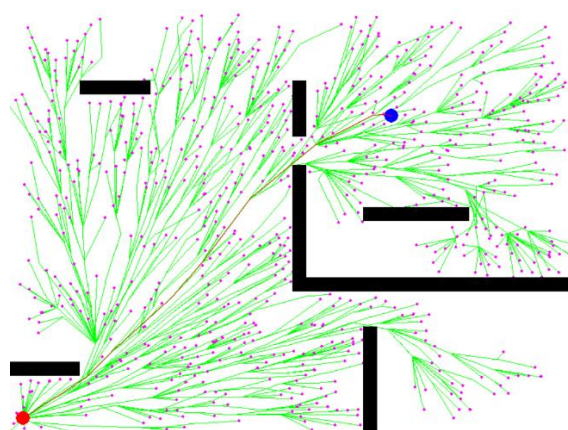


Рисунок 4 – Иллюстрация RRT

Современные тенденции демонстрируют тесную интеграцию алгоритмов планирования траекторий с системами одновременной локализации и построения карт (Simultaneous Localization and Mapping, SLAM). В исследовании, представленном на конференции IEEE ICCIT 2024, реализована система автономной навигации на базе робота TurtleBot4 с использованием ROS2 и Nav2. Архитектура включает следующие компоненты: SLAM Toolbox – инструмент для построения карты окружающей среды в реальном времени;

AMCL (Adaptive Monte Carlo Localization) – алгоритм локализации робота на построенной карте; набор алгоритмов поиска пути – Dijkstra, A, D и Dynamic Window Approach для планирования безопасных траекторий; Nav2 векторный контроллер – обеспечивает точное следование траектории с высокой скоростью. Экспериментальная валидация подтвердила эффективность предложенного подхода для крупномасштабной автономной навигации в различных неизвестных средах.

Современные обзоры фиксируют значительный рост публикаций по применению методов обучения с подкреплением (Reinforcement Learning, RL) и глубокого обучения (Deep Learning) для решения задач поиска пути. Прорывным направлением 2024–2025 годов становится применение больших языковых моделей для интерпретации команд на естественном языке и генерации навигационных стратегий. Основные направления исследований включают трансляцию естественно-языковых инструкций в последовательности навигационных действий, улучшение взаимодействия человека с роботом, принятие решений в условиях динамической неопределенности. Хотя количество публикаций по LLM в навигации пока невелико, данное направление рассматривается как наиболее перспективное для будущих исследований.

Устойчивой тенденцией является комбинирование различных подходов для преодоления ограничений отдельных методов. В литературе описаны следующие успешные гибридные решения: комбинация диаграммы Вороного с морфологическим расширением для планирования в сложных динамических средах; интеграция метода экстремального обучения машин (ELM) с улучшенным RRT; объединение метода искусственных потенциальных полей с вероятностными дорожными картами (PRM). Китайские исследователи Лю Цинюнь и соавторы (2025) представили комплексную классификацию, разделяющую алгоритмы на традиционные, sampling-based, интеллектуальные бионические и методы искусственного интеллекта, подчеркивая тенденцию к синтезу различных подходов. На основе анализа актуальных источников составлена сравнительная таблица характеристик основных методов поиска пути (таблица 1). В ней приведены категории, сильные стороны, ограничения и области применения для каждого метода: алгоритма Дейкстры, A, WaveFront, RRT, PRM, диаграммы Вороного, DWA и обучения с подкреплением.

Таблица 1 – Сравнительный анализ методов поиска пути для мобильных роботов

Метод	Категория	Сильные стороны	Ограничения	Области применения
Алгоритм Дейкстры	Графовый, классический	Гарантированное нахождение кратчайшего пути	Высокая вычислительная сложность $O(n^2)$, неэффективен при большой удаленности цели	GPS-навигация, сетевая маршрутизация, базовая робототехника
A*	Графовый, классический	Эвристический поиск, выше эффективность чем у Дейкстры	Зависимость от качества эвристической функции	Автономные транспортные средства, видеоигры, планирование в известной среде
WaveFront	Геометрический	Гарантирует нахождение пути, если он существует	Требует дискретизации пространства, высокие требования к памяти	Роботы-пылесосы, складские роботы, системы реагирования на катастрофы
RRT	Sampling-based	Высокая скорость, эффективность в пространствах высокой размерности	Не гарантирует оптимальность, стохастичность результатов	Автономная навигация, планирование для манипуляторов, динамические среды

RRT*	Sampling-based (оптимизированный)	Асимптотическая оптимальность	Выше вычислительные затраты чем у RRT	Задачи, требующие оптимальных траекторий в сложных средах
PRM	Sampling-based	Эффективность при многократном планировании в одной среде	Двухфазный процесс (строительство + запросы)	Статические среды с повторяющимися запросами
Диаграмма Вороного	Геометрический	Максимальная безопасность траектории	Субоптимальные по длине пути	Среды с высокой плотностью препятствий, задачи безопасности
DWA	Локальный	Работа в реальном времени, учет кинematики	Локальные минимумы	Динамические среды, локальное избегание препятствий
Обучение с подкреплением	Интеллектуальный	Адаптивность, обучение на опыте	Требует больших объемов данных, сложность обучения	Сложные динамические среды, неизвестные условия

В результате проведённого анализа установлено, что современные системы навигации мобильных роботов представляют собой сложные многоуровневые комплексы, интегрирующие сенсорные подсистемы, исполнительные механизмы и управляющие модули в едином замкнутом цикле взаимодействия с внешней средой. Ключевым условием эффективной автономной работы робототехнических платформ является создание навигационной подсистемы, обеспечивающей картирование рабочей зоны, глобальное и локальное планирование траектории, а также надёжное избегание препятствий. Иерархическое разделение на дальний, средний и ближний уровни навигации позволяет оптимально распределять вычислительные ресурсы и адаптировать поведение робота к различным масштабам пространства – от глобальной ориентировки до микроструктуры местности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лапшов, В. С. Применение радарных систем технического зрения для навигации наземных мобильных роботов в условиях недостаточной освещенности / В. С. Лапшов, А. В. Носков // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2021. – Т. 22, № 5. – С. 242–250.
2. Павлов, Д. А. Робототехнические комплексы для проведения аварийно-спасательных работ и мониторинга зон чрезвычайных ситуаций / Д. А. Павлов, М. Ю. Плотников // Робототехника и техническая кибернетика. – 2019. – № 3 (24). – С. 41–47.
3. Воротников, С. А. Информационные устройства и системы в робототехнике : учебное пособие / С. А. Воротников. – Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2020. – 184 с.
4. Герасимов, В. Н. Математическое моделирование динамики движения мобильных колесных роботов в среде MATLAB/Simulink / В. Н. Герасимов, И. В. Рубанов // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2020. – Т. 24, № 1. – С. 45–57.

Токарев Иван Иванович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: 1285819@bsuedu.ru

Нестерова Тамара Андреевна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: 1952797@bsuedu.ru

УДК 004.7.056

Научный руководитель:
Ключкин Алексей Викторович,
преподаватель инжинирингового колледжа,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)

Я.В. ТУРОВ, В.А. КЛЮЧКИНА
Y.V. TUROV, V.A. KLYUCHKINA

МОДЕЛИРОВАНИЕ И КОНФИГУРИРОВАНИЕ ПОЛИТИК БЕЗОПАСНОСТИ ЛОКАЛЬНОЙ СЕТИ ЦЕНТРА ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

MODELING AND CONFIGURING SECURITY POLICIES FOR THE LOCAL NETWORK OF THE CENTER FOR CONTINUING EDUCATION

В статье представлены результаты настройки списков контроля доступа и межсетевого экрана для телекоммуникационной сети центра дополнительного образования, сегментированной на VLAN. Продемонстрировано, что сочетание ACL на маршрутизаторе и персонального брандмауэра на конечных станциях позволяет реализовать эффективную эшелонированную защиту сетевой инфраструктуры.

Ключевые слова: информационная безопасность, телекоммуникационная сеть, центр дополнительного образования, виртуальные локальные сети, межсетевой экран.

This article presents the results of configuring access control lists and a firewall for a VLAN-segmented telecommunications network at a continuing education center. It demonstrates that the combination of router ACLs and a personal firewall at endpoints enables effective layered protection of the network infrastructure.

Keywords: information security, telecommunications network, continuing education center, virtual local area networks, firewall.

Современные центры дополнительного образования активно интегрируют цифровые технологии в образовательный процесс, что сопровождается увеличением объема персональных данных, электронных учебных материалов и административной информации, циркулирующей в локальных сетях. В то же время растет количество угроз информационной безопасности, связанных с несанкционированным доступом, вредоносным ПО и нарушениями конфиденциальности [1]. В таких условиях проектирование телекоммуникационной сети образовательного учреждения невозможно без внедрения комплексных мер защиты, среди которых важную роль играют средства фильтрации сетевого трафика – списки контроля доступа (ACL) и межсетевые экраны (firewall) [2].

Целью данного исследования является изучение практических аспектов настройки ACL и firewall в сегментированной на виртуальные локальные сети (VLAN) центра дополнительного образования с использованием симулятора Cisco Packet Tracer. В статье представлены результаты настройки стандартных и расширенных списков доступа, а также политик межсетевого экрана для ограничения доступа между подсетями и защиты критичных узлов сети.

Проектируемая телекоммуникационная сеть для центра дополнительного образования построена с использованием топологии «звезда» и включает маршрутизатор MikroTik, коммутаторы D-Link DGS-1250, сервер Supermicro и точки доступа MikroTik [3]. Для повышения управляемости и безопасности сеть логически разделена на VLAN в соответствии с функциональным назначением помещений (табл. 1) [4].

Такая сегментация позволяет ограничить широковещательный трафик, а также создает основу для применения дифференцированных политик доступа между различными группами пользователей. Реализация необходимых требований достигается путем настройки списков контроля доступа на маршрутизаторе и политик межсетевого экрана на уровне отдельных узлов [2].

Таблица 1 – Сегментация VLAN

VLAN	IP адрес	Назначение
11	192.168.11.0/24	Wi-fi
22	192.168.22.0/24	Конференц-зал
33	192.168.33.0/24	Административное помещение 2, стойка охраны
44	192.168.44.0/24	Кабинет директора
55	192.168.55.0/24	Кабинет 1, кабинет 2, кабинет 3
66	192.168.66.0/24	Кабинет 4, кабинет 5, кабинет 6, кабинет 7
77	192.168.77.0/24	Библиотека
88	192.168.88.0/24	Административное помещение 1
99	192.168.99.0/24	Серверная

ACL представляет собой упорядоченный набор правил, определяющих, какие пакеты разрешены или запрещены для передачи через интерфейс сетевого устройства. В проектировании сети используются два типа ACL: стандартные, которые фильтруют трафик только на основе исходного IP-адреса, и расширенные, которые учитывают исходные и целевые адреса, протокол и номера портов. В ходе моделирования в среде Cisco Packet Tracer на маршрутизаторе были созданы расширенные списки доступа, привязанные к соответствующим подинтерфейсам VLAN. Созданная логическая телекоммуникационная инфраструктура центра дополнительного образования представлена на рисунке 1.

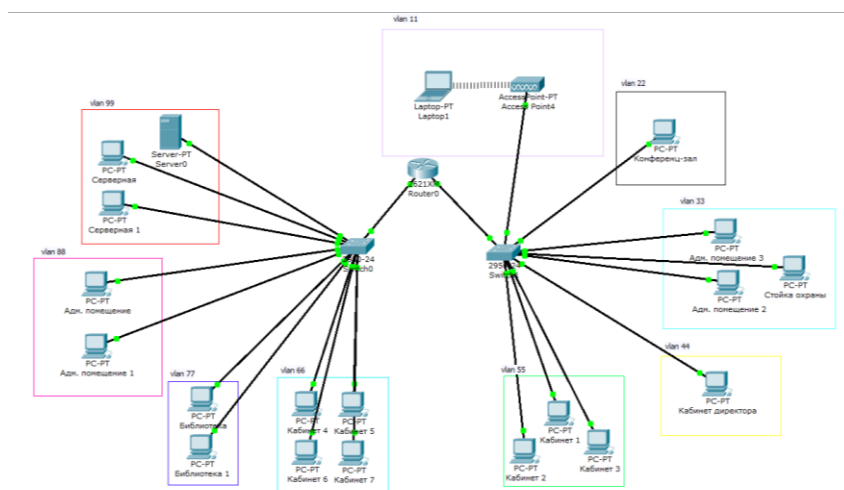


Рисунок 1 – Логическая сеть колледжа

Межсетевой экран обеспечивает более глубокую фильтрацию трафика на основе состояния соединений и может быть реализован либо на выделенном устройстве, так и программно на конечных узлах. В рамках этой работы была выполнена настройка встроенного брандмауэра на компьютере охраны (VLAN 33) с целью усиления защиты рабочего места, ответственного за мониторинг безопасности учреждения. Настройка включала создание правил, разрешающих исходящие соединения в Интернет по протоколам HTTP/HTTPS и DNS, но блокирующих входящие соединения из локальной сети. Фрагмент правила брандмауэра Windows:

- входящие правила: запрет всех входящих соединений, кроме ответов на установленные сессии;
- исходящие правила: разрешение трафика на порты 80 (HTTP), 443 (HTTPS) и 53 (DNS) и блокировка остальных исходящих пакетов.

Такой подход минимизирует поверхность атаки на критически важный узел и предотвращает возможное использование компьютера охраны в качестве плацдарма для распространения вредоносного ПО внутри сети.

Корректность работы настроенных средств защиты была проверена посредством отправки тестовых ICMP-запросов (ping) между узлами разных VLAN, а также обеспечения доступа к веб-интерфейсу сервера из классических подсетей. Результаты тестирования подтвердили: успешную блокировку трафика, советуемого запрещающим правилам ACL; возможность доступа к Интернет-ресурсам с компьютера охраны при блокировке входящих соединений; сохранение штатного функционирования разрешенных сетевых сервисов [4].

На рисунке 2 представлена настройка ACL для телекоммуникационной сети центра дополнительного образования.

```
Router>en
Router#conf t
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
Router(config)#ip a
Router(config)#ip access-list s
Router(config)#ip access-list standard f
Router(config)#ip access-list standard FOR-NAT
Router(config-std-nacl)#per
Router(config-std-nacl)#permit 192.168.11.0 0.0.0.255
Router(config-std-nacl)#permit 192.168.22.0 0.0.0.255
Router(config-std-nacl)#per
Router(config-std-nacl)#permit 192.168.33.0 0.0.0.255
Router(config-std-nacl)#permit 192.168.44.0 0.0.0.255
Router(config-std-nacl)#permit 192.168.55.0 0.0.0.255
Router(config-std-nacl)#permit 192.168.66.0 0.0.0.255
Router(config-std-nacl)#permit 192.168.77.0 0.0.0.255
Router(config-std-nacl)#permit 192.168.88.0 0.0.0.255
Router(config-std-nacl)#permit 192.168.99.0 0.0.0.255
Router(config-std-nacl)#ex
Router(config)#ip nat inside source list FOR-NAT interface fa0/0 overload
Router(config)#
```

Рисунок 2 – Настройка ACL

Настройка firewall на компьютере охраны представлена на рисунке 3.

	Action	Protocol	Remote IP	Remote Wild Card	Remote Port	Local Port
1	Deny	ICMP	0.0.0.0	255.255.255...	-	-
2	Allow	IP	0.0.0.0	255.255.255...	-	-

Рисунок 3 – Настройка firewall

Таким образом, совместное использование ACL на уровне маршрутизатора и межсетевого экрана на уровне конечных узлов позволяет создать эшелонированную защиту телекоммуникационного сетевого центра дополнительного образования.

В результате проделанной работы были настроены и протестированы списки контроля доступа и межсетевого экрана для сегментированной VLAN-сети центра дополнительного образования. Было продемонстрировано, что стандартные и расширенные списки ACL эффективно ограничивают доступ между функциональными подсетями, предотвращая несанкционированный обмен данными. Дополнительная защита критичных рабочих мест с

помощью персонального брандмауэра повышает общую информационную безопасность учреждения. Предложенные решения могут быть масштабированы и адаптированы для других образовательных учреждений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Внуков А. А. Основы информационной безопасности: защита информации: учеб. пособие для СПО. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Юрайт, 2024. – 161 с.
2. Казарин О. В., Забабурин А. С. Программно-аппаратные средства защиты информации. Защита программного обеспечения: учебник и практикум для СПО. – М.: Юрайт, 2025. – 312 с.
3. Дибров М. В. Сети и телекоммуникации. Маршрутизация в IP-сетях: учебник и практикум для СПО. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Юрайт, 2025. – 423 с.
4. Самуйлов К. Е., Шалимов И. А., Кулябов Д. С. Сети и телекоммуникации: учебник и практикум для СПО / под ред. К. Е. Самуйлова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Юрайт, 2025. – 464 с.

Туров Ян Вадимович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, (г. Белгород, Россия)

Студент инжинирингового колледжа

E-mail: 1670806@bsuedu.ru

Ключкина Виктория Александровна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, (г. Белгород, Россия)

Аспирант кафедры информационных и робототехнических систем

E-mail: dunaeva@bsuedu.ru

УДК 004.45:656.073

*Научный руководитель:
Подпругина Ирина Вячеславовна,
старший преподаватель кафедры
прикладной информатики
и информационных технологий,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

В.К. ХОЛОДОВА, А.И. ПОДПРУГИН
V.K. KHOLODOVA, A.I. PODPRUGIN

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОЙ ПЛАТФОРМЫ ГОРОДСКОГО ГИДА ДЛЯ ЖИТЕЛЕЙ И ТУРИСТОВ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ DEVELOPMENT OF A DIGITAL PLATFORM FOR A CITY GUIDE FOR RESIDENTS AND TOURISTS OF THE BELGOROD REGION

В статье рассматривается проблема отсутствия единого информационного ресурса для планирования досуга и знакомства с достопримечательностями Белгородской области. Проведён анализ существующих площадок: официальных порталов, городских пабликов в соцсетях, картографических сервисов. Выявлены их основные недостатки: разрозненность данных, неполнота информации, отсутствие инструментов для построения маршрутов и сохранения избранного. Разработана многопользовательская цифровая платформа с разграничением ролей (гость, авторизованный пользователь, администратор). Система реализована на платформе .NET с использованием Windows Presentation Foundation для пользовательского интерфейса и Entity Framework для взаимодействия с базой данных Microsoft SQL Server. Приведены архитектура системы, структура базы данных, основные алгоритмы работы. Выполнено тестирование, подтвердившее корректность работы всех модулей. Оценена эффективность внедрения.

Ключевые слова: цифровая платформа, городской гид, туризм, Windows Presentation Foundation, .NET, Entity Framework, SQL Server, Белгородская область.

The article discusses the problem of the lack of a unified information resource for planning leisure activities and exploring the sights of the Belgorod region. It analyzes existing platforms, such as official portals, city social media groups, and mapping services. The main drawbacks of these platforms are identified, including the lack of unified data, incomplete information, and the absence of tools for creating routes and saving favorites. To address these issues, a multi-user digital platform with different roles (guest, authorized user, and administrator) has been developed. The platform is based on the .NET using Windows Presentation Foundation for the user interface and Entity Framework for interaction with the Microsoft SQL Server database. The system architecture, database structure, and basic algorithms are presented. Testing was performed to confirm the correct operation of all modules. The effectiveness of the implementation was evaluated.

Keywords: digital platform, city guide, tourism, Windows Presentation Foundation, .NET, Entity Framework, SQL Server, Belgorod Region.

В современных условиях наблюдается устойчивый рост интереса к внутреннему туризму, и Белгородская область здесь не исключение. У региона большой потенциал: военно-исторические места (Прохоровское поле), культурные объекты, природные парки, событийные мероприятия. Однако, как показывает анализ, информация обо всём этом разбросана по разным источникам. Туристу или местному жителю, который хочет спланировать выходной день, приходится открывать несколько сайтов и соцсетей. Официальный портал «Культурный регион Белогорье» даёт достоверные данные только по учреждениям культуры, но там нет парков, кафе и многих других мест. Паблики «ВКонтакте» оперативно сообщают новости, но информация быстро теряется в ленте. «Яндекс Карты» хороши для навигации, но не выделяют туристические объекты как отдельную категорию. Это подтверждает актуальность разработки специализированной цифровой платформы [5].

Целью данной работы является создание цифровой платформы-гида по Белгородской области, которая упростит поиск достопримечательностей, событий и маршрутов, позволит пользователям оставлять отзывы и сохранять избранное. Для достижения цели решались задачи анализа предметной области, проектирования бизнес-процессов, разработки базы данных, реализации интерфейса и логики, а также тестирования.

При выполнении работы использованы методы системного анализа, объектно-ориентированного проектирования, моделирования бизнес-процессов, а также методы работы с реляционными базами данных. В качестве среды разработки выбрана Microsoft Visual Studio 2022. Пользовательский интерфейс реализован на платформе Windows Presentation Foundation (WPF) с использованием языка разметки XAML. Для доступа к данным использовалась технология Entity Framework Core, позволившая работать с таблицами базы данных как с объектами C#. В качестве системы управления базами данных выбран Microsoft SQL Server, администрирование выполнялось через SQL Server Management Studio [3, 1].

Разработанная платформа имеет клиент-серверную архитектуру и включает следующие компоненты: клиентское приложение (WPF-приложение), сервер базы данных (Microsoft SQL Server) и уровень доступа к данным (Entity Framework). Система поддерживает три роли пользователей, каждой из которых соответствует определённый набор функций:

- гость – просмотр списка районов, достопримечательностей, событий и готовых маршрутов (без возможности оставлять отзывы и добавлять объекты в избранное);
- авторизованный пользователь – после регистрации и входа получает доступ к личному кабинету, может писать отзывы с оценкой, добавлять места в избранное, формировать персональные маршруты, редактировать свой профиль;
- администратор – управляет всеми данными: добавляет и редактирует районы, категории, достопримечательности, события, маршруты, а также просматривает список пользователей и может блокировать или удалять их.

В ходе работы спроектирована реляционная база данных, содержащая следующие основные таблицы: User (пользователь), Role (роль), District (районы и города области), Attraction (достопримечательности), Category (категории с возможностью вложенности), Event (события), Tour (экскурсии), Route (маршруты пользователей), Favorite (избранное), Review (отзывы), RoutePoint (точки маршрута с порядком следования), ReviewLike (лайки отзывов), Recommendation (рекомендации). Связи между таблицами организованы с использованием внешних ключей, обеспечена ссылочная целостность. Схема базы данных приведена на рисунке 1.

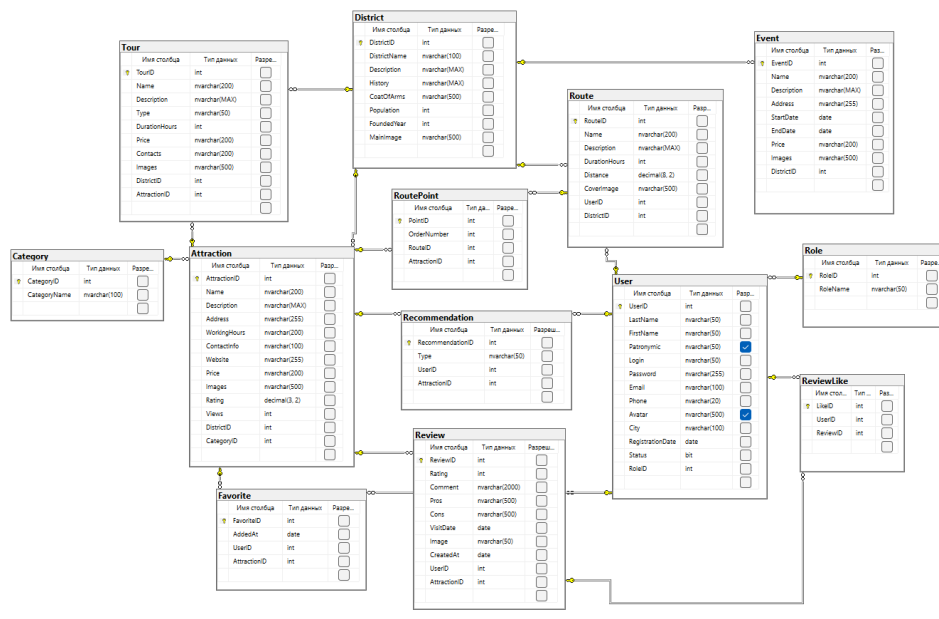


Рисунок 1 – Схема базы данных

Для визуализации требований были построены UML-диаграммы: диаграмма прецедентов, диаграмма последовательности для сценария «Добавление отзыва» и диаграмма деятельности с разделением на дорожки [1, 4].

Платформа реализует следующие функции: регистрация и авторизация с проверкой уникальности логина и обязательных полей (фамилия, имя, email, телефон); просмотр районов в виде карточек с гербами; фильтрация достопримечательностей по категориям (музеи, парки, храмы, памятники); отображение подробной информации об объекте (описание, адрес, режим работы, стоимость, рейтинг); добавление отзывов с оценкой звёздами и возможностью прикрепить фото; добавление объектов в избранное и просмотр списка избранного; создание собственных маршрутов с последовательностью точек; просмотр готовых тематических маршрутов (например, «По следам войны»); личный кабинет со сменой аватара и пароля; панель администратора для управления контентом [2].

Алгоритм авторизации: пользователь вводит логин и пароль, система через Entity Framework проверяет их наличие в таблице Polzovatel. При успехе – создаётся сессия с фиксацией роли, открывается главное окно с соответствующими пунктами меню. При ошибке – выводится сообщение. Алгоритм регистрации дополнительно проверяет уникальность логина и заполнение всех полей.

Тестирование проводилось по стандартной методике. Проверялись как штатные, так и нештатные сценарии. При попытке входа с неверным паролем система выдаёт предупреждение. Регистрация не проходит, если логин уже существует или пустое хотя бы одно обязательное поле. При успешной регистрации появляется подтверждение. Добавление отзыва блокируется, если комментарий пустой или не выставлена оценка. При отсутствии файла изображения подставляется заглушка – приложение не падает. Все сообщения понятны пользователю. Система стабильно работала при одновременном использовании нескольких учётных записей. Результаты тестирования показали, что платформа готова к эксплуатации.

В таблице 1 приведено сравнение разработанной платформы с существующими аналогами. Как видно, предложенное решение объединяет достоверность данных официальных порталов, оперативность соцсетей и картографическую наглядность, а также добавляет персонализацию (избранное, маршруты, отзывы).

Таблица 1 – Сравнительный анализ цифровых платформ для туристического информирования

Критерий	Разработанная платформа	«Культурный регион Белогорье»	Пабрики «ВКонтакте»	«Яндекс Карты»
Единый каталог всех типов достопримечательностей	+++	+	–	++
Картографическая привязка	+++	–	–	+++
Личный кабинет	+++	–	++	++
Отзывы и оценки	+++	–	++	+++
Избранное и маршруты	+++	–	–	+
Панель администратора	++	–	+	+

В результате работы разработана цифровая платформа «Городской гид для жителей и туристов Белгородской области». Система поддерживает три роли, обеспечивает полный цикл работы с туристическими объектами: от просмотра до создания отзывов, избранного и маршрутов. Использование Entity Framework и разграничение прав доступа гарантируют безопасность данных. Платформа прошла тестирование и может внедряться в туристических информационных центрах и администрациях муниципальных образований. Перспективными направлениями дальнейшей разработки являются веб-версия и мобильное приложение для водителей и путешественников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорьев, М. В. Проектирование информационных систем : учебник для СПО / М. В. Григорьев, И. И. Григорьева. – Москва : Юрайт, 2025. – 278 с.
2. Каменнова, М. С. Моделирование бизнес-процессов : учебник и практикум / М. С. Каменнова, В. В. Крохин, И. В. Машков. – Москва : Юрайт, 2024. – 533 с.

3. Проектирование информационных систем : учебник / Д. В. Чистов, П. П. Мельников, А. В. Золотарюк и др. – 2-е изд. – Москва : Юрайт, 2025. – 273 с.

4. Стасышин, В. М. Базы данных: технологии доступа : учебник для СПО / В. М. Стасышин, Т. Л. Стасышина. – 2-е изд. – Москва : Юрайт, 2025. – 164 с.

5. Стружкин, Н. П. Базы данных: проектирование : учебник для СПО / Н. П. Стружкин, В. В. Годин. – Москва : Юрайт, 2025. – 477 с.

Холодова Виктория Константиновна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент инжинирингового колледжа

E-mail: 1655407@bsuedu.ru

Подпругин Александр Ильич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Ассистент кафедры прикладной информатики и информационных технологий

E-mail: podprugin@bsuedu.ru

УДК 004.42

*Научный руководитель:
Ильинская Елена Владимировна,
доцент кафедры прикладной информатики
и информационных технологий,
НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)*

Н.С. ШТОКОЛОВ
N.S. SHTOKOLOV

РАЗРАБОТКА ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИНА НА МИКРОСЕРВИСНОЙ АРХИТЕКТУРЕ DEVELOPMENT OF AN ONLINE STORE BASED ON MICROSERVICE ARCHITECTURE

В статье рассматривается разработка интернет-магазина на микросервисной архитектуре как способа повышения устойчивости и производительности системы при росте нагрузки. Актуальность темы определяется быстрым развитием электронной коммерции в России и повышением требований к масштабируемости, отказоустойчивости и скорости обработки пользовательских запросов. Предлагается архитектурная модель интернет-магазина с выделением ключевых бизнес-сервисов и описывается логика их взаимодействия. Для оценки эффективности решения используется упрощённая математическая модель времени обработки заказа и система показателей производительности. Сделан вывод о целесообразности применения микросервисного подхода для интернет-магазинов со сложной бизнес-логикой и неравномерной нагрузкой.

Ключевые слова: информационные системы, архитектура программного обеспечения, электронная коммерция, интернет-магазин, микросервисная архитектура, производительность.

The article examines the development of an online store based on microservice architecture as a way to improve system stability and performance under increasing load. The relevance of the study is determined by the rapid growth of e-commerce and rising requirements for scalability, fault tolerance, and response time. The paper proposes an architectural model of an online store with the identification of key business services and describes their interaction. A simplified mathematical model of order processing time is used to evaluate system efficiency. The results demonstrate the feasibility of applying microservice architecture in high-load e-commerce systems.

Keywords: information systems, software architecture, e-commerce, online store, microservice architecture, performance.

Развитие электронной коммерции в России формирует спрос на масштабируемые и надёжные программные решения. По данным Ассоциации компаний интернет-торговли, объём рынка в 2025 году достиг 11,5 трлн рублей, увеличившись на 28%, при этом основная доля продаж пришлась на российские интернет-магазины [1]. Это требует от информационных систем высокой производительности, устойчивости к нагрузкам и возможности оперативного развития функциональности.

Монолитная архитектура на начальных этапах разработки удобна за счёт простоты реализации, однако при росте системы возникают ограничения: усложняется масштабирование, локализация сбоев и независимое развитие компонентов. Микросервисная архитектура, согласно исследованиям, обеспечивает гибкость разработки, независимое масштабирование и повышение отказоустойчивости, но требует более сложной инфраструктуры и управления распределённой системой [2].

Цель статьи – обоснование архитектуры интернет-магазина на основе микросервисного подхода, ориентированной на повышение производительности при высоких нагрузках. Для этого используются методы сравнительного анализа, структурной декомпозиции и математического описания процесса обработки заказа, что позволяет формализовать состав системы и принципы её функционирования.

Функциональная структура интернет-магазина представлена совокупностью независимых сервисов: каталог, управление остатками, заказы, платежи, доставка, уведомления и API-шлюз. Такое разделение соответствует современным подходам к проектированию и позволяет выделить чёткие зоны ответственности компонентов [6].

В данной архитектуре каждый сервис выполняет специализированную функцию, а API-шлюз обеспечивает единый вход в систему. Это снижает связанность компонентов и позволяет масштабировать отдельные сервисы в зависимости от нагрузки, например, при увеличении числа запросов к каталогу. В результате повышается эффективность использования ресурсов и уменьшается влияние локальных перегрузок на систему в целом [5].

Для формального описания обработки заказа введём множество этапов $E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$, где каждому этапу соответствует отдельная операция: проверка товара, резервирование, создание заказа, проведение оплаты, передача в доставку, отправка уведомления. Тогда общее время обработки одного заказа можно представить в виде:

$$T = \sum_{i=1}^n T_i,$$

где T_i – время выполнения этапа e_i . Для более детального анализа каждый компонент времени можно представить как:

$$T_i = t_i^{proc} + t_i^{queue} + t_i^{net},$$

где t_i^{proc} – собственно время обработки внутри сервиса, t_i^{queue} – время ожидания в очереди, t_i^{net} – сетевые задержки при межсервисном взаимодействии. Такая модель позволяет увидеть, что производительность системы зависит не только от скорости бизнес-логики, но и от состояния очередей, распределения нагрузки и организации обмена между сервисами. В исследованиях по показателям производительности микросервисных систем предлагается учитывать группы метрик, связанные со временем работы, количественными параметрами нагрузки, степенью загруженности сервисов и контролем выхода за нормативные границы [3].

С точки зрения обеспечения производительности при высоких нагрузках микросервисный подход целесообразен по нескольким причинам. Он позволяет применять независимое горизонтальное масштабирование наиболее нагруженных сервисов, упрощает внедрение кэширования, асинхронной обработки и очередей сообщений, а также снижает влияние отказа отдельных компонентов на работу всей системы. В инженерной практике для высоконагруженных приложений также используются мониторинг, профилирование, репликация, резервирование и асинхронные механизмы обработки данных.

Вместе с тем переход к микросервисной архитектуре сопровождается рядом ограничений: усложняются DevOps-процессы, требуется централизованный мониторинг, трассировка межсервисных взаимодействий и обеспечение согласованности данных. Дополнительные задержки возникают из-за сетевого взаимодействия, а проектирование границ сервисов становится самостоятельной задачей. При этом исследования показывают, что монолитная архитектура остаётся эффективной для небольших систем со стабильной нагрузкой. Следовательно, применение микросервисов оправдано в условиях высокой сложности и неравномерной нагрузки [4].

Существенным преимуществом микросервисной архитектуры для интернет-магазина является возможность целенаправленного повышения отказоустойчивости отдельных компонентов системы. В современных исследованиях по проектированию резервированных backend-систем рассматриваются такие инженерные решения, как active-active-кластеры, геораспределённое резервирование, а также паттерны Circuit Breaker и Bulkhead, позволяющие локализовать отказ зависимого сервиса и предотвратить каскадное распространение сбоя на остальные компоненты. Дополнительную роль играют механизмы Retry и Timeout, обеспечивающие устойчивость при кратковременных сетевых сбоях и временной недоступности внешних сервисов. Применительно к интернет-магазину это означает, что отказ, например,

сервиса уведомлений или внешнего платёжного шлюза не обязательно должен приводить к полной остановке обработки заказов: система может сохранить работоспособность критически важных бизнес-функций и восстановить второстепенные операции после стабилизации внешнего взаимодействия. Такой подход особенно важен в периоды пиковых продаж, когда стоимость полного простоя системы существенно возрастает [7].

Рост производительности в микросервисной архитектуре достигается не только за счёт декомпозиции системы, но и благодаря применению специализированных механизмов обработки нагрузки. Для высоконагруженных приложений в литературе выделяются горизонтальное масштабирование, балансировка нагрузки, кэширование и асинхронная обработка как базовые средства повышения пропускной способности системы. Кэширование часто запрашиваемых данных позволяет снизить нагрузку на базу данных и внутренние сервисы, а вынесение части операций в асинхронный контур сокращает время ответа в пользовательском сценарии. Для интернет-магазина это особенно важно в таких процессах, как просмотр каталога, проверка остатков, формирование рекомендаций, отправка уведомлений и обновление статусов заказа. В результате сокращается длина критического пути обработки запроса, а ресурсы системы распределяются более рационально, что повышает устойчивость платформы к резкому росту числа одновременных обращений [8].

Отдельного внимания заслуживает вопрос контроля фактического прироста производительности и устойчивости системы после перехода к микросервисной архитектуре. В исследованиях по показателям производительности микросервисных систем подчёркивается необходимость оценки не только времени выполнения операций, но и количественных параметров нагрузки, степени загрузки сервисов и выхода метрик за допустимые пределы. Для высоконагруженных систем также важны мониторинг поведения под нагрузкой, моделирование пользовательских сценариев и выявление узких мест на ранних этапах эксплуатации. Применительно к интернет-магазину это означает, что эффективность архитектурного решения должна подтверждаться наблюдаемыми показателями: временем ответа API, скоростью обработки заказа, уровнем доступности, степенью загрузки отдельных сервисов и стабильностью работы в периоды пиковой активности. Следовательно, микросервисная архитектура повышает производительность не автоматически, а при условии, что она сопровождается развитой системой мониторинга, нагрузочного тестирования и оперативного масштабирования наиболее критичных компонентов [9].

Таким образом, для интернет-магазинов со сложной бизнес-логикой и множеством интеграций микросервисная архитектура позволяет повысить управляемость масштабирования, локализовать узкие места и снизить влияние частичных отказов. Эффективность такого решения достигается при наличии чётких правил взаимодействия сервисов, развитой системы мониторинга и контроля производительности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ассоциация компаний интернет-торговли. Итоги интернет-торговли в России за 2025 год [Электронный ресурс]. URL: <https://akit.ru/news/11-5-trln-rublej-akit-podvela-itogi-internet-torgovli-za-2025-god> (дата обращения: 08.04.2026).
2. Мухаметгалиев С. И. Микросервисная архитектура как современный подход к разработке программного обеспечения [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mikroservisnaya-arhitektura-kak-sovremennyy-podhod-k-razrabotke-programmnogo-obespecheniya> (дата обращения: 08.04.2026).
3. Артамонов И. В. Показатели производительности микросервисных систем [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pokazateli-proizvoditelnosti-mikroservisnyh-sistem> (дата обращения: 08.04.2026).
4. Бакайкина В. Г., Богатина В. А., Федоров В. М. Микросервисная архитектура vs монолит: сравнительный анализ [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mikroservisnaya-arhitektura-vs-monolith-sravnitelnyy-analiz-na-primere-veb-prilozheniya> (дата обращения: 08.04.2026).

5. Филисов Д. А. Архитектура высоконагруженных приложений [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/arhitektura-vysokonagruzhennyh-prilozheniy> (дата обращения: 08.04.2026).

6. Урусов Т. Т. Создание веб-приложения интернет-магазина с использованием современных инструментов разработки [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sozdanie-veb-prilozheniya-internet-magazina-s-ispolzovaniem-sovremennyh-instrumentov-razrabotki> (дата обращения: 08.04.2026).

7. Темников Д. О. Проектирование отказоустойчивых и резервированных backend-систем [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/proektirovanie-otkazoustoychivyh-i-rezervirovannyh-backend-sistem> (дата обращения: 15.04.2026).

8. Долматов Р. А. Оптимизация масштабируемости и отказоустойчивости микросервисов с применением Kubernetes [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-masshtabiruемости-i-otkazoustoychivosti-mikroservisov-s-primeneniem-kubernetes> (дата обращения: 15.04.2026).

9. Шевцов А. С. Балансировка нагрузки на приложение: от инфраструктуры до базы данных [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/balansirovka-nagruzki-na-prilozhenie-ot-infrastruktury-do-bazy-dannyh> (дата обращения: 15.04.2026).

Штоколов Никита Сергеевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород, Россия)

Студент кафедры прикладной информатики и информационных технологий

E-mail: 1645934@bsuedu.ru

*Научное электронное издание
сетевого распространения*

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИНЖИНИРИНГ

Сборник материалов IV Международной молодежной
научно-практической конференции
г. Белгород, 17 апреля 2026 г.

Публикуется в авторской редакции

Выпускающий редактор: В.С. Берегова

Подписано к использованию 02.07.2026.
Гарнитура Times New Roman. Объем издания – 18,2 МБ
Оригинал-макет подготовлен в ЦПП ИД «БелГУ» НИУ «БелГУ»
308015 г. Белгород, ул. Победы, 85. Тел.: 30-14-48