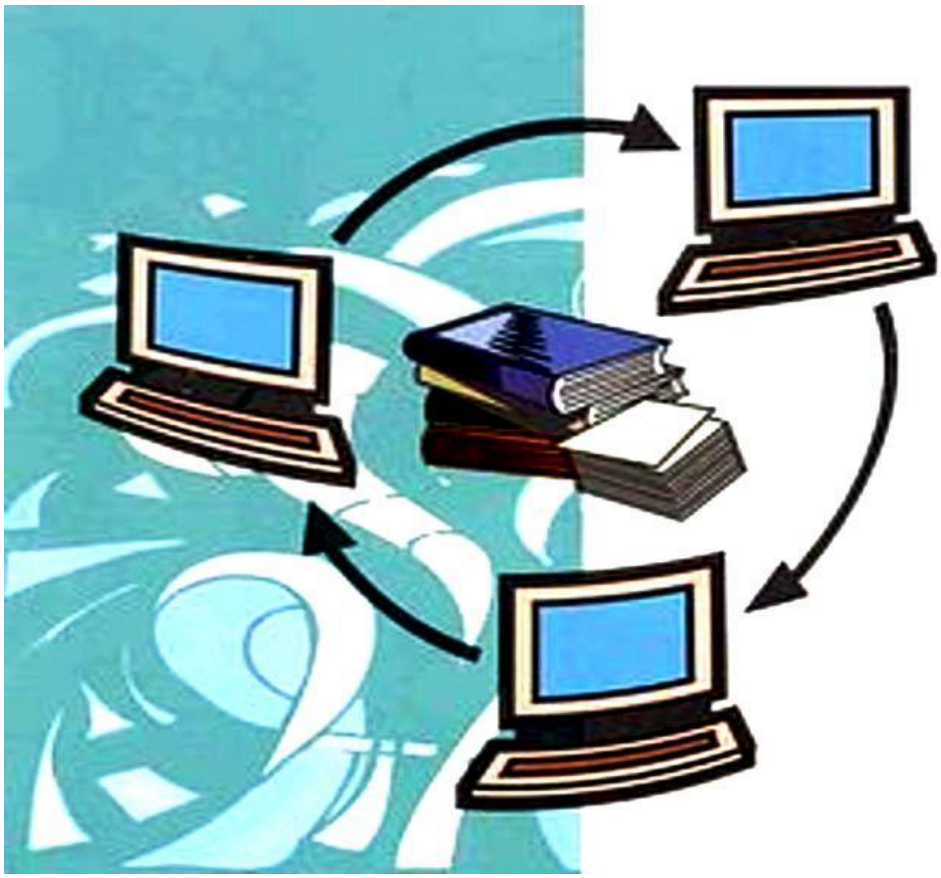
ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИХ ПРИЛОЖЕНИЯ

XXX Международная научно-техническая конференция

Сборник статей



ПЕНЗА 2026

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

АКАДЕМИЯ ИНФОРМАТИЗАЦИИ ОБРАЗОВАНИЯ РФ

ОМСКИЙ ФИЛИАЛ ИНСТИТУТА МАТЕМАТИКИ ИМ. С.Л. СОБОЛЕВА СО РАН

ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ АРХИТЕКТУРЫ И СТРОИТЕЛЬСТВА

МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ ЦЕНТР ПГАУ

ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИХ ПРИЛОЖЕНИЯ

Сборник статей
XXX Международной научно-технической конференции

25-26 августа 2026 г.

Пенза
ПГАУ
2026

УДК 681.3.06
ББК 32.973.2
И 74

Под научной редакцией кандидата технических наук, доцента Пензенского государственного университета архитектуры и строительства **В.В. Кузиной**

И74 **Информационно-вычислительные технологии и их приложения**: сборник статей XXX Международной научно-технической конференции / Пензенский государственный университет архитектуры и строительства и [др]; под ред. Кузиной В.В. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2026. – 454 с. – URL:https://mnic.pgau.ru/file/doc/konferencii/2026/Сборник_МК-30-26.pdf . – Текст: электронный.

ISBN 978-5-00196-456-8

Сборник докладов XXX Международной научно-технической конференции «Информационно-вычислительные технологии и их приложения» посвящен вопросам построения информационных систем в решении научно-технических и социально-экономических задач, инженерных и технологических задач, задач информационного обеспечения методологических и методических проблем образования, а также влияние использования искуственного интелекта в разных сферах.

The collection of papers from the XXX International Scientific and Technical Conference “Information and Computing Technologies and Their Applications” is devoted to the issues of building information systems for solving scientific, technical, and socio-economic problems, engineering and technological tasks, tasks related to providing information support for methodological and methodical problems in education, as well as the impact of using artificial intelligence in various fields.

УДК 681.3.06
ББК 32.73.2

ISBN 978-5-00196-456-8

© МНИЦ ПГАУ, 2026

УДК 378.14:004.8

ГЕНЕРАТИВНЫЙ ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В СОВРЕМЕННОМ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ: ВОЗМОЖНОСТИ, ВЫЗОВЫ И ОГРАНИЧЕНИЯ

В.И. Абрамов[1], О.В. Абрамов[1,2]

[1]Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, г. Москва, Россия
[2]НУ Институт прикладных информационных технологий, г. *Москва, Россия*

Рассматривается процессы интеграции генеративного искусственного интеллекта в современную систему высшего образования, включая персонализацию образовательных траекторий и оптимизацию рутинных академических процессов. Предложены рекомендации по интеграции ИИ-решений в педагогическую методологию с акцентом на адаптацию форматов контроля, аутентичное оценивание и трансформацию подходов к подготовке кадров в условиях цифровой экономики.

Ключевые слова: генеративный искусственный интеллект, нейросети, персонализация обучения, экономика данных, цифровые бизнес-экосистемы.

Современный этап социально-экономического развития характеризуется глубинными трансформациями, драйвером которых выступает переход к экономике данных [1]. Как отмечается в современных исследованиях, цифровизация и внедрение сквозных технологий становятся ключевыми детерминантами структурной перестройки институтов общества, включая систему высшего образования [2]. В этом контексте экономика данных формирует новую парадигму развития, требующую принципиально иных подходов к генерации, обработке и трансляции знаний [3]. Одним из наиболее мощных инструментов этой трансформации стали технологии генеративного искусственного интеллекта (ГенИИ), в частности, большие языковые модели (LLM).

Актуальность настоящего исследования подтверждается динамикой развития технологических рынков. Аналитические прогнозы указывают на то, что объем глобального рынка ИИ в образовании будет демонстрировать экспоненциальный рост в период до 2030 года [4]. Параллельно с инфраструктурным ростом наблюдается стремительное проникновение технологий в студенческую среду. Данные опросов демонстрируют, что значительная доля обучающихся уже интегрировала генеративные нейросети в свою повседневную академическую практику [5].

Однако столь масштабное внедрение формирует выраженное системное противоречие: с одной стороны, ГенИИ обладает высоким потенциалом для повышения эффективности обучения, выступая ценным образовательным и научным ресурсом [6], но с другой стороны, неконтролируемое использование алгоритмов генерирует серьезные риски для академической честности и когнитивного развития. Цель данного исследования заключается в проведении

всестороннего анализа возможностей, вызовов и ограничений применения генеративного ИИ в современном образовательном процессе с позиций институциональной и экономической эффективности.

Внедрение генеративного искусственного интеллекта открывает широкий спектр возможностей, способных радикально повысить эффективность образовательного процесса. Данные возможности целесообразно классифицировать по основным субъектам академического взаимодействия: обучающимся, преподавателям и образовательной организации в целом.

Для обучающихся фундаментальным преимуществом становится возможность глубокой персонализации образовательной траектории. Интеллектуальные алгоритмы способны выполнять функцию виртуальных тьюторов, которые в режиме реального времени адаптируют сложность учебного материала, темп его подачи и форму тестирования под индивидуальные когнитивные особенности студента. Это снижает барьеры восприятия сложной информации и позволяет оптимизировать процесс усвоения компетенций. Кроме того, ГенИИ выступает мощным катализатором креативности, помогая преодолевать когнитивные барьеры на этапе концептуализации исследовательских идей и прототипирования проектов.

Для профессорско-преподавательского состава и администрации интеграция ГенИИ обеспечивает беспрецедентную оптимизацию трудозатрат за счет автоматизации рутинных процессов. Генерация фондов оценочных средств, составление базовых учебных планов и первичная проверка стандартизированных ответов могут быть делегированы ИИ-ассистентам. Экономическая ценность генеративного ИИ в этом контексте заключается в высвобождении высококвалифицированного человеческого капитала для решения нестандартных, творческих и научно-исследовательских задач [7].

Стоит отметить, что процессы, происходящие сегодня в образовании, структурно изоморфны процессам цифровизации в корпоративном секторе. В частности, внедрение ГенИИ в образовательную среду дает эффекты, аналогичные цифровизации HR-аналитики в компаниях, где инновационные подходы к управлению персоналом обеспечивают рост метрик эффективности и вовлеченности [8]. Характеристики, преимущества и практики применения цифровых систем аналитической поддержки, ранее доказавшие свою состоятельность в дистанционном управлении персоналом [9,10], могут быть успешно экстраполированы на системы дистанционного и гибридного обучения в вузах. На рис. 1 изображается замкнутый контур взаимодействия: Студент ↔ Интеллектуальная цифровая платформа (ГенИИ) ↔ Преподаватель ↔ Администрация, с указанием потоков образовательных данных и обратной связи).

Осознавая колоссальный дидактический и экономический потенциал ГенИИ, академическое сообщество сталкивается с комплексом критических рисков. Фундаментальным вызовом выступает глобальный кризис академической этики. Способность современных языковых моделей генерировать связные, логически выстроенные тексты привела к лавинообразному росту сгенерированных эссе, курсовых и выпускных квалификационных работ. Эксперты отмечают,

что использование таких систем ставит под угрозу саму концепцию честности онлайн-экзаменов и традиционных форм контроля [11].

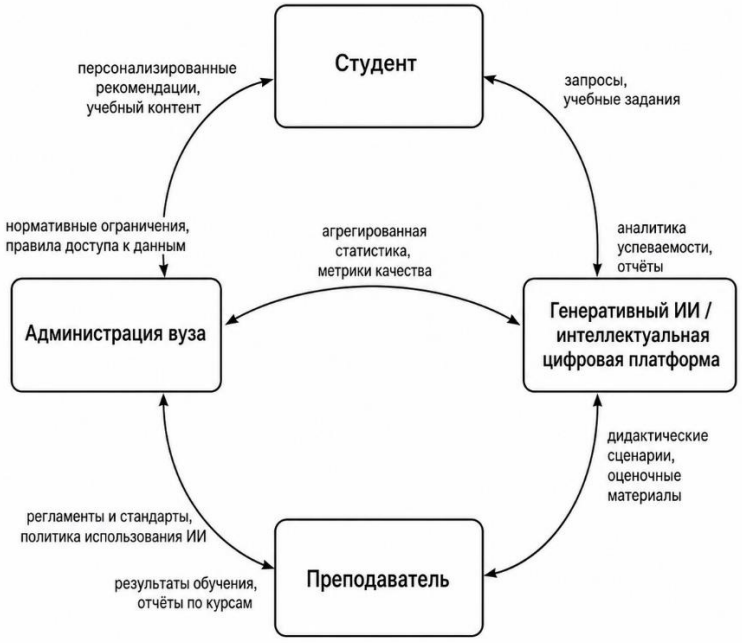


Рисунок 1 – Концептуальная архитектура интеграции генеративного ИИ в образовательную экосистему вуза

Масштаб проблемы подтверждается статистически: алгоритмы детекции машинного текста фиксируют признаки использования ИИ в каждой четвертой студенческой работе [12], что создает прецедент девальвации документов об образовании и формирует финансовые риски для образовательных институтов. Издержки вузов на расследование случаев академического мошенничества, внедрение дорогостоящих систем прокторинга и детекции, а также потенциальные репутационные потери формируют серьезный негативный финансовый эффект [13]. В таблице 1 систематизированы ключевые риски применения ГенИИ в образовательном процессе.

Таблица 1 – Классификация рисков применения генеративного ИИ в высшем образовании (составлено авторами на основе [11, 13])

Категория риска	Сущность и характеристика проблемы	Потенциальные системные последствия
Этика и академическая честность	Массовая генерация исследовательских текстов (эссе, ВКР) с помощью ИИ без должной атрибуции	Обесценивание традиционных форм контроля; кризис доверия к валидности дипломов об образовании
Когнитивные и психологические	Избыточное делегирование нейросетям задач по поиску, агрегации и первичному анализу информации	Атрофия навыков критического мышления; фрагментарное и поверхностное усвоение сложных предметных областей

Категория риска	Сущность и характеристика проблемы	Потенциальные системные последствия
Эпистемологические и информационные	Феномен алгоритмических «галлюцинаций», генерация фактологических ошибок и ссылок на несуществующие источники	Искажение научной картины мира; закрепление ложных концептов в сознании обучающихся
Финансово-экономические	Необходимость инвестиций в инфраструктуру противодействия машинному плагиату	Перераспределение бюджетов вузов; рост трансакционных издержек на администрирование образовательного процесса

Наряду с рисками, интеграция ГенИИ сдерживается рядом объективных системных ограничений. Важнейшим из них является технологическое неравенство, или так называемый «цифровой разрыв». Доступ к наиболее производительным, мультимодальным версиям нейросетей зачастую требует оформления платных подписок, что ставит студентов с разным уровнем дохода в неравные условия, нарушая базовые принципы образовательной инклюзивности.

Кроме того, существенным барьером выступает инерционность институциональной среды. В большинстве образовательных организаций до сих пор отсутствуют концептуально проработанные локальные нормативные акты, регламентирующие допустимые границы применения ГенИИ. В условиях Индустрии 4.0, где требуется субъектно-ориентированное управление процессами [14], отсутствие четких правил взаимодействия субъектов образования с искусственным интеллектом приводит к организационному хаосу и конфликтам при оценке оригинальности работ.

Анализ сложившейся ситуации показывает, что политика протекционизма и жесткого запрета на использование ГенИИ в университетской среде является технически несостоятельной и стратегически ошибочной. Адекватным ответом системы образования должна стать парадигмальная трансформация методологии обучения и пересмотр архитектуры оценивания компетенций. Институту образования необходимы новые подходы, рассматривающие искусственный интеллект не как угрозу, а как драйвер позитивных изменений [15]. В таблице 2 представлены перспективные направления адаптации академической работы к условиям алгоритмической среды.

Очевидно, что реализация предложенных подходов невозможна без опережающего развития компетенций самого профессорско-преподавательского состава. Как показывает практика трансформации инженерно-экономического образования, сегодня требуется подготовка кадров нового типа, способных к проектированию адаптивных цифровых бизнес-экосистем [16]. Преподаватель будущего должен выступать не просто транслятором знаний, но архитектором образовательных экосистем, в которых генеративный ИИ является встроенным, легитимным и управляемым инструментом.

Таблица 2 – Рекомендации по адаптации форматов академической работы и контроля (составлено авторами)

Традиционный дидактический подход	Адаптированный подход (с учетом интеграции ГенИИ)
Асинхронная оценка текстового результата (рефераты, эссе, домашние контрольные)	Синхронное аутентичное оценивание процесса (научные дебаты, защита проектных решений в реальном времени, устные профессиональные собеседования)
Игнорирование ИИ при проектировании учебных заданий	Интеграция ИИ как объекта верификации (задания на фактчекинг, поиск логических ошибок в сгенерированных ответах, критический анализ машинного кода)
Самостоятельный, стихийный поиск информации студентом	Целенаправленное обучение промпт-инжинирингу (формирование навыков постановки корректных алгоритмических задач)
Директивные и безапелляционные запреты	Разработка прозрачных политик соучастия, декларирование применения ИИ студентами в методологической части курсовых работ

Проведенный анализ позволяет утверждать, что генеративный искусственный интеллект представляет собой фундаментальный сдвиг в технологическом укладе, который необратимо трансформирует образовательную среду. ГенИИ обладает мощным экономическим, организационным и дидактическим потенциалом. Он способен обеспечить качественно новый уровень персонализации обучения и радикально повысить эффективность академического администрирования.

Вместе с тем, полномасштабная реализация этого потенциала невозможна без преодоления серьезных вызовов: кризиса академической этики, угроз когнитивному развитию и финансовых рисков. Преодоление данных барьеров требует системного подхода, включающего обновление локальной нормативной базы вузов, переход к форматам синхронного аутентичного оценивания и формирование у участников образовательного процесса культуры ответственного, этичного взаимодействия с алгоритмами. Только через планомерную и осознанную интеграцию искусственного интеллекта в педагогические методики современная система высшего образования сможет эффективно выполнять свою главную функцию – подготовку высококвалифицированных специалистов, способных успешно функционировать и создавать добавленную стоимость в реалиях экономики данных и Индустрии 4.0.

Список использованных источников

1. Национальный проект «Экономика данных и цифровая трансформация государства» [Электронный ресурс] // Национальные проекты России: официальный сайт. URL: https://национальныепроекты.рф

2. Цифровая экономика и сквозные цифровые технологии как детерминанты структурной трансформации и развития социально-экономических

процессов и институтов общества: монография / под ред. Л. А. Омельянович, О. А. Подкопаева. - Самара: ПНК, 2025. - 276 с. - ISBN 978-5-605-51222-6.

3. Абрамов, В. И. Экономика данных как новая парадигма социально-экономического развития: концептуальный анализ / В. И. Абрамов, В. В. Гордеев, А. Д. Столяров // Фундаментальные исследования. - 2026. - № 3. - С. 69-76. - DOI 10.17513/fr.43994. - EDN RBDVJE.

4. AI in Education Market Size & Industry Trends Report 2030 [Электронный ресурс] / Mordor Intelligence. - Hyderabad, 2024. - URL: https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/ai-in-education-market

5. U.S. high school students' use of generative artificial intelligence / College Board. - New York, 2025. - 21 p. https://research.collegeboard.org/media/pdf/ai-research-brief-1_vf.pdf

6. Ивахненко Е. Н., Никольский В. С. ChatGPT в высшем образовании и науке: угроза или ценный ресурс? // Высшее образование в России. - 2023. - Т. 32, № 4. - С. 9-22. DOI: 10.31992/0869-3617-2023-32-4-9-22 EDN: TZHIHU

7. Абрамов, В. И. Экономическая ценность генеративного искусственного интеллекта в контексте данных: практики и перспективы для бизнеса / В. И. Абрамов, О. В. Абрамов // Новое в экономической кибернетике. - 2025. - № 3. - С. 93-113. - DOI 10.5281/zenodo.17849791. - EDN FIKLWE.

8. Абрамов, В. И. Цифровизация HR-аналитики: инновационные подходы к управлению персоналом / В. И. Абрамов, А. Мухиткызы // Вестник университета. - 2025. - № 11. - С. 35-46. - EDN AUCSZK.

9. Абрамов, В. И. Цифровизация HR-аналитики в компании: характеристики, преимущества, практики / В. И. Абрамов, А. Мухиткызы // Лидерство и менеджмент. - 2024. - Т. 11, № 3. - С. 887-908. - EDN VPGFWW.

10. Концептуальная модель цифровой системы аналитической поддержки дистанционного управления персоналом организации / В. И. Абрамов, И. В. Абрамов, К. В. Поливанов, К. Ю. Семенков // Экономика, предпринимательство и право. - 2023. - Т. 13, № 7. - С. 2341-2352. - EDN GWCEGE.

11. Susnjak T., McIntosh T. R. ChatGPT: The end of online exam integrity? // Education Sciences. - 2024. - Vol. 14, № 6. - EDN: RKEZPA

12. «Антиплагиат»: признаки ИИ имеет каждая четвертая студенческая работа. 5 мая 2026. https://antiplagiat.ru/news/signs-of-ai/

13. The financial impact of AI on institutions through breaches of academic integrity / Higher Education Policy Institute. - Oxford : HEPI, 2024. - 24 p. https://www.hepi.ac.uk/2024/03/01/the-financial-impact-of-ai-on-institutions-through-breaches-of-academic-integrity/

14. Чуркин, Д. А. О методике субъекто-ориентированного управления процессами промышленных предприятий / Д. А. Чуркин, В. И. Абрамов // Микроэкономика. – 2025. – № 2. – С. 57-69. - EDN CSGHCE..

15. Новые подходы к оцениванию: искусственный интеллект как драйвер изменений в образовании / Е. Ю. Карданова (научная редакция), С. В. Тарасов, А. Е. Иванова, Э. М. Юсупова, Д. А. Грачева, К. В. Тарасова, И. С. Денисов, Д. П. Талов, А. С. Струкова; Национальный исследовательский университет ВШЭ, Институт образования. - М.: НИУ ВШЭ, 2025. 88 с.

16. Абрамов, В. И. Трансформация инженерно-экономического образования: подготовка кадров для проектирования адаптивных цифровых бизнес-экосистем / В. И. Абрамов, А. В. Путилов // Формирование профессиональной направленности личности специалистов - путь к инновационному развитию России: сборник статей VII Всероссийской научно-практической конференции. - Пенза: ПГАУ, 2025. - С. 12-18. - EDN GTHNNJ.

GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN MODERN EDUCATIONAL PROCESS: OPPORTUNITIES, CHALLENGES AND LIMITATIONS

V.I. Abramov[1], O.V. Abramov[1,2]

[1]National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia
[2]Institute of Applied Information Technology, Moscow, Russia

This article examines the integration of generative artificial intelligence into the modern higher education system, including the personalization of educational pathways and the optimization of routine academic processes. Recommendations are offered for integrating AI solutions into pedagogical methodology, with an emphasis on adapting assessment formats, authentic assessment, and transforming approaches to training in the digital economy.

Keywords: generative artificial intelligence, neural networks, personalized learning, data economy, digital business ecosystems.

УДК 338.24 + 004.8

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ И ИХ РОЛЬ В ЭФФЕКТИВНОМ МЕНЕДЖМЕНТЕ КОРПОРАЦИЙ: АНАЛИЗ ТРЕНДОВ ВНЕДРЕНИЯ ГЕНЕРАТИВНОГО ИИ

В.И. Абрамов[1], О. В. Абрамов[1,2]

[1]Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, г. Москва, Россия
[2]НУ Институт прикладных информационных технологий, г. Москва, Россия

Рассматривается переход корпоративного сектора от традиционных информационных систем к управленческим решениям на базе генеративного искусственного интеллекта Особое внимание уделено явлению «парадокса трансформации» и эволюционному переходу корпораций к мультиагентным системам. Приведены экономические обоснования эффективности технологий нового

поколения и предложены новые метрики качества интеграции искусственного интеллекта в менеджмент.

Ключевые слова: информационные технологии, генеративный искусственный интеллект, корпоративный менеджмент, цифровая трансформация, ИИ-агенты, экономика данных.

Современный этап цифровой трансформации глобального бизнеса характеризуется фундаментальным технологическим сдвигом. Данный сдвиг обусловлен тем, что сквозные цифровые технологии сегодня выступают важнейшими детерминантами структурной трансформации и развития всех социально-экономических институтов общества [1]. Как следствие, традиционные промышленные и коммерческие предприятия вынуждены эволюционировать, трансформируя свою архитектуру в комплексные цифровые бизнес-экосистемы с обновленными структурными компонентами и практическими механизмами реализации [2]. Информационные технологии прошлых поколений, включая классические системы планирования ресурсов предприятия (ERP) и управления взаимоотношениями с клиентами (CRM), были сфокусированы преимущественно на оцифровке, хранении исторических данных и жесткой алгоритмической автоматизации рутинных процессов. Однако в 2025–2026 гг. на первый план вышли информационные технологии принципиально нового поколения, базирующиеся на моделях генеративного искусственного интеллекта (ГенИИ) и их ключевое отличие заключается в способности решать нелинейные, высокоуровневые когнитивные задачи, что напрямую затрагивает функции корпоративного менеджмента [3]. Масштаб распространения технологий ГенИИ в настоящий момент достиг уровня базовой инфраструктуры глобальной сети, так по данным аналитического отчета «2026 Generative AI Landscape», совокупный среднемесячный трафик на специализированные платформы генеративного ИИ составил 9,5 млрд визитов, продемонстрировав беспрецедентный рост на 70% по сравнению с предыдущим годом [4]. Количество уникальных активных пользователей в данном сегменте достигло 655 млн человек, но тем не менее, главная управленческая проблема современности заключается не в доступности технологий, а в растущем институциональном разрыве: индивидуальное освоение ИИ сотрудниками корпораций происходит значительно быстрее, чем адаптация корпоративных систем, регламентов и операционных моделей к интеграции этих инструментов.

Цель данного исследования - проанализировать актуальные глобальные тренды внедрения информационных технологий нового поколения (ГенИИ) в корпоративном секторе и научно оценить их реальное влияние на экономическую и операционную эффективность менеджмента.

Эмпирическую и фактологическую базу исследования составили масштабные глобальные отчеты, опубликованные в 2026 году: «World Development Report 2026: AI’s Economic Impact» (Всемирный банк) [5]; «2026 Work Trend Index Annual Report» (Microsoft) - исследование, охватывающее телеметрию рабочих сред и результаты опроса 20 000 сотрудников по всему миру [6]; «2026 Generative AI Landscape» (Similarweb) [4].

Первичный этап массового внедрения генеративного ИИ характеризовался его использованием в качестве обособленного внешнего инструмента (например, через веб-интерфейсы языковых моделей). Аналитика 2026 года неоспоримо демонстрирует смену технологической парадигмы: ИИ становится имманентно «встроенным» (Embedded AI) непосредственно в корпоративные рабочие среды. Примерами служат Microsoft 365 Copilot, Google Workspace AI, а также нативные интеграции нейросетей во внутренние управленческие контуры [4]. Помимо оптимизации внутренних процессов, встроенный ИИ кардинально меняет внешние контуры корпоративного управления. Инновационные подходы на базе генеративного искусственного интеллекта обеспечивают качественно новый уровень взаимодействия с клиентами [7], и в первую очередь это выражается в способности нейросетевых моделей осуществлять глубокую и динамичную персонализацию предложений потребителям [8], что сегодня становится ключевым драйвером эффективности управления продажами в условиях экономики данных [9].

Архитектура корпоративных информационных систем стремительно эволюционирует от концепции реактивного ИИ-помощника к проактивному ИИ-коллеге и полноценным мультиагентным системам, так за период 2025–2026 гг. количество активных автономных ИИ-агентов, созданных и развернутых внутри корпоративных сетей управления, увеличилось в 15 раз, а в сегменте крупного бизнеса - в 18 раз [6]. Такие программные агенты способны самостоятельно инициировать и исполнять многоступенчатые цепочки бизнес-процессов, в то время как за менеджером-человеком закрепляется роль высокоуровневого целеполагания, оркестрации и контроля качества полученных результатов.

Важнейшим открытием корпоративных исследований 2026 года стало подтверждение гипотезы о том, что успешность цифровой модернизации критически зависит от качества организационной среды. Выявлено, что реальный экономический эффект от внедрения ИТ нового поколения на 67% детерминирован институциональными факторами (корпоративной культурой, поддержкой руководства, передовыми кадровыми практиками) и лишь на 32% зависит от уровня технической грамотности самого сотрудника [6]. Реализация передовых кадровых практик невозможна без комплексной цифровизации HR-аналитики, которая предоставляет руководству объективные метрики и преимущества в оценке организационного поведения [10]. Кроме того, в условиях растущей гибкости рабочих сред критическое значение приобретает внедрение цифровых систем аналитической поддержки дистанционного управления персоналом, позволяющих менеджменту нивелировать институциональные барьеры [11].

В связи с этим был сформулирован концепт «парадокса трансформации»: рядовые сотрудники корпораций демонстрируют высокую готовность к применению ИИ и самостоятельной перестройке своих рабочих задач, однако консервативная институциональная среда компаний (устаревшие KPI, жесткая иерархия, бюрократия) блокирует масштабирование этих инноваций на уровень организации.

Для наглядной демонстрации фрагментации корпоративного сектора по уровню готовности к внедрению информационных технологий нового поколения нами систематизирована матрица организационной готовности (Таблица 1).

Таблица 1 – Матрица организационной готовности корпораций к внедрению ИИ-технологий (на основе агрегированных данных [6])

Категория корпоративной среды	Уровень ИИ-навыков персонала	Готовность ИТ-инфраструктуры и менеджмента	Доля в выборке, %	Характеристика влияния на управленческие процессы
Передовые	Высокий	Высокий	19%	Синергетический эффект: ИИ глубоко интегрирован в принятие решений. Формируется культура организации как непрерывно обучающейся системы.
Стагнирующие	Низкий	Низкий	16%	Отсутствие эффекта: ИИ игнорируется, ИТ-архитектура архаична. Формируются критические риски утраты рыночной конкурентоспособности.
С заблокированным потенциалом	Высокий	Низкий	10%	Эффект теневого ИТ: сотрудники используют внешние нейросети локально, но менеджмент не адаптирует процессы. Высокие риски утечки коммерческих данных.
С невостребованным ресурсом	Низкий	Высокий	5%	Капитальные инвестиции не окупаются: дорогостоящая инфраструктура ГенИИ развернута, но корпоративное обучение отсутствует, интеграции в реальные процессы нет.
Переходная зона	Средний	Средний	50%	Формирование базовых практик: ИТ-департаменты находятся на стадии разработки политик безопасности и регламентов использования алгоритмических систем.

Внедрение встроенного генеративного ИИ кардинально реструктурирует бюджет рабочего времени современного управленца, радикально снижая транзакционные издержки на получение знаний. Анализ телеметрии использования платформы Microsoft 365 Copilot показал, что 49% всех пользовательских запросов к ИИ направлены на поддержку глубокой аналитической работы: синтез

разрозненной информации, логическую аргументацию, решение нетипичных проблем и принятие решений. Лишь 15% запросов сводится к прямому поиску данных [6].

Традиционный ИТ-менеджмент оценивал эффективность программного обеспечения на основе показателей совокупной стоимости владения (TCO) и коэффициента возврата инвестиций (ROI). Однако технологии ГенИИ требуют внедрения качественно новых метрик, в первую очередь - метрики «высвобожденного ресурса». По данным исследований, систематизированных Всемирным банком, эмпирические замеры демонстрируют прямую корреляцию между использованием ИИ и приростом производительности управленческого и интеллектуального труда (от 6 до 88% в зависимости от специфики задачи) [5]. Особую экономическую ценность генеративный искусственный интеллект демонстрирует в контексте экономики данных [12], где он становится фундаментом для персонализации предложений и управления продажами [13]. Для детализации экономического эффекта составлена Таблица 2.

Таблица 2 – Экономический эффект и метрики эффективности внедрения ГенИИ в бизнес-процессы

Сфера применения ИИ в менеджменте	Описание решаемой когнитивной задачи	Измеряемый экономический эффект	Источники
Стратегическое планирование	Прогнозирование финансовых трендов на основе многофакторного анализа массивов неструктурированных данных	Повышение объективной точности макроэкономических прогнозов на 24–28%	[5,14]
Управление информационными потоками	Обработка объемной деловой корреспонденции, маршрутизация задач, формирование управленческих сводок	Сокращение затрат времени на одну транзакционную задачу на 12–40%	[15,16]
Разработка и управление ИТ-проектами	Автоматизированное написание кода, программный аудит, тестирование технических гипотез	Радикальная экономия времени системных инженеров и продакт-менеджеров до 56–88%	[5]
Операционный аудит и мониторинг	Использование автономных программных AI-агентов для регулярного контроля регламентных процессов	66% активных пользователей ИИ подтверждают рост объема времени для решения стратегических задач	[6]

Внедрение автономных ИИ-агентов обеспечивает переход корпорации в качественно новый статус - «Обучающейся системы» (Learning System). Если в классической модели управления успешный локальный кейс руководителя оставался преимущественно его персонализированным опытом, то в условиях 2026 года мультиагентные сети непрерывно фиксируют, кодифицируют и масштабируют успешные управленческие паттерны. В результате формируется принципиально новый нематериальный актив корпорации - «собственный интеллект», представляющий собой защищенную базу знаний, которая аккумулирует опыт организации и не подлежит быстрому копированию конкурентами.

Несмотря на показанную экономическую рентабельность, полномасштабная интеграция ИТ нового поколения несет беспрецедентные вызовы для институтов корпоративного управления.

Во-первых, происходит трансформация функциональной роли ИТ-департаментов, если ранее ИТ-отдел занимался обслуживанием серверов и программных лицензий, то сегодня он де-факто становится центром кадрового управления «цифровыми сотрудниками» - AI-агентами. Возникает критическая необходимость выстраивания архитектуры доступов: регламентация прав ИИ-агентов на совершение транзакций, мониторинг безопасности и предотвращение рисков эксфильтрации корпоративной коммерческой тайны. Во-вторых, на первый план выходит проблема верификации результатов. Так в ходе глобальных опросов 50% респондентов отметили, что в эпоху ИИ важнейшим навыком управленца становится именно экспертный контроль качества алгоритмических решений, а 46% указали на первостепенную роль критического мышления [6]. Риск технологических «галлюцинаций» (правдоподобных, но фактологически ошибочных выводов ИИ) при принятии финансово емких решений остается главным ограничителем. В-третьих, макроэкономический анализ Всемирного банка предостерегает об углублении «Эффекта Матфея» в глобальной цифровой экономике [5]. Технологические выгоды от генеративного ИИ распределяются крайне асимметрично: крупные транснациональные корпорации и экономики развитых стран форсированно накапливают отрыв в производительности капитала, тогда как организации, не способные преодолеть организационную инертность, подвергаются ускоренной технологической деградации. Информационные технологии нового поколения, ядром которых выступают системы генеративного искусственного интеллекта, окончательно преодолели статус вспомогательных программных надстроек и в 2026 году они определяют архитектуру принципиально новой операционной модели эффективного корпоративного управления.

Проведенное исследование показывает, что внедрение систем класса Embedded AI и мультиагентных нейросетей кардинально реструктурирует распределение рабочего времени руководителя, принимая на себя до 50% когнитивной, аналитической и рутинной управленческой нагрузки и это обеспечивает прямое снижение транзакционных издержек и повышение наукометрической точности бизнес-прогнозирования. Тем не менее, реализация данного макроэкономического потенциала в наименьшей степени зависит от объема

капиталовложений в программное обеспечение, поскольку ключевым фактором конкурентоспособности выступает институциональная адаптивность корпоративной среды. Лидерами формирующейся экономики данных станут те корпорации, чей высший менеджмент сможет преодолеть «парадокс трансформации», модернизирует систему KPI, обеспечит безопасный контур для внедрения мультиагентных систем и наладит процессы конвертации алгоритмических данных в уникальный «собственный интеллект» организации.

Список использованных источников

1. Цифровая экономика и сквозные цифровые технологии как детерминанты структурной трансформации и развития социально-экономических процессов и институтов общества: монография / под ред. Л. А. Омельянович, О. А. Подкопаева. - Самара: ПНК, 2025. - 276 с. - ISBN 978-5-605-51222-6.

2. Абрамов, В. И. Цифровая трансформация промышленных предприятий в цифровые бизнес-экосистемы: структурные компоненты и практические аспекты реализации / В. И. Абрамов, В. В. Гордеев, А. Д. Столяров // Фундаментальные исследования. – 2024. – № 9. – С. 78-85. – DOI 10.17513/fr.43680. – EDN EFIZBI.

3. Acemoglu, D. AI and Productivity: The Macroeconomic Impact of Generative Artificial Intelligence / D. Acemoglu // NBER Working Paper. - 2024.

4. Similarweb. 2026 Generative AI Landscape: The Evolution of AI Search / Similarweb Ltd. - Tel Aviv : Similarweb, 2026. - 38 p.

5. World Bank. World Development Report 2026: AI's Economic Impact - Transforming Jobs, Productivity, and Growth / World Bank. - Washington, DC : World Bank, 2026. - 380 p.

6. Microsoft. 2026 Work Trend Index Annual Report: Agents, human agency, and the opportunity for every organization / Microsoft Corporation. - Redmond, WA : Microsoft, 2026. - 35 p.

7. Абрамов, А. В. Инновационные подходы к взаимодействию с клиентами на базе генеративного искусственного интеллекта / А. В. Абрамов, А. Д. Столяров, В. И. Абрамов // Beneficium. – 2025. – № 2(55). – С. 77-85. – DOI 10.34680/BENEFICIUM.2025.2(55).77-85. – EDN DDPMWM.

8. Развитие генеративного искусственного интеллекта и его влияние на персонализацию предложений потребителям / А. Д. Столяров, В. В. Гордеев, А. В. Абрамов, В. И. Абрамов // Информационное общество. – 2025. – № 2. – С. 2-13. – DOI 10.52605/16059921_2025_02_02. – EDN NKXZHT

9. Гордеев, В. В. Персонализация предложений и управление продажами в экономике данных / В. В. Гордеев, А. Д. Столяров, В. И. Абрамов // Экономика, предпринимательство и право. – 2024. – Т. 14, № 12. – С. 8205-8224. – DOI 10.18334/epp.14.12.122199. – EDN KCVGUO.

10. Абрамов, В. И. Цифровизация HR-аналитики в компании: характеристики, преимущества, практики / В. И. Абрамов, А. Мухиткызы // Лидерство и менеджмент. – 2024. – Т. 11, № 3. – С. 887-908. – EDN VPGFWW.

11. Концептуальная модель цифровой системы аналитической поддержки дистанционного управления персоналом организации / В. И. Абрамов, И. В. Абрамов, К. В. Поливанов, К. Ю. Семенков // Экономика, предпринимательство и право. – 2023. – Т. 13, № 7. – С. 2341-2352. – EDN GWCEGE.

12. Абрамов, В. И. Экономика данных как новая парадигма социально-экономического развития: концептуальный анализ / В. И. Абрамов, В. В. Гордеев, А. Д. Столяров // Фундаментальные исследования. - 2026. - № 3. - С. 69-76. - DOI 10.17513/fr.43994. - EDN RBDVJE.

13. Абрамов, В. И. Экономическая ценность генеративного искусственного интеллекта в контексте данных: практики и перспективы для бизнеса / В. И. Абрамов, О. В. Абрамов // Новое в экономической кибернетике. - 2025. - № 3. - С. 93-113. - DOI 10.5281/zenodo.17849791. - EDN FIKLWE.

14. Schoenegger, P. Artificial Intelligence and Economic Forecasting: A Field Experiment / P. Schoenegger, C. Teyssier // Economics Letters. - 2025.

15. Noy, S. Experimental evidence on the productivity effects of generative artificial intelligence / S. Noy, W. Zhang // Science. - 2023. - Vol. 381, No. 6654. - P. 187-192.

16. Dillon, E. The Economic Impact of Microsoft 365 Copilot: Evidence from a Randomized Trial / E. Dillon, M. Li, K. K. M. Lakhani // Harvard Business School Working Paper. - 2025.

NEXT-GENERATION INFORMATION TECHNOLOGIES AND THEIR ROLE IN EFFECTIVE CORPORATE MANAGEMENT: AN ANALYSIS OF GENERATIVE AI TRENDS

V.I. Abramov[1], O.V. Abramov[1,2]

[1]National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia
[2]Institute of Applied Information Technology, Moscow, Russia

This article examines the corporate sector's transition from traditional information systems to management decisions based on generative artificial intelligence. Particular attention is paid to the phenomenon of the "transformation paradox" and the evolutionary transition of corporations to multi-agent systems. Economic justifications for the effectiveness of next-generation technologies are presented, and new metrics for the quality of AI integration into management are proposed.

Keywords: information technology, generative artificial intelligence, corporate management, digital transformation, AI agents, data economy.

УДК 339

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СПРОСА НА ТОВАРЫ И УСЛУГИ

М.В. Алиева

Финансовый университет при правительстве РФ,
г. Краснодар, Россия

В современном мире умение прогнозировать спрос на товары и услуги является важнейшим фактором в успешном развитии любого бизнеса. Для того, чтобы предпринимательская деятельность дала прибыль, необходимо просчитать все риски, учитывая множество факторов, и составить план развития. Очевидно, что одна и та же сфера деятельности будет иметь многочисленные нюансы, зависящие от региона, уровня заработной платы населения, климата и многих других условий.

Ключевые слова: спрос на товары и услуги, бизнес, предпринимательская деятельность, риски, план развития.

Целью данной работы является изучение прогноза спроса на товары и услуги на 2026 год для СПК «Родина» Матвеево-Курганского района Ростовской области.

Проблема темы заключается в необходимости точного прогнозирования спроса в условиях нестабильности рынка и климатических факторов, что особенно актуально для СПК «Родина» после неурожая 2025 года.

Прогнозирование спроса выступает фундаментальным элементом системы планирования, определяя параметры производственной программы на предстоящий период. В условиях волатильности, характерной для большинства рынков, точность прогноза становится критическим фактором конкурентоспособности. При этом наблюдается прямая зависимость: чем выше нестабильность внешней среды, тем более точными должны быть плановые расчёты [2].

В основе рыночных отношений лежит спрос, который представляет собой представленную на рынке потребность, обеспеченную финансовыми средствами покупателей. Его количественные параметры находятся в прямой зависимости от множества переменных, определяющих экономическое поведение потребителей. Для систематизации этих взаимосвязей применяется функция спроса, выступающая математической моделью, где аргументами служат ключевые рыночные индикаторы: уровень дохода, цены на аналоги, а также интенсивность рекламных и маркетинговых воздействий [1].

СПК колхоз «Родина» Матвеево-Курганского Ростовской области – это крупное сельхозпредприятие, которое специализируется на выращивании КРС, зерновых и масличных культур.

По причине жаркого лета отсутствия дождей в 2025 году СПК «Родина» потерял основную часть масличных культур. Катастрофичной ситуация оказалась для урожая подсолнечника, который и вовсе не собирали по причине его гибели. В результате выручка предприятия понизилась на 756,6 млн. руб. (19%). Именно поэтому точный анализ спроса для СПК «Родина» стал необходимым,

ведь потребитель недополучил сырья в виде семян подсолнечника в 2025 году, а значит запасы исчерпываются, и спрос в 2026 году будет выше.

Высокий спрос на семена подсолнечника на внутреннем и внешнем рынках требует заблаговременного планирования посевных площадей. Это необходимо как для обеспечения продовольственной безопасности регионов, так и для выполнения экспортных контрактов. Многообразие сфер применения культуры (пищевая промышленность, медицина) диктует потребность в точном прогнозировании валового сбора. Своевременный прогноз, составленный за 3–3,5 месяца до уборки, позволяет оптимизировать структуру использования урожая с учётом погодных условий конкретного года [2].

Планирование производства семян подсолнечника базируется на прогнозе спроса, от которого зависят расчёт объёмов сырья, посевных площадей и оптимизация затрат.

При использовании анализа прогноз спроса опирается на фактическую информацию о продажах и применяет количественные приемы обработки данных за прошедший период времени. СПК «Родина» выращивает подсолнечник на площадях до 20 тыс. га. При этом в благоприятные лета урожайность достигает 26 ц/га, однако в 2025 году она составила всего лишь 5 ц/га. На основе временного ряда была сформирована выборка, очищенная от нетипичных значений, что соответствует этапу предварительной обработки данных. В качестве основной гипотезы было принято предположение о тесной линейной зависимости между урожайностью подсолнечника и уровнем рыночного спроса на данную продукцию. Данное предположение обусловлено предварительным исследованием временных рядов, которое показало наличие значительной степени взаимосвязи между динамикой урожайности и изменением спроса на рынке.

При анализе временного ряда за 2016-2025 гг. значение урожайности за 2025 год (5 ц/га) было идентифицировано как статистический выброс. Это обусловлено тем, что резкое падение урожайности было вызвано не экономическими или технологическими факторами, а экстремальным внешним событием - масштабной засухой, носящей разовый, форс-мажорный характер.

Включение этого значения в расчёты корреляционно-регрессионного анализа привело бы к искажению параметров модели. Поскольку цель прогнозирования - определение закономерности для планирования в нормальных условиях, а не моделирование последствий стихийных бедствий, данное аномальное значение было исключено из выборки. Использование модели, построенной с учётом 2025 года, привело бы к необоснованно и неадекватному прогнозу на 2026 год.

Для проведения анализа и построения прогнозной модели была сформирована выборка данных по урожайности подсолнечника и соответствующему объёму спроса на продукцию за период с 2016 по 2024 год.

Для проверки гипотезы был рассчитан коэффициент корреляции Пирсона. Полученное значение 0,99 свидетельствует о тесной связи между факторами, что подтверждает корректность выбора модели для дальнейшего анализа. На основе подтверждённой взаимосвязи между урожайностью и спросом было построено уравнение линейной регрессии вида $Y=a+bX$, где Y - это спрос, а X -

урожайность. В результате проведённых расчётов были определены параметры модели. Коэффициент a (свободный член) составил -13194,7, а коэффициент b (наклон) - 0,99, то есть при увеличении урожайности подсолнечника на 1 центнер с гектара прогнозируемый спрос на продукцию увеличивается в среднем на 0,99 центнера.

Таким образом, итоговое уравнение модели, описывающее спрос на продукцию СПК «Родина», приняло вид: Спрос = [a] + [b] × Урожайность.

На представленном графике (рисунок 1) наглядно продемонстрирована взаимосвязь между урожайностью подсолнечника и спросом за период 2016–2024 гг. График построен в виде диаграммы рассеяния с добавлением линии тренда, что позволяет чётко увидеть характер зависимости между показателями.

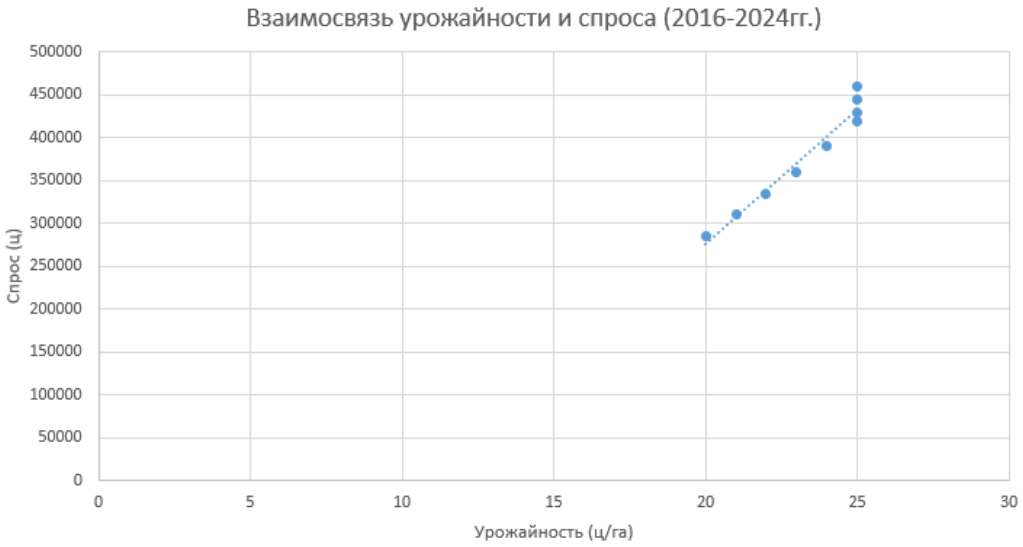


Рисунок 1

Качество построенной модели является высоким: коэффициент детерминации R-квадрат составил 0,96. Это означает, что данная модель объясняет 96% вариации спроса, что позволяет использовать её для краткосрочного планирования и принятия управленческих решений.

При планируемой площади посева в 20 тыс. га прогнозный объём спроса составит: Y = [a] + [b] × [X] = 501 555 центнеров (рисунок 2).

Однако для формирования полной производственной программы СПК «Родина» необходимо также спрогнозировать собственный валовой сбор. Для этого используется прогнозная урожайность, полученная на основе агрометеорологических данных. Согласно методике, описанной в работе А. И. Страшной, при условии благоприятных погодных условий в 2026 году можно ожидать возвращения урожайности к средним историческим значениям (около 26 ц/га).

Сопоставляя все показатели с производственным потенциалом СПК «Родина», можно сделать следующие выводы. При сохранении общих посевных площадей и при условии благоприятных погодных условий, урожайность подсолнечника может вернуться к средним показателям. Это позволит хозяйству получить валовой сбор в объеме 520 000 центнеров.



Рисунок 2

В ходе исследования была разработана методика прогнозирования спроса на продукцию СПК «Родина», доказавшая свою эффективность благодаря высокому уровню корреляции между урожайностью и объемом спроса. Применение корреляционно-регрессионного анализа позволило сформировать надежный инструмент для планирования производственной деятельности. Дальнейшие усилия должны быть направлены на правильный подход и учет внешних факторов для повышения устойчивости предприятия.

Список использованных источников

1. Живицкая Е.Н., Гуринович О.В. Прогнозная модель спроса продукции предприятия и формирование модели выпуска // Научные труды Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. 2005. № 3 (11). С. 72–74. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/prognoznaya-model-sprosa-produktsii-predpriyatiya-i-formirovanie-modeli-vypuska (дата обращения: 20.04.2026).

2. Страшная А.И. Метод прогноза урожайности семян подсолнечника по субъектам европейской части и России в целом с заблаговременностью 3–3,5 месяца // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. 2023. № 1 (387). С. 120–123. URL: https://method.meteorf.ru/publ/tr/tr387/06.pdf (дата обращения: 20.04.2026).

3. Голубков Е.П. Маркетинговые исследования: теория, методология и практика: учебник. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Финпресс, 2005. 496 с. URL: https://znanium.ru/read?id=99324 (дата обращения: 20.04.2026).

4. Голубков Е.П. Основы маркетинга: учебник. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Финпресс, 2008. 704 с. URL: https://studfile.net/preview/7779442/ (дата обращения: 21.04.2026).

5. Шаныгин С.И. Корреляционный и регрессионный анализ: учебник для вузов / ответственный редактор В.В. Ковалев. М.: Юрайт, 2026. С. 10–70. ISBN 978-5-534-18393-1. URL: https://urait.ru/bcode/589599 (дата обращения: 22.04.2026).

FORECASTING DEMAND FOR GOODS AND SERVICES

M.V. Aliyeva

Financial University under the Government of the Russian Federation, Krasnodar, Russia

In today's world, the ability to forecast demand for goods and services is a crucial factor in the successful development of any business. For entrepreneurial activity to be profitable, it is necessary to calculate all risks, taking into account numerous factors, and develop a development plan. Obviously, the same field of activity will have numerous nuances depending on the region, wage level, climate, and many other factors.

Keywords: demand for goods and services, business, entrepreneurial activity, risks, development plan.

УДК 004.94

К АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ МАТЕРИАЛОЕМКОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ЕГО ВКЛАД В ВАЛОВЫЙ ПРОДУКТ РЕГИОНА

Д.А. Ануфриев

Кемеровский государственный университет, г. Кемерово, Россия

С использованием автоматизированного программно-аналитического инструментария проведена оценка влияния материалоемкости сельскохозяйственного производства на его вклад в валовый региональный продукт. Представлены результаты вычислительных экспериментов по получению оптимальных пороговых значений выручки от продажи продукции отрасли, при которой она начинает влиять на добавленную к инвестициям, приведенную стоимость производственного сектора региона, а также получена зависимость показателя материалоемкости от выручки сельскохозяйственной отрасли региона.

Ключевые слова: регион, сельскохозяйственная отрасль, материалоемкость, математическое моделирование, пакет прикладных программ, вычислительный эксперимент, поддержка принятия решений.

При изучении процессов таких сложных региональных экономических структур, как территориально-производственные кластеры (ТПК),

целесообразно использовать методы экономико-математического моделирования и средства автоматизированной обработки и анализа входной и выходной модельной информации в качестве объективных инструментов управленческого, производственного, финансового характера [1,2], что актуализирует их автоматизированную экономическую оценку. Не является исключением здесь сельскохозяйственное производство, являющееся ключевой составляющей регионального экономического развития в подавляющем большинстве субъектов РФ. При выполнении данного исследования была поставлена цель применить автоматизированный программно-аналитический инструментарий для оценки влияния параметра материалоемкости производства в оптимизационной модели оценки экономической эффективности региональной сельскохозяйственной отрасли. В указанный набор инструментов входят оптимизационная математическая модель агропродовольственного комплекса региона [1], описанные в работах [2-4] концепция исследования, алгоритмы расчета и автоматизированный пакет прикладных программ.

Сельскохозяйственное производство в регионе, по ОКВЭД [5], относится к виду экономической деятельности (ВЭД) «Сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство». Используя экспертные данные или открытые информационные источники (например, [6]), для данного ВЭД можно определить следующие технико-экономические характеристики: 1) для основных производственных фондов (ОПФ) – стоимость, производительность, срок службы; 2) для продукции – цена единицы, стоимостной спрос; 3) особенности производства продукции – зарплатоемкость, материалоемкость. В данном исследовании для наполнения входной информации использовалась статистика Кемеровской области за 2021 год.

В качестве критерия эффективности в оптимизационной модели сельскохозяйственной отрасли региона рассматривается [1] такой экономический показатель, как чистая приведенная стоимость (NPV) инвестиционного проекта развития отрасли, добавленная к осуществленным в нее инвестициям. Взаимное влияние ВЭД и их различных групп в регионе очень велико, поэтому в оптимальном режиме трудно выявить влияние на интегральный NPV региона каждого отдельного ВЭД. В этой связи примем аксиому, что отрасль или ВЭД в регионе функционируют эффективно, если, в результате производства и реализации ее продукции, достигается положительный вклад в интегральный NPV проекта производства всех видов продукции в регионе или, иначе, в его валовый продукт.

Рассмотрим влияние на эффективность сельскохозяйственной отрасли региона такого показателя, как материалоемкость p производства, под которой, упрощенно, понимается доля от текущих общепроизводственных затрат, относимая на приобретение сырья и материалов. Интерес к данному показателю обусловлен, в частности, использованием больших объемов горюче-смазочных материалов в сельскохозяйственном производстве индустриального периода. Проведем следующие группы вычислительных экспериментов: 1) при варьировании показателя материалоемкости p определить пороговые значения выручки PV1 от продажи продукции ВЭД, при которых отрасль начинает влиять на интегральный NPV региона и 2) при варьировании выручки PV1 определить пороговые

значения показателя материалоемкости p, при котором отрасль начинает влиять на интегральный NPV региона.

При получении зависимостей NPV(PV_1) здесь рассмотрены три сценария развития регионального проекта: 1) p=0,5; 2) p=0,6; 3) p=0,7, которые соответствуют, оптимистическому, реальному (действующему, текущему) и пессимистическому значениям p. Полученные с помощью пакета анализа многопараметрической задачи оптимизации пороговые значения выручки PV_1 от продажи продукции ВЭД определяются из рисунка 1.

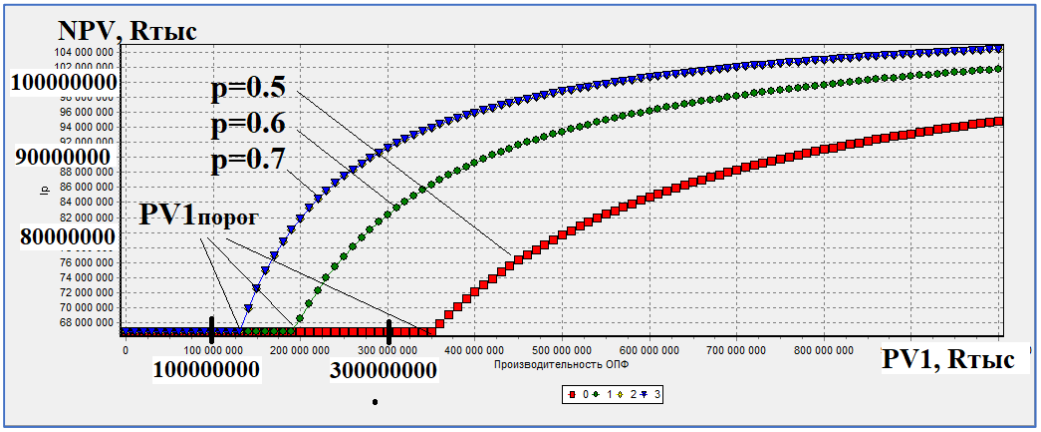


Рисунок 1 – Зависимости NPV(PV1) для ВЭД в рассматриваемых сценариях

Из анализа рисунка 1 лицо, принимающее решения (ЛПР), может ориентировочно определять пороговые и прогнозные значения выручки предприятий изучаемого ВЭД, при которых возникает его положительный вклад в NPV проекта регионального развития. В частности, соответствующая указанным сценариям пороговая выручка PV_1 приблизительно составляет 130Rмлрд; 190Rмлрд и 250Rмлрд.

Для реализации второй группы экспериментов построены зависимости NPV(p) при следующих сценариях: 1) PV_1=50 Rмлн; 2) PV_1=100 Rмлн; 3) PV_1=200 Rмлн; 4) PV_1=3000 Rмлн; 5) PV_1=500 Rмлн; 6) PV_1=1000 Rмлн (рисунок 2).

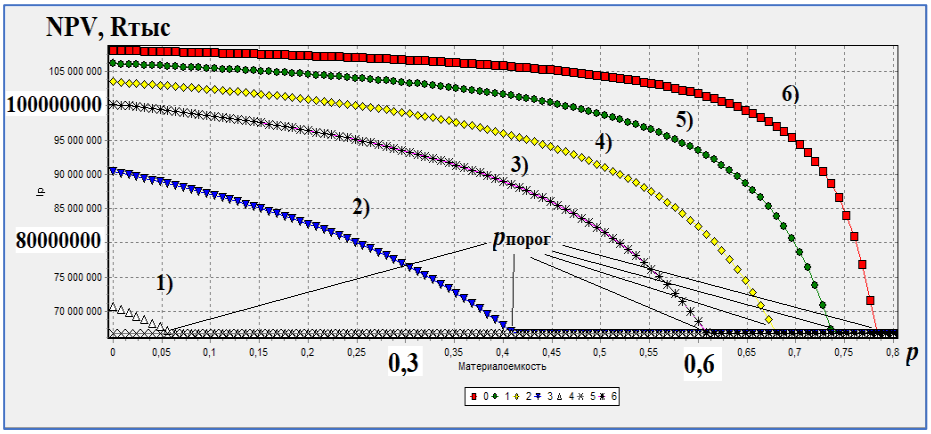


Рисунок 2 – Зависимости NPV(p) в сценариях 1)-6)

Проиллюстрированная на рисунке 2 информация позволяет ЛПР оперативно оценивать пороговые значения показателя материалоемкости производства продукции отрасли в зависимости от объемов выручки.

В результате проведенного исследования можно констатировать, что применение автоматизированного комплекса инструментов позволяет осуществлять эффективный оптимизационный анализ функционирования сельскохозяйственной отрасли региона в целях поддержки обоснованных управленческих решений. Полученные результаты применимы при проведении как оперативного анализа эффективности региональных ВЭД [7], так и при долгосрочных прогнозах развития [8] региональной экономики.

Список использованных источников

1. Моделирование и автоматизированная оценка эффективности развития агропродовольственного комплекса региона / А.В. Медведев, Е.А. Жидкова, А.М. Дворовенко, И.М. Кисляков // Бизнес. Образование. Право. – 2023. – №3(64). – С.40-46. – EDN: KAFILL

2. Kosinskiy, P. Approaches to Evaluation of Environmental and Economic Damage to the Kuzbass Agglomeration Caused by Coal Mining Industry Development / P.Kosinskiy, V.Merkuriev, A.Medvedev // E3S Web of Conferences : The conference proceedings Sustainable Development of Eurasian Mining Regions: electronic edition. Vol. 134. – Kemerovo: EDP Sciences, 2019. – P.03009. – DOI 10.1051/e3sconf/201913403009. – EDN DAJZON.

3. Императивы бизнеса / Л.А. Аль-Нсур, И.И. Берсенев, Р.В. Бобринев [и др.]. – Кемерово: Кемеровский институт (филиал) Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова», 2017. – 280 с. – EDN: ZJCDCN.

4. Медведев А.В. Об эффективном инструментарии анализа экономических систем // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – №11-5. – С.763-766. – EDN: TAHAFN.

5. Общероссийский классификатор видов экономической деятельности [сайт] / URL: https://classifikators.ru/okved#codes/ (Дата обращения: 11.08.2026). Текст: электронный.

6. Федеральная служба государственной статистики, единая межведомственная информационно-статистическая система / URL: https://rosstat.gov.ru/emiss. (Дата обращения: 11.08.2026). – Текст: электронный.

7. Корчагина И.В. Применение аналитического инструментария поддержки принятия оптимальных решений в задачах регионального социально-экономического развития / И.В. Корчагина, А.В. Медведев, О.В. Секлецова // Развитие производительных сил Кузбасса: история, современный опыт, стратегия будущего: международная научно-практическая конференция: в 4-х т. – М.: Российская академия наук, 2024. – С.368-373. – EDN IDZDNX.

8. Ануфриев Д.А. Цифровая оценка влияния зарплатоемкости сельскохозяйственного производства на экономическую эффективность региона / Д.А. Ануфриев, К.В. Марковец, В.И. Разломова // Формирование и реализация стратегии устойчивого экономического развития Российской Федерации: Сборник статей XV Международной научно-практической конференции. – Пенза:

Пензенский государственный аграрный университет, 2025. – С.49-53. – EDN BVYJAE.

TOWARDS AN AUTOMATED ASSESSMENT OF AGRICULTURAL PRODUCTION MATERIAL INTENSITY IMPACT ON ITS CONTRIBUTION TO THE GROSS REGIONAL PRODUCT

D.A. Anufriev

Kemerovo State University,
Kemerovo, Russia

Using automated software and analytical tools, we assessed the economic efficiency of the regional agricultural sector based on the material intensity of production. The results of computational experiments are presented to determine the optimal threshold values for revenue from sales of the industry's products, at which it begins to influence the present value of the regional production sector added to investments. The relationship between material intensity and revenue of the regional agricultural sector is also determined.

Keywords: region, agricultural sector, material intensity, mathematical modeling, application software package, computational experiment, decision support.

УДК 624.04

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ В ОТДЕЛЬНЫХ СТЕРЖНЯХ МНОГОЭТАЖНОЙ РАМЫ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО ИЗМЕРЕННЫМ ПЕРЕМЕЩЕНИЯМ

Е.С. Апилатов[1], Л.Е. Путеева[1], Б.А. Тухфатуллин[2]

[1]Томский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Томск, Россия
[2]ООО «Модуль»,
г. Томск, Россия

В работе предложен метод анализа статически неопределимых многоэтажных рам, основанный на использовании экспериментальных данных о перемещениях в отдельно взятом стержне рамы. Для вычисления прогибов, изгибающих моментов и поперечных сил в стержне применен инструментарий «Поиск решения» табличного процессора Microsoft Excel.

Ключевые слова: многоэтажная рама, статическая неопределимость, идентификация напряженно-деформированного состояния.

Традиционная методика преподавания строительной механики статически неопределимых систем базируется на изучении метода сил, метода перемещений и смешанного метода [1–3]. Расчёт методом сил сопряжен с рядом проблем, к

которым относятся: высокая трудоёмкость: (с ростом числа неизвестных объём вычислений, построение эпюр, расчёт коэффициентов увеличиваются в геометрической прогрессии). Существенным фактором является риск ошибок (неточность на любом этапе расчётов делает итоговый результат неприемлемым). Есть и учебные ограничения (из-за большого объёма вычислений студентам обычно предлагают задачи с минимальной степенью неопределимости, как, правило, до трех неизвестных).

На практике же инженеры сталкиваются с многократно статически неопределимыми системами. При этом достаточно часто возникает потребность в локальном расчёте отдельного стержня или узла, но традиционные подходы вынуждают рассчитывать всю конструкцию полностью, что существенно усложняет процесс обследования и усиления объектов. В последнее время мониторинг напряжённо-деформированного состояния (НДС) зданий и сооружений в режиме реального времени стал актуальным направлением в строительной науке [4, 5]. Автоматизированный сбор данных о деформациях конструкций с их последующим сравнением с конечно-элементными моделями позволяет эффективно контролировать несущую способность объектов.

В данной работе развивается методика [6], расширяющая область её применения с однопролётных стержней и неразрезных балок на более сложные системы. На примере двухпролётной четырехэтажной рамы [7] с различными сечениями ригелей и стоек (рисунок 1, а) была проведена проверка алгоритма. Предложенный метод позволяет определять НДС отдельного стержня многоэтажной рамы, опираясь на ограниченный объём экспериментальных данных, без необходимости проведения полного расчёта всей конструкции. Текущая версия методики ограничена случаями, когда функция углов поворота сечений описывается полиномом не выше третьей степени (линейная, квадратичная или кубическая зависимость). Это соответствует стандартным схемам нагружения рамы сосредоточенными силами, моментами по концам или равномерно распределённой нагрузкой по всей длине стержня. Поскольку ручной расчёт такой системы затруднителен, для получения исходных данных (углов поворота), прогиба в одном сечении и контрольных значений (изгибающих моментов и поперечных сил) использовался программный комплекс ЛИРА-САПР 2016.

Исходные данные: длина рассчитываемого стержня рамы, форма и размеры поперечного сечения, модуль упругости материала. По длине стержня назначаются не менее четырёх расчётных сечений, для которых величины углов поворота $\varphi_{экс}(x_i)$ определены экспериментально, и одно сечение с известным прогибом $v_{экс}$. Зависимости для вычисления прогибов $v(x)$, углов поворота $\varphi(x)$, изгибающих моментов $M_z(x)$, поперечных сил $Q_y(x)$ следующие:

$$EJ_z \cdot v(x) = C_0 + C_1 \cdot x + C_2 \cdot x^2 + C_3 \cdot x^3 + C_4 \cdot x^4; \quad (1)$$

$$EJ_z \cdot \varphi(x) = C_1 + 2 \cdot C_2 \cdot x + 3 \cdot C_3 \cdot x^2 + 4 \cdot C_4 \cdot x^3; \quad (2)$$

$$M_z(x) = 2 \cdot C_2 + 6 \cdot C_3 \cdot x + 12 \cdot C_4 \cdot x^2; \; Q_y(x) = 6 \cdot C_3 + 24 \cdot C_4 \cdot x. \quad (3)$$

В формулах (1) – (3) обозначены: EJ_z – изгибная жёсткость стержня, равная произведению модуля упругости материала E на осевой момент инерции J_z

; x – координата, отсчитываемая от начала стержня; C_0, C_1, C_2, C_3, C_4 – искомые величины. Для их определения сформулируем задачу условной оптимизации с целевой функцией (4) и ограничением (5):

$$O(C_0, C_1, C_2, C_3, C_4) = \sum \left(EJ_z \cdot \varphi_{\text{экс}}(x_i) - EJ_z \cdot \varphi(x_i)\right)^2 \to 0, \quad (4)$$

$$EJ_z \cdot v_{\text{экс}} - EJ_z \cdot v = 0. \quad (5)$$

Для решения задачи используется табличный процессор Microsoft Excel с функцией «Поиск решения».

Пример. Для апробации предложенного алгоритма рассчитана двухпролётная четырёхэтажная рама [7], загруженная равномерно распределёнными нагрузками $q_1 = 48{,}9$ кН/м и $q_2 = 53{,}95$ кН/м (рисунок 1, а). Поперечные сечения стойки и ригеля показаны на рисунках 1, б, в; модуль упругости принят равным $E = 2 \cdot 10^7$ кПа. По назначенным размерам сечений вычислены геометрические характеристики: площадь стойки 1600 см^2, ригеля 7600 см^2; осевые моменты инерции: стойки 213333 см^4, ригеля 1550175 см^4.

Расчёт выполнялся для двух случаев: ригеля «13–14» и стойки «1–4». В первом случае изгибная жёсткость ригеля принималась равной 1,0000, тогда жёсткость стойки составила 0,1376. Во втором случае изгибная жёсткость стойки принималась за 1,0000, тогда жёсткость ригеля составила 7,267. Результаты расчётов представлены на рисунке 2 и приведены в таблицах 1 и 2.

Сопоставление моделирования в ЛИРА САПР 2016 и расчёта по предложенному алгоритму продемонстрировало его высокую точность и согласованность результатов. Перспективы дальнейших исследований связаны с адаптацией метода для более сложных видов нагружения.

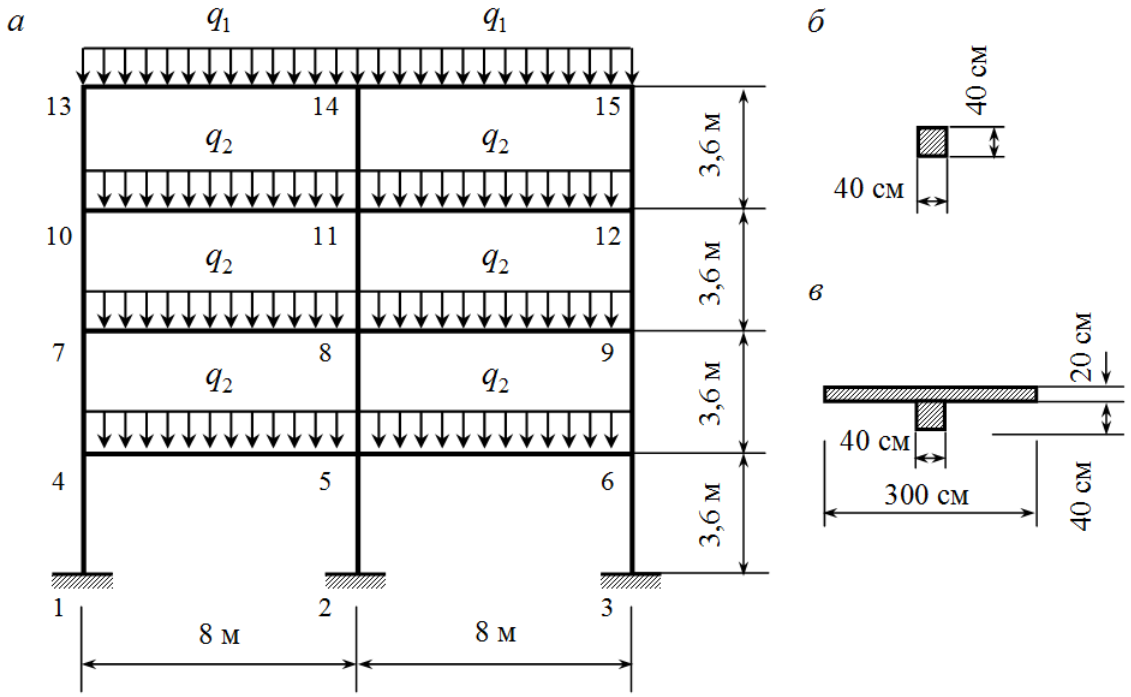


Рисунок 1– Расчётная схема многоэтажной рамы (а); поперечное сечение стойки (б); поперечное сечение ригеля (в)

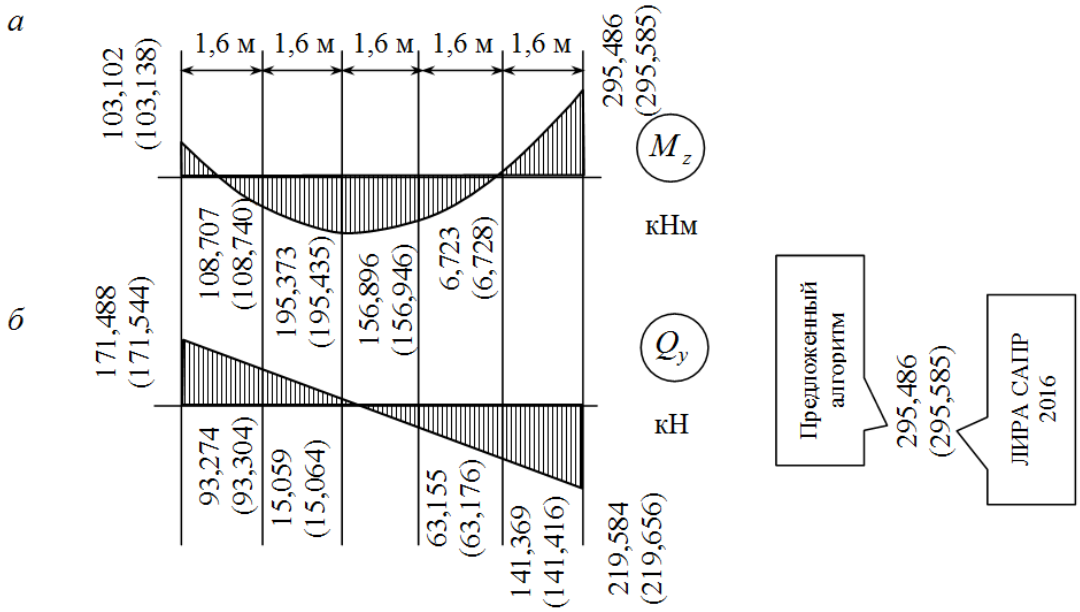


Рисунок 2 – Результаты вычисления внутренних усилий в стержне 13-14 по предложенному алгоритму и в программном комплексе ЛИРА САПР 2016:изгибающие моменты (а); поперечные силы (б)

Таблица 1 – Результаты вычислений для стержня 13-14

Предложенный алгоритм					
№	x	$EJ_z \cdot \varphi$	$EJ_z \cdot v$	M_z	Q_y
1	0,000	-491,359	-653,329	-103,102	171,488
2	1,600	-470,190	-1467,755	108,707	93,274
3	3,200	-210,240	-2030,588	195,373	15,059
4	4,800	88,261	-2119,963	156,896	-63,155
5	6,400	225,085	-1834,381	-6,723	-141,369
6	8,000	0,003	-1592,709	-295,486	-219,584
Программный комплекс ЛИРА САПР 2016					
	№	$EJ_z \cdot \varphi_{экс}$	$EJ_z \cdot v$	M_z	Q_y
	1	-491,371	-653,329	-103,138	171,544
	2	-470,204	-1467,777	108,740	93,304
	3	-210,244	-2030,625	195,435	15,064
	4	88,268	-2119,997	156,946	-63,176
	5	225,096	-1834,399	-6,728	-141,416
	6	0	-1592,716	-295,585	-219,656
C_0	C_1	C_2	C_3	C_4	$EJ_z \cdot v_{экс}$
-491,359	-103,102	85,744	-8,147	-653,329	-653,329

Таблица 2 – Результаты вычислений для стержня 1-4

Предложенный алгоритм					
№	x	$EJ_z \cdot \varphi$	$EJ_z \cdot v$	M_z	Q_y
1	0,000	0,000	0,000	28,287	-23,506
2	0,720	14,273	5,869	11,363	-23,506
3	1,440	16,362	17,629	-5,561	-23,506
4	2,160	6,264	26,506	-22,486	-23,507
5	2,880	-16,018	23,725	-39,411	-23,507
6	3,600	-50,488	0,514	-56,337	-23,508
Программный комплекс ЛИРА САПР 2016					
	№	$EJ_z \cdot \varphi_{экс}$	$EJ_z \cdot v$	M_z	Q_y
	1	0,000	0,000	28,295	-23,513
	2	103,736	42,658	11,366	-23,513
	3	118,912	128,125	-5,564	-23,513
	4	45,526	192,636	-22,493	-23,513
	5	-116,418	172,429	-39,422	-23,513
	6	-366,924	3,738	-56,351	-23,513
C_0	C_1	C_2	C_3	C_4	$EJ_z \cdot v_{экс}$
-0,000867	28,287202	-11,752768	-0,000110	0	0

Заключение. В работе продемонстрирована возможность определения внутренних усилий отдельно взятого стержня многоэтажной рамы на основе экспериментальных данных о перемещениях ряда сечений. Расчет НДС реализован с применением инструмента «Поиск решения» в среде MS Excel.

Список использованных источников

1. Дарков, А.В. Строительная механика: учебник для вузов / А.В. Дарков, Н.Н. Шапошников. – СПб. : Лань, 2010. – 656 с.

2. Тухфатуллин, Б.А. Строительная механика. Расчёт статически неопределимых систем / Б.А. Тухфатуллин, Р.И. Самсонова, Л.Е. Путеева. – М : изд-во Юрайт, 2021. – 155 с.

3. Тухфатуллин, Б. А. Смешанная форма метода конечных элементов для расчёта плоских стержневых систем / Б.А. Тухфатуллин, Л.Е. Путеева, В.Д. Раков. – Томск : Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2020. – 104 с. – ISBN 978-5-93057-949-9. – EDN YWTUDU.

4. Тимошева, А.Ю. Исследование сходимости параметров напряженного и деформированного состояния от числа точек замера прогибов подвешенной на

тросах балки / А.Ю. Тимошева // Актуальные проблемы авиации и космонавтики : Сборник материалов IX Международной научно-практической конференции, посвященной Дню космонавтики. В 3-х томах, Красноярск, 10–14 апреля 2023 года / Под общей редакцией Ю.Ю. Логинова. Том 1. – Красноярск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», 2023. – С. 372-374. – EDN PUCNYY.

5. Голоднов, А.И. Моделирование напряженно-деформированного состояния стальных конструкций по результатам выполненного обследования / А.И. Голоднов, А.П. Иванов, В.В. Псюк // Металлические конструкции. – 2011. – Т. 17, № 3. – С. 167-175. – EDN OBVAOT.

6. Апилатов, Е. С. Информационное моделирование НДС балки по экспериментально измеренным углам поворота сечений / Е.С. Апилатов, Л.Е. Путеева, Б.А. Тухфатуллин // Современные технологии в российской и зарубежных системах образования : Сборник статей XV Международной научно-практической конференции, Пенза, 15–16 апреля 2026 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2026. – С. 22-28. – EDN: DEAMWK.

7. Расчет статически неопределимой рамы приближенными методами и оценка их точности / З.К. Абаев, Д.Д. Короева, А. А.Бердиева, Т. В.Елоев // Современные тенденции развития информационных технологий в научных исследованиях и прикладных областях: Сборник докладов II Международной научно-практической конференции, Владикавказ, 29–30 апреля 2021 года. – Владикавказ: Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), 2021. – С. 203-211. – EDN QQGCQM.

DETERMINING FORCES IN INDIVIDUAL RODS OF A MULTI-STOREY FRAME BASED ON EXPERIMENTALLY MEASURED DISPLACEMENTS

E.S. Apilatov[1], L.E. Puteeva[1], B.A. Tukhfatullin[2]

[1]Tomsk State University of Architecture and Buildinig,
Tomsk, Russia,
[2]OOO «Module»,
Tomsk, Russia

This paper proposes a method for analyzing statically indeterminate multi-story frames based on experimental data on displacements in individual frame rods. The «Solution Search» tool in Microsoft Excel was used to calculate deflections, bending moments, and shear forces in the rod.

Keywords: multi-story frame, static indeterminacy, stress-strain state identification.

УДК 378.147/3

ИЗ ОПЫТА ДИСТАНЦИОННОГО ПРОВЕДЕНИЯ УЧЕБНОЙ ПРАКТИКИ ПО РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММ ВНЕУРОЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

О.В. Арзыбова, Е.В. Путилова, Н.В. Беленов

Самарский государственный социально-педагогический университет, г. Самара, Россия

В статье авторы Самарского государственного социально-педагогического университета делятся своим опытом дистанционного проведения учебной практики по проектированию программ внеурочной деятельности на основе информационно-коммуникационных технологий у студентов различных факультетов вуза. Авторы статьи надеются, что работа будет полезна как преподавателям педагогических вузов, так и всем педагогам, интересующимся внедрением дистанционных технологий в педагогический процесс.

Ключевые слова: педагогика, высшее образование, педагогический вуз, дистанционное обучение, информационно-коммуникационные технологии.

Вопросы использования дистанционных технологий и цифровизации учебного процесса неизменно вызывают интерес у преподавательского сообщества и сопровождаются оживлёнными дискуссиями [1, 2, 3].

Учебная практика по проектированию программ внеурочной деятельности на основе информационно-коммуникационных технологий является неотъемлемой частью учебного процесса на всех факультетах Самарского государственного социально-педагогического университета, как на очной, так и на заочной формах обучения.

Данная практика входит в нагрузку преподавателей кафедры информационно-коммуникационных технологий в образовании Самарского государственного социально-педагогического университета, кафедра в настоящее время является межфакультетской.

Целью практики является формирование профессиональной готовности будущих учителей к проектированию программ внеурочной деятельности, ориентированных на реализацию деятельностного подхода и формирование образовательных результатов школьников в соответствии с требованиями ФГОС общего образования за счет использования дидактического и общекультурного потенциала информационно-коммуникационных технологий и ресурсов сети Интернет.

Вид профессиональной деятельности (тип задач профессиональной деятельности), к которому готовит практика: планирование, организация и проведение внеурочной деятельности.

Со времени пандемии COVID-19, когда весь учебный процесс был переведён в дистанционный формат, данная практика проводится в университете полностью дистанционно для студентов заочной формы обучения и в основном

дистанционно для студентов очной формы обучения, однако есть факультеты – например, начального образования, где эта практика проводится аудиторно.

В процессе защиты программ на итоговых конференциях по практике студенты представляют:

– тематический план программы внеурочной деятельности, включающий перечень основных разделов программы с указанием необходимых на их реализацию часов и планируемых образовательных результатов;

– примерное описание занятий (не менее 10), включая содержание и виды деятельности, рекомендуемые педагогические техники и приемы; средства ИКТ, сервисы и ресурсы сети Интернет для сопровождения программы; основные планируемые образовательные результаты;

– технологическую карту занятия (на выбор студента) на основе одной из моделей смешанного обучения («перевернутое обучение», «смена рабочих зон», «автономная группа»);

– сетевой информационный ресурс для сопровождения программы внеурочной деятельности, включая: примеры размещения заданий для обучающихся и инструментальные средства оценивания; каталог рекомендуемых сервисов и ресурсов сети Интернет; методические рекомендации по работе с ресурсами; информация для родителей и других социальных партнеров и т.п.

За годы проведения этой практики в дистанционном формате можно утверждать, что данная форма обладает рядом преимуществ перед традиционной аудиторной формой проведения занятий.

Во-первых, сама тематика практики предусматривает использование дистанционных технологий; во-вторых, таким образом обеспечивается лучшая посещаемость занятий, поскольку многие из студентов вуза являются иногородними, а специфика обучения на некоторых факультетах (факультет физической культуры и спорта, факультет культуры и искусств) предполагает длительные командировки, как зарубежные, так и по другим регионам России; в-третьих, поддерживается комфортная образовательная среда, в условиях, когда весь необходимый инструментарий «под рукой» из любой точки доступа в интернет, отпадает необходимость нахождения в учебном заведении.

Учитывая, что данная практика, как уже было сказано выше, проводится как в дистанционном, так и в аудиторном формате, имеется возможность сравнить эффективность этих двух форм обучения. Опираясь на опыт последних семи лет, отметим, что существенных различий в количественных и качественных показателях прохождения данной практики между теми студентами, которые обучались дистанционно, и теми, которые посещали занятия очно, не наблюдается.

Таким образом, констатируем, что, при одинаковой эффективности, дистанционное преподавание обладает рядом преимуществ, перечисленных выше.

Список использованных источников

1. Беленов Н. В. Цифровизация образования: намечающиеся проблемы формирования личности / Н. В. Беленов // Цифровизация: новые тренды и опыт

внедрения: сборник материалов Международной научно-практической конференции (Уфа, 2015). – Уфа: Агентство международных исследований, 2015. – С. 10 – 12

2. Избранные вопросы цифровой трансформации образования: монография / под ред. Л. Л. Босовой, Ю. В. Вайнштейн, В. В. Гриншкуна. – Москва: ИНФРА-М, 2024. – 188 с.

3. Роберт, И. В. Цифровая трансформация образования: теория и практика: монография / И. В. Роберт, И. Ш. Мухаметзянов, Е. В. Лопанова; Министерство образования и науки Российской Федерации, Омская гуманитарная академия. – Омск: ОмГА, 2022. – 178 с.

FROM THE EXPERIENCE OF REMOTE EDUCATIONAL PRACTICE IN THE DEVELOPMENT OF EXTRACURRICULAR ACTIVITIES

O.V. Arzybova, E.V. Putilova, N.V. Belenov

Samara State Social and Pedagogical University, Samara, Russia

In the article, the authors of Samara State University of Social Sciences and Education share their experience of remote educational practice in designing extracurricular activities based on information and communication technologies for students of various faculties of the university. The authors of the article hope that the work will be useful both for teachers of pedagogical universities and for all teachers interested in the introduction of remote technologies into the pedagogical process.

Keywords: pedagogy, higher education, pedagogical university, distance learning, information and communication technologies

УДК 004.91

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ БЕЗОПАСНОГО ТУРИСТИЧЕСКОГО МАРШРУТА

Р.Е. Белкин

Смоленский государственный университет, г. Смоленск, Россия

В работе предлагается модель безопасного туристического маршрута, объединяющая два методологических основания: риск-ориентированную оценку комплексной безопасности туристского маршрута и многокритериальную оптимизацию маршрутов на графах. В качестве теоретической базы используются только два источника: исследование, в котором безопасность маршрута рассматривается через вероятность опасных событий, тяжесть их последствий и суммарный риск по зонам пребывания туриста, а также работа, где организация маршрутов трактуется как многокритериальная задача на графе без единственного

универсально оптимального решения. Такая комбинация позволяет перейти от интуитивного выбора «самого короткого пути» к формальной модели, в которой маршрут считается приемлемым лишь при достижении допустимого уровня риска, а из множества безопасных альтернатив выбирается решение, наиболее удобное по длине, времени и структуре перемещения.

Ключевые слова: туристский маршрут, безопасность, риск, графовая модель, многокритериальная оптимизация, маршрутная сеть.

Современное проектирование туристических маршрутов требует учитывать не только логистику перемещения, но и безопасность туриста на всем протяжении пути. В методологическом исследовании комплексной безопасности туристских маршрутов безопасность понимается как безопасность туристов и их имущества, а также отсутствие ущерба окружающей среде, общественным ценностям и государству; при этом риск рассматривается как количественная мера опасности, связанная с вероятностью возникновения опасной ситуации и тяжестью ее последствий. Одновременно в исследовании математической организации маршрутов показано, что задачи планирования маршрутов в транспортных сетях обычно являются многокритериальными: единственное оптимальное решение чаще всего отсутствует, поэтому необходимо рассматривать множество допустимых альтернатив и выбирать решение по нескольким критериям качества [1, 2].

Риск-ориентированная часть модели опирается на положения о том, что туристский маршрут состоит из нескольких зон пребывания туриста, в каждой из которых могут реализовываться собственные опасности. В исследовании комплексной безопасности железнодорожных туров такими зонами названы вокзал станции отправления, пассажирский поезд, вокзал станции прибытия, средства размещения и объекты туризма. Хотя эта схема была разработана применительно к железнодорожному туру, ее методологическая ценность состоит в более общем принципе: туристский маршрут необходимо анализировать как систему последовательных участков, а не как абстрактную линию «из точки А в точку Б». Следовательно, и городской туристический маршрут целесообразно разложить на набор функциональных зон: точку отправления, участки передвижения, точки остановки, объекты посещения и, при необходимости, зоны размещения или пересадки [3].

Вторая теоретическая опора – многокритериальная оптимизация маршрутов. В исследовании организации маршрутов в крупномасштабных транспортных сетях маршрутная задача формализуется на графе, а качество решения оценивается не одной функцией, а вектором критериев. Предлагаемая модель задается ориентированным или неориентированным взвешенным графом [4, 5].

$$G = (V, E),$$

где V – множество вершин, соответствующих туристским объектам, точкам входа и выхода, местам отдыха, транспортно-пешеходным узлам и иным значимым точкам маршрута, а E – множество допустимых переходов между ними. Такой способ формализации напрямую согласуется с положением о том, что

транспортные и маршрутные задачи эффективно описываются дискретными оптимизационными моделями на графах и сетях [6, 7].

Каждому ребру $e_{ij} \in E$ сопоставляются, по меньшей мере, три группы характеристик. Первая группа – длина перехода l_{ij}. Вторая – временная характеристика t_{ij}, отражающая продолжительность прохождения участка. Третья – локальный риск r_{ij}, который суммирует возможные угрозы на конкретном сегменте маршрута.

Вероятность реализации отдельной опасности может быть записана в виде

$$p_i = \frac{m_{oi}}{M_i},$$

где m_{oi} – число объектов, на которых наблюдалась i-я опасность, а M_i – общее число объектов, где она потенциально возможна. Для редких событий используется схема Пуассона:

$$P_n(k) = \frac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!}, \quad \lambda = np.$$

Ожидаемое число пострадавших при реализации i-й опасности определяется как сумма по возможным исходам, после чего рассчитывается частный риск

$$r_i = \frac{n_{\Pi i}}{N},$$

где N – общее число людей на маршруте. Наконец, суммарный риск всего маршрута может быть представлен в виде

$$R(x) = 1 - \prod_{i=1}^{m}(1 - r_i),$$

то есть как риск реализации хотя бы одной из учитываемых опасностей.

После вычисления риска вводится ограничение допустимости:

$$R(x) \le R_{\text{доп}}.$$

Далее множество всех возможных маршрутов X преобразуется во множество безопасных альтернатив

$$X_{\text{safe}} = \{x \in X \mid R(x) \le R_{\text{доп}}\}.$$

На этом множестве задается вектор критериев

$$F(x) = \big(R(x),\, T(x),\, L(x),\, C(x)\big),$$

где $R(x)$ – суммарный риск маршрута, $T(x)$ – время прохождения, $L(x)$ – общая длина, $C(x)$ – структурная сложность маршрута.

Выбор окончательного решения предлагается выполнять лексикографически. Сначала по риску, затем по времени и длине маршрута.

Практическая реализация модели должна начинаться с декомпозиции туристического маршрута на зоны и участки: вершины графа задают туристские объекты и переходные узлы, а ребра описывают допустимые перемещения между ними.

Затем формируется база альтернативных маршрутов: сначала исключаются варианты с превышением допустимого риска, после чего среди оставшихся выбирается маршрут, наиболее рациональный по времени, длине и удобству перемещению туриста.

В результате можно сформулировать рабочее определение: безопасный туристический маршрут – это такой маршрут в графе туристической сети, для которого суммарный риск не превышает допустимого значения, а из множества безопасных альтернатив он выбирается по лексикографически упорядоченным критериям времени, длины и структурной удобности. Данное определение опирается на присланные источники и в то же время адаптирует их к теме проектирования туристического маршрута.

Список использованных источников

1. Козлов С. В. Проектирование и реализация графической модели «мира» для решения задачи коммивояжера / С. В. Козлов, Д. В. Подгорный // Развитие научно-технического творчества детей и молодежи - НТТДМ 2021: Сборник материалов V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Смоленск, 21 мая 2021 года. Том Вып. 5. – Киров: Межрегиональный центр инновационных технологий в образовании, 2021. – С. 47-52. – EDN HDINBV.

2. Алейник Д. В. Оптимизация логистических сетей на основе теории графов / Д. В. Алейник, В. Н. Коломиец, О. В. Косникова // Московский экономический журнал. – 2023. – Т. 8, № 11. – DOI 10.55186/2413046X_2023_8_11_591. – EDN HMIHZU.

3. Глазков В. Н. Методологические подходы к оценке комплексной безопасности туристских маршрутов / В. Н. Глазков // Наука и техника транспорта. – 2012. – № 1. – С. 14-23. – EDN OUNNAT.

4. Павлов Д. А. Математическая модель задачи организации маршрутов в крупномасштабных транспортных сетях с применением методов многокритериальной оптимизации / Д. А. Павлов, И. М. Яхонтова // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 133. – С. 1220-1230. – DOI 10.21515/1990-4665-133-092. – EDN KYDCGT.

5. Козлов С. В. О некоторых аспектах применения инвариантных методов функционального анализа данных в различных предметных областях / С. В. Козлов, И. А. Суин // Системы компьютерной математики и их приложения. – 2019. – № 20-1. – С. 199-205. – EDN FFSRVP.

6. Козлов С. В. Интерпретация инвариантов теории графов в контексте применения соответствия Галуа при создании и сопровождении информационных систем / С. В. Козлов // International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4, № 7. – С. 38-44. – EDN WCMIYL.

7. Сироткин А. В. Оптимизационная модель информационного взаимодействия в АСУ на основе дискретных систем / А. В. Сироткин // Северо-Восточный научный журнал. – 2013. – № 1. – С. 25-30. – EDN RIWSPJ.

DEVELOPMENT OF A SAFE TOURIST ROUTE MODEL

R.E. Belkin

Smolensk State University,
Smolensk, Russia

The work proposes a model of a safe tourist route, combining two methodological foundations: a risk-oriented assessment of the integrated safety of a tourist route and multi-criteria optimization of routes on graphs. Only two sources are used as a theoretical base: a study in which the safety of a route is considered through the probability of dangerous events, the severity of their consequences and the total risk for the tourist's areas of stay, as well as work where the organization of routes is interpreted as a multi-criteria problem on a graph without a single universally optimal solution. This combination allows you to move from intuitive selection of the "shortest path" to a formal model in which the route is considered acceptable only when the acceptable level of risk is reached, and from the many safe alternatives, the solution that is most convenient in length, time and structure of movement is selected.

Keywords: tourist route, safety, risk, graph model, multi-criteria optimization, route network.

УДК 669.14:519.87

МЕТОД РАСЧЕТА УСЛОВИЙ ОБРАЗОВАНИЯ И РАСТВОРЕНИЯ УПРОЧНЯЮЩИХ ФАЗ МИКРОЛЕГИРОВАННОЙ КОЛЕСНОЙ СТАЛИ

Р.А. Богословский, Е. Ю. Нарусова

Российский университет транспорта (РУТ (МИИТ),
г. Москва, Россия

В статье предложена расчетная модель для прогнозирования участков температуры полного растворения карбонитридов в аустените в составе высокоуглеродистой колесной стали. На основе термодинамических уравнений построен алгоритм расчета, который позволил реализовать переход от простого химического состава стали к температурным показателям. Кроме того, рассмотрены варианты программной реализации алгоритма.

Ключевые слова: математическая модель, термодинамический расчет, предиктивный алгоритм, микролегирование колесной стали.

Одним из способов изменения свойств стали в процессе её производства является микролегирование. Существенная задача, которая должна быть решена при этом – выбор микролегирующих элементов, который при традиционном подходе связан с проведением дорогостоящих натурных экспериментов – выплавкой образцов, их термообработкой и изучением механических свойств полученных материалов [1, 2]. Однако часть из этих этапов возможно упростить и

автоматизировать, чтобы снизить конечную стоимость исследований [3]. Так, например, поведение упрочняющих карбонитридных фаз, их образование и растворение хорошо изучено, описано и поддаётся расчётному прогнозированию по химическому составу.

Эффективность микролегирующей добавки во многом зависит от температурного диапазона, в котором получаемая фаза стабильна: если соединение растворяется при температуре нагрева, то оно теряет способность ингибировать рост зерна, но приобретает способность к последующему дисперсионному твердению [4, 5]. Ключевым параметром в этом случае является температура, при которой фаза полностью растворяется в аустените.

В основе модели лежит условие термодинамического равновесия карбида:

$$\lg([\%M] * [\%X]^n) = A - \frac{B}{T}$$

где [%M], [X] – концентрация металла и неметалла в аустените;

A, B – константы энергии Гиббса;

T– абсолютная температура, К,

n – стехиометрическая константа.

Фаза считается устойчивой в случае, если фактическое произведение концентраций в стали превышает равновесное значение. Температура полного растворения фазы находится из условия равенства фактического и равновесного значений:

$$T_{\text{р}} = \frac{B}{(A - lg_{\text{Кф}})}$$

где Кф – фактическое произведение концентраций.

Уравнение позволяет оценить температуру растворения: кинетические факторы могут лишь замедлить процесс, поэтому фактическая стабильность частиц при нагревании в процессе не ниже расчетного значения. Далее на основе описанных связей был построен алгоритм перевода состава стали в температурный ряд устойчивости фаз:

1) ввод химического состава стали (C, N, Al, V, Nb, Ti, B);
2) загрузка и обработка констант для каждой фазы;
3) вычисление для каждой фазы произведения концентраций с учетом стехиометрии;
4) расчет температуры растворения;
5) сортировка фаз по возрастанию температуры растворения;
6) вывод результата и сопоставление полученной температуры с заданными точками технологического нагрева.

Экспериментальный расчет был выполнен для опытной плавки с следующей концентрацией веществ: C = 0,65 %; N = 0,006–0,008 %; Al = 0,025 %; V = 0,05–0,13 %; Nb = 0,016 %; Ti = 0,015 %; B = 0,003 %. Константы A и B приняты по справочным данным [4].

Таблица 1 – Расчетные температуры полного растворения упрочняющих фаз

Включение (фаза)	Концентрация, %	Tp, °C
VC	V=0,05	868
VC	V=0,10	922
VN	V = 0,05; N = 0,006	943
VN	V = 0,10; N = 0,008	1020
AlN	Al = 0,025; N = 0,0061	1098
NbC	Nb = 0,0161	1189

Совокупность температур образует упорядоченный ряд («лестницу устойчивости»). Полученный в результате расчета порядок имеет практическое значение: карбид ванадия растворяется при 868 °C, то есть ванадий сдерживает рост зерна лишь при нагревах до ~900–950 °C, а при более высоких температурах он переходит в раствор и участвует в процессе дисперсионного упрочнения. Нитрид алюминия устойчив до 1098 °C, а это выше всех температур термической обработки, что объясняет наследственную мелкозернистость раскисленной алюминием стали. Разработанный алгоритм представляет собой вычислительную основу, на основе которой может быть построена информационная система для поддержки принятия решений по микролегированию. Система решает как прямую задачу (проводит расчет на основе химического состава), так и обратную задачу (на основе требуемого фазового состояния проводит расчет диапазона концентраций элементов).



Рисунок 1 – Визуализация расчетной среды

Возможны следующие варианты реализации.

– Веб сервис: размещение ядра и базы констант на сервере с доступом через браузер, централизованным обновлением термодинамических данных и накоплением результатов. Достоинства: актуальность базы констант, доступ без установки, совместная работа.

– Настольное приложение с базой данных. Реализация расчетной среды на языке общего назначения (Python, C#) с хранением библиотеки термодинамических констант и истории расчётов, автоматической сортировкой фаз и графическим представлением «лестницы устойчивости». Достоинства: возможность расширения базы, учёт нескольких наборов констант с оценкой погрешности.

Список использованных источников

1. Современное состояние методов улучшения механических характеристик и повышения эксплуатационной надежности железнодорожных колес / Г. А. Филиппов, Е. Ю. Нарусова, Р. А. Богословский, Н. О. Ливанова // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2026. – Т. 82, № 6. – С. 5-17. – DOI 10.32339/0135-5910-2026-6-5-17. – EDN XBFWBL.

2. Филиппов, Г. А. Актуальные вопросы улучшения качества и свойств рельсовой стали / Г. А. Филиппов, Н. О. Ливанова, О. А. Банных // Проблемы черной металлургии и материаловедения. – 2024. – № 4. – С. 18-28. – DOI 10.52351/00260827_2024_4_18. – EDN SRDYSQ.

3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2026681683 Российская Федерация. Программа оценки влияния состава и термической обработки на структуру и свойства колёсной стали с акцентом на микролегирование ванадием: заявл. 27.06.2026: опубл. 15.07.2026 / Р. А. Богословский, Е. Ю. Нарусова, Н. О. Ливанова. – EDN BRFVQS.

4. Гольдштейн, М. И. Растворимость фаз внедрения при термической обработке стали / М. И. Гольдштейн, В. В. Попов. – Москва: Металлургия, 1989. – 200 с. – ISBN 5-229-00334-0. – EDN SMNHRR.

5. Исследование кинетики распада аустенита при охлаждении колесных сталей различных марок / А. С. Гриншпон, Е. М. Васенина, А. И. Седышев [и др.] // Проблемы черной металлургии и материаловедения. – 2017. – № 3. – С. 66-70. – EDN ZFCMAF.

METHOD FOR CALCULATING THE CONDITIONS FOR THE FORMATION AND DISSOLUTION OF HARDENING PHASES IN MICROALLOYED WHEEL STEEL

R.A. Bogoslovsky, E. Yu. Narusova

Russian University of Transport (RUT (MIIT), Moscow, Russia

The article examines and proposes a computational model for predicting the temperature regions of complete dissolution of carbonitrides in austenite within high-carbon wheel steel. Based on thermodynamic equations, a calculation algorithm was developed, which made it possible to implement the transition from the simple chemical composition of the steel to temperature indicators. Options for software implementation of the algorithm were also considered.

Keywords: mathematical model, thermodynamic calculation, predictive algorithm, micro-alloying of wheel steel.

УДК 669.14:519.87

РЕГРЕСИОННАЯ МОДЕЛЬ ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ КАК СПОСОБ АНАЛИТИЧЕСКОГО ПОДБОРА ПАРАМЕТРОВ КОЛЕСНОЙ СТАЛИ

Р.А. Богословский, Е. Ю. Нарусова

Российский университет транспорта (РУТ (МИИТ), г. Москва, Россия

В статье рассматриваются вопросы подбора параметров колесной стали с применением аналитического метода, основанного на использовании однопараметрической регрессионной модели, которая связывает твердость высокоуглеродистой колесной стали с межпластинчатым расстоянием перлита. Модель позволяет прогнозировать эксплуатационные параметры железнодорожных колес.

Ключевые слова: анализ данных, экспериментальная статистика, высокоуглеродистая сталь, регрессионная модель.

Исследования в области улучшения эксплуатационных свойств колесной стали связаны с проведением многочисленных экспериментов по подбору оптимального состава стали и условий ее изготовления [1, 2]. Получение опытных и серийных плавок в рамках совершенствования конечных свойств колес является дорогостоящим процессом. Кроме того, в результате проведения множества испытаний скапливается объемный массив данных, который трудно анализировать без должной систематизации и предварительной обработки. Эти факторы определяют актуальность задачи прогнозирования эксплуатационных свойств материалов расчётными методами, решение которой находится на стыке информационных технологий и материаловедения.



Рисунок 1 – Процесс накопления и обработки информации

Твёрдость колёсной стали, в своей основе, формируется на стадии термической обработки и определяется параметрами получаемой перлитной структуры, а прежде всего - межпластинчатым расстоянием (S_0.) [3,4]. Установление количественной математической взаимосвязи между этими параметрами позволяет перейти от затратного эмпирического подбора к расчётному

прогнозированию свойств [5]. С математической точки зрения описанную задачу можно представить в виде:

$$HB = f(S_0)$$

Для создания модели использовались данные от исследования промышленной колёсной стали, содержащей 0,69% С. Помимо этого образцы подвергали аустенизации при 850 °С и изотермическому превращению при температурах в диапазоне от 460 до 720°С, что обеспечило формирование более однородной перлитной структуры с различным межпластинчатым расстоянием. Межпластинчатое расстояние определялось с помощью метода электронной микроскопии.

Таблица 1 – Исходные данные для построения модели

Температура превращения, °С	720	630	560	500	460
S_0, мкм	0,51	0,25	0,12	0,08	0,06
$S_0^{(-1/2)}$, мкм $^{(-1/2)}$	1,4	2	2,87	3,54	4,08
Твердость НВ	202	253	289	325	335

В качестве структуры модели может быть принята линейная зависимость твёрдости от величины $S_0^{(-1/2)}$, что соответствует известной зависимости Холла-Петча., а барьером для движения дислокаций выступают цементитные пластины:

$$HB = b + a * S_0^{(-\frac{1}{2})}$$

Параметры модели a и b оцениваются методом наименьших квадратов путём минимизации суммы квадратов отклонений расчётных значений от экспериментальных. Выражение возможно упростить, введя еще одну переменную, например x, = $S_0^{(-1/2)}$, сведя задачу к классической линейной зависимости вида HB=b+a*x. Оценив коэффициенты, были получены следующие значения: a=44,3; b=142,7. Таким образом выражение преобразуется в вид:

$$HB = 143 + 44{,}3 * S_0^{-(\frac{1}{2})}$$

Для подтверждения физической природы статистической модели было проведено сопоставление исходных данных с независимой кинетической теорией перлитного превращения Зинера–Хиллерта, согласно которой межпластинчатое расстояние обратно пропорционально степени переохлаждения. Совпадение экспериментальной выборки с независимой физической моделью подтвердило, что построенная регрессия описывает реальную причинно-следственную связь, а не случайную корреляцию, и, следовательно, позволяет прогнозировать значения за пределами исходной выборки.

Практическое значение модели состоит в возможности прогнозировать твёрдость по глубине обода колеса по расчётному распределению межпластинчатого расстояния, определяемому скоростью охлаждения при закалке, без проведения натурных измерений. Модель также позволяет решать обратную задачу: определять требуемое межпластинчатое расстояние (а через него режим

охлаждения) для достижения заданной твёрдости. Модель может быть реализована в виде расчётного модуля в среде Excel или Python.

Из возможных к разработке и применению могут быть востребованы следующие версии.

Расчётный модуль на базе табличной среды. Наиболее простое воплощение: реализация прямого и обратного расчёта средствами электронных таблиц (например, Excel) с построением прогноза распределения твёрдости по глубине обода в виде графика встроенные средствами. Достоинства: минимальная трудоёмкость разработки, прозрачность вычислений, доступность на любом рабочем месте без специального ПО с минимальными требованиями.

Самостоятельное настольное приложение с возможностью глубокой интеграции данных. Реализация ядра на языке общего назначения (например, Python с библиотеками численных расчётов, или C#) с графическим интерфейсом, хранением истории расчётов и возможностью пакетной обработки. Достоинства: гибкость, расширяемость модели (добавление поправок на легирование, доверительных интервалов, дополнительных сведений), возможность подключения к локальной базе данных плавок.

Список использованных источников

1. Современное состояние методов улучшения механических характеристик и повышения эксплуатационной надежности железнодорожных колес / Г. А. Филиппов, Е. Ю. Нарусова, Р. А. Богословский, Н. О. Ливанова // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2026. – Т. 82, № 6. – С. 5-17. – DOI 10.32339/0135-5910-2026-6-5-17. – EDN XBFWBL.

2. Филиппов, Г. А. Актуальные вопросы улучшения качества и свойств рельсовой стали / Г. А. Филиппов, Н. О. Ливанова, О. А. Банных // Проблемы черной металлургии и материаловедения. – 2024. – № 4. – С. 18-28. – DOI 10.52351/00260827_2024_4_18. – EDN SRDYSQ.

3. Перлит в углеродистых сталях / Д. А. Мирзаев, И. Л. Яковлева, К. Ю. Окишев [и др.]. – Екатеринбург: Институт физики металлов УРО РАН, 2006. – 311 с. – ISBN 5-7691-1713-3. – EDN QMZTHP.

4. Смирнов, М. А. Основы термической обработки стали / М. А. Смирнов, В. М. Счастливцев, Л. Г. Журавлев. – 2-е переработанное издание. – Москва: Наука и технологии, 2002. – 519 с. – ISBN 5-93952-008-1. – EDN TNPCXH.

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2026681683 Российская Федерация. Программа оценки влияния состава и термической обработки на структуру и свойства колёсной стали с акцентом на микролегирование ванадием: заявл. 27.06.2026 : опубл. 15.07.2026 / Р. А. Богословский, Е. Ю. Нарусова, Н. О. Ливанова. – EDN BRFVQS.

A SIMULATION MODEL FOR PROCESSING EXPERIMENTAL DATA AS A METHOD FOR THE ANALYTICAL SELECTION OF WHEEL STEEL PARAMETERS

R.A. Bogoslovsky, E. Yu. Narusova

Russian University of Transport (RUT (MIIT), Moscow, Russia

The article examines the issues of selecting the parameters of wheel steel using an analytical method based on a single-parameter regression model that links the hardness of high-carbon wheel steel to the inter-lamellar distance of pearlite. The model makes it possible to predict the performance parameters of railway wheels.

Keywords: data analysis, experimental statistics, high-carbon steel, regression model.

УДК 639.3:631.6

ИНФОРМАЦИОННЫЙ ОБЗОР ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ООО «ЭКОВОЛГА» ПО ЭКОЛОГИЧЕСКИМ УСЛОВИЯМ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА АКВАКУЛЬТУРЫ-РАКИ

И.В. Бородулин[1], В.А. Милюткин[2], В.А. Милюткин[3]

[1]ООО «ЭКОВОЛГА»,
[2]Самарский государственный аграрный университет-Самарский ГАУ, г. Самара, Россия
[3]Балтийский федеральный университет имени Канта, г. Калининград, Россия

В Российской Федерации, да и в Мире в целом, несмотря на значительные отрицательные заявления об ухудшении экологии в водоемах и водотоках из-за массового неуправляемого развития, в определенной степени вредных сине-зеленых водорослей СЗВ, причиняющих ущерб как природе, так и человеку, нет абсолютно эффективных решений данной проблемы. В тоже время вода должна быть чистой для различных отраслей, в том числе и для развития отрасли-аквакультура. Последние годы начало развиваться и прогрессировать в создании аквакультуры производство раков, которые особенно требовательны к качеству воды и фирма ООО «ЭКОВОЛГА» совместно с Самарским государственным аграрным университетом – Самарским ГАУ данные исследования проводит в течение длительного времени, что представлено в данной статье.

Ключевые слова: аквакультура, раки, производство, условия, вода, очистка, сине-зеленые водоросли, технологии, оборудование.

В последние годы аквакультура в России интенсивно развивается и по заявлению главы Росрыболовства И. В. Шестакова к 2030 году планируется

достичь уровня производства в 600 тыс. тонн, что потребует не только увеличения объемов, но и внедрения новых технологий и методов. Из всего перечня приоритетных направлений развития аквакультуры он выделил также расширение видового разнообразия, в частности – беспозвоночных, то есть раков. По мнению отечественных ученых [1] наиболее перспективным объектом мировой аквакультуры из раков является Австралийский красно-клешневый рак Cherax quadricarinatus (von Martens, 1868). Фирма ООО «ЭкоВолга» совместно с Самарским аграрным университетом проводят исследования по производству в искусственных условиях личинок и маленьких рачков (личинок) с дальнейшим их доращиванием в природных условиях в заливах рек, затонах и т.п. [2-3]. С учетом того, что раки эффективно растут только в чистой воде, а в водоемах в летний период из-за интенсивного, «бурного» развития сине-зеленых водорослей - циано-бактерий, условия жизнедеятельности для раков резко ухудшаются, нами проводятся исследования по очистке воды от СЗВ до требуемого качества по различным технологиям и разными устройствами [4-8; 9-10,11]. При этом сами по себе сине-зеленые водоросли - СЗВ достаточно ценное сырье [12-13] для биотоплива III – поколения, получение которого нами также исследуется на специальной установке, которая нами запатентована [14].

ООО «ЭкоВолга» по достаточно известным технологиям и оборудованием, усовершенствованным нами для местных условий при производстве аквакультуры - австралийского красно-клещевого рака, проводит исследования с целью его промышленного производства [2-3], с разработкой УЗВ (установка замкнутого водоснабжения-высокотехнологичная), где вода циркулирует по замкнутому кругу на дебаркадере зимой в стационарных садках после получения потомства в аквариумах (рис.1), а летом - в стационарных садках на плавучей базе в заливе реки Самарка, впадающей в р. Волга [2, 3].

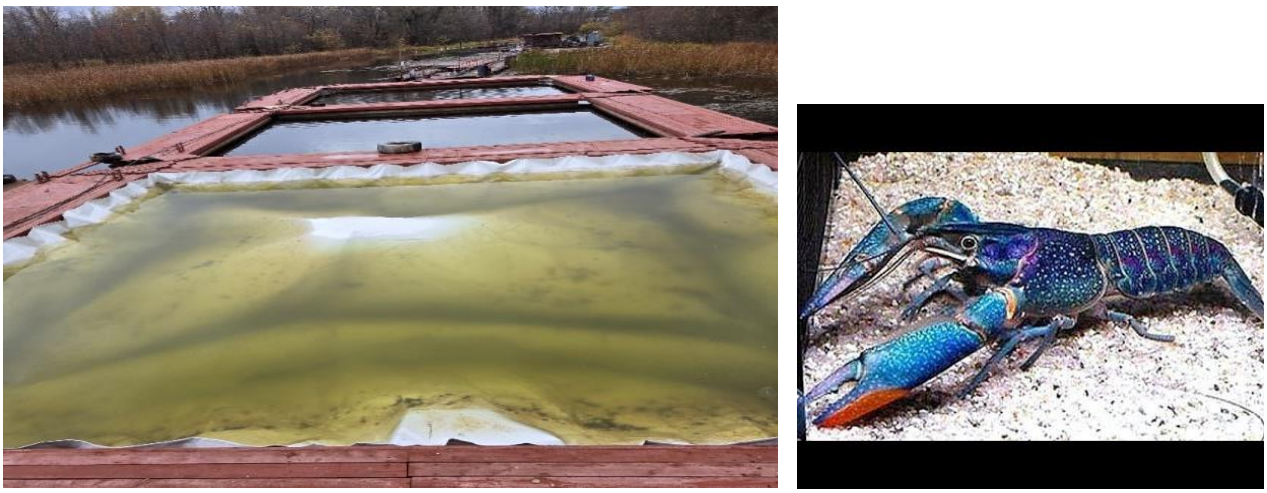
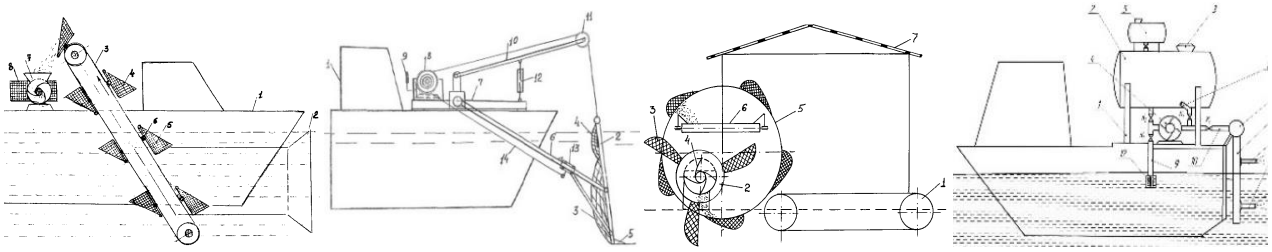


Рисунок 1 – Стационарные садки ООО «ЭкоВолга» в пойме реки Самарка, притока реки Волга, для аквакультуры - австралийского красно-клещевого рака

Для этого нами разрабатываются, совершенствуются и исследуются инновационные технологи и технические средства как для очистки среды

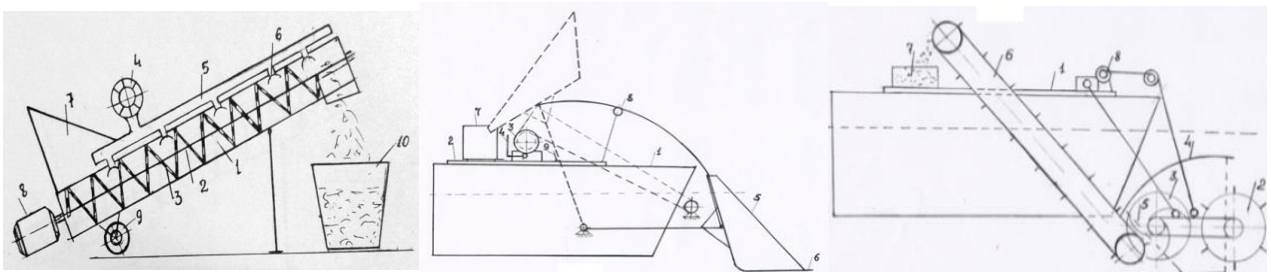
обитания раков – водоемов от СЗВ различными по конструкции агрегатами для сбора (рис.2а-в) [4-7] или биологического и химического уничтожения (рис.2г) [8] водорослей, сбора донных отложений со спорами СЗВ (рис.[9-10], так и сами технологии выращивания раков [2-3]. Устройства (рис.2-а,б,в,г) [2-6] для сбора сине-зеленых водорослей в водоемах состоят из плавающих средств с различным оборудованием для эффективного сбора водорослей с учетом их развития.



а) *б)* *в)* *г)*

Рисунок 2 – Устройства для сбора СЗВ техническими средствами (а,б,в) [4-7] или уничтожения химико-биологическими препаратами (г) [8]

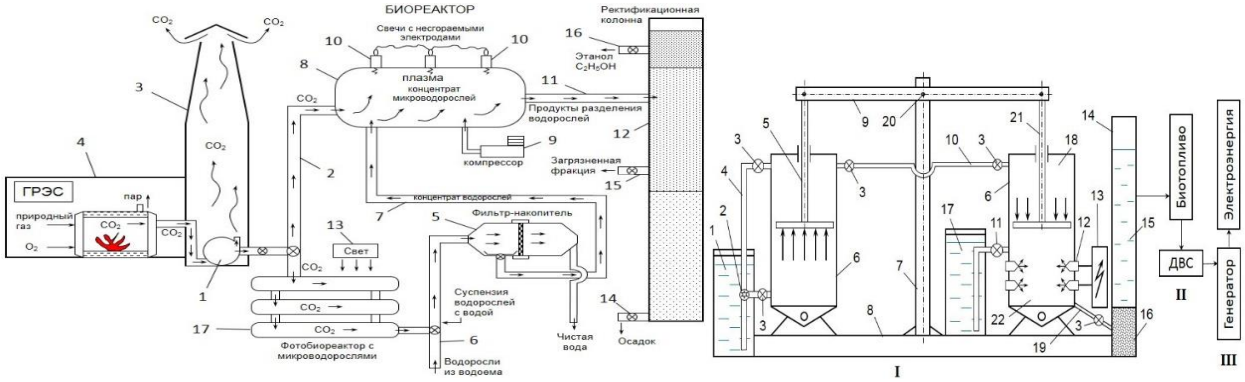
Кроме очистки водоемов от СЗВ нами разрабатываются различные агрегаты для их подготовки к хранению, в частности сушке (рис. 3а) [11], а также для очистки дна водоемов от спор СЗВ (рис.3б,в) [9-10], способ и устройство для утилизации продуктов сгорания энергоустановок, использующих природный газ для увеличения количества СЗВ (рис.4а) [12,13] и – возможной их переработки с получением биотоплива III поколения (рис.4,) [14].



а) *б)* *в)*

Рисунок 3 – Сушилка водорослей для хранения-а)-[11]; устройства для сбора донных отложений, сапропеля и спор СЗВ: б) - [9], - в) - [10]

В целом, запатентованные нами технические решения и технологии, при их внедрении, позволят эффективно решать проблему сохранения, улучшения экологии водных сред и развития аквакультур, в частности производство раков с экологическим эффектом для водоема и добавленной стоимостью от биотоплива.



а) *б)*

Рисунок 4 – Использование сине-зеленых водорослей: а)-способ и устройство для утилизации продуктов сгорания энергоустановок, использующих природный газ для увеличения количества СЗВ [12,13] б)-схема установки для производства биотоплива III поколения

Таким образом чистые водоемы являются отличным местом не только для бытовых потребностей (питьевая и техническая вода), но и для разведения такой аквакультуры, как раки. Проведенные исследования показывают высокую эффективность наших разработок, что, мы надеемся, будет востребованным производством для такой аквакультура как раки.

Список использованных источников

1. Ковачева Н.П., Борисов Р.Р., Никонова И.Н. и др. Технологическая схема и биотехнические показатели индустриального выращивания молоди австралийс-кого красно-клешневого рака//Труды ВНИРО. - 2024. - Т. 196. - С. 134-150.

2. Милюткин В.А., Кнурова Г.В., Бородулин И.В., Агарков Е.А., Попова Я.В. Технические решения выращивания аквакультуры (ракообразные) в садках с обеспечением чистой водой при мелиорации водоемов //В сборнике: Состояние и пути развития аквакультуры в Российской Федерации. Материалы IV национальной научно-практической конференции. - 2019. - С. 172-177. (4)

3. Бородулин И.В., Агарков Е.А., Попова Я.В., Милюткин В.А. Технологии и технические средства для круглогодичного эффективного производства аквакультуры в естественных условиях//сб.: Балтийский морской форум. Материалы VII Международного Балтийского морского форума. В 6-ти томах. 2019. С. 4-9. (3)

4. Агрегат для очистки водоемов от водорослей [Текст]: пат. 2596017 Рос. Федерация: МПК Е 02 В 15/00 /Милюткин В.А., Стребков Н.Ф., Котов Д.Н., Боро-дулин И.В. ООО «ЭкоВолга» № 2015120313/13; заявл. 28.05. 2015; опубл. 27.08. 2016; Бюл. № 24. (60)

5.Устройство для очистки водоемов от сине-зеленых водорослей [Текст]: пат. 2551172 Рос. Федерация: МПК Е 02 В 15/04 /Милюткин В.А., Стребков Н.Ф., Бородулин И.В., Котов Д.Н. ООО «ЭкоВолга». № 2014102809/13; заявл. 28.01. 2014; опубл. 20.05.2015; Бюл. № 14. (61)

6. Самоходный, автономно действующий агрегат для очистки водоемов от сине-зеленых водорослей [Текст]: пат. 2612445 Рос. Федерация: МПК А 01 D 44/00/Милюткин В.А., Бородулин И.В., Стребков Н.Ф. ООО «ЭкоВолга». - № 2016107549; заявл. 01.03.2016; опубл. 09.03.2017; Бюл. №7. (29)

7.Агрегат для очистки водоемов от водорослей [Текст]: пат. 2582365 Рос. Феде-рация: МПК Е 02В 15/10/Милюткин В.А., Бородулин И.В., Стребков Н.Ф. ООО «Эко-Волга». № 2014131847/13; заявл. 31.07.2014: опубл. 27.04.2016. Бюл. № 12.

8. Устройство для очистки водоемов от сине-зеленых водорослей с помощью биопрепарата [Текст]: пат. 2548075 Рос. Федерация: МПК С 02 F 3/00/ Милюткин В.А., Стребков Н.Ф., Котов Д.Н. ООО «ЭкоВолга».2013128808/05; заявл. 24.06. 2013; опубл. 10.04.2015; Бюл. № 10. (59)

9.Устройство для очистки водоемов от донных отложений [Текст]: пат. 2614877 Рос. Федерация: МПК Е 02 В 15/00/ Бородулин И.В., Милюткин В.А., Антонова З.П., Стребков Н.Ф., Котов Д.Н.-ООО «ЭкоВолга». 2015131618; заявл. 28.12. 2015; опубл. 30.03.2017; Бюл. № 10. (19)

10. Устройство для сбора донных отложений в водоемах [Текст]: пат.175462 Рос. Федерация: МПК Е 02 В 15/00/ Бородулин И.В., Милюткин В.А., Антонова З.П., Стребков Н.Ф. ООО «ЭкоВолга».2015128821; заявл. 15.07.2015; опуб. 06.12.2017 Бюл. № 34. (21)

11. Сушилка для сине-зеленых водорослей [Текст]: пат. 2606811 Рос. Федерация, МПК А 01 DF 44/00/ № 2015341945/ 13; заявл. 13.08.2015: опубл.10.01.2017/ Милюткин В.А., Бородулин И.В., Стребков Н.Ф., Антонова З.П. ООО «Эко-Волга. № 2015341945/13; заявл. 13.08.2015: опубл.10.01.2017; Бюл. №1. (59)

12.Способ утилизации продуктов сгорания энергоустановок, использующих природный газ [Текст]: пат. 2608495. Рос. Федерация: МПК А 01 G 7/02/ Бородулин И.В., Милюткин В.А., Антонова З.П. Панкеев С.А. - ООО «Эко Волга». № 2015132501; заявл. 04.08.2015; опубл.18.01.2017; Бюл. №2. (59)

13.Устройство для утилизации продуктов сгорания энергоустановок, использую-щих природный газ [Текст]: пат. 2599436 Рос. Федерация: МПК С12 М1/04/ Бородулин И.В., Агарков Е.А., Милюткин В.А., Антонова З.П., Панкеев С.А. ООО «Эко-Волга». № 2015132504/10; заявл. 04.08.2015; опубл. 10.10.2016. Бюл. № 28. (59)

14.Устройство для переработки сине-зелёных водорослей в биотопливо [Текст]: пат. 182401 Рос. Федерация: МПК С12 М 1/04/ Бородулин И.В., Агарков Е.А., Милюткин В.А. - ООО «ЭкоВолга».-№ 20171266494; заявл. 25.07.2017; опубл. 16.08. 2018. Бюл. № 23. (16)

INFORMATION REVIEW OF TECHNICAL AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS OF ECOVOLGA LLC ON ENVIRONMENTAL CONDITIONS FOR INDUSTRIAL AQUACULTURE PRODUCTION-CRAYFISH

I.V. Borodulin[1], V.A. Milyutkin[2], V.A. Milyutkin[3]

[1]OOO "ECOVOLGA",
[2]Samara State Agrarian University-Samara State Agrarian University, Samara, Russia,
[3]Baltic Federal University named after Kant, Kaliningrad, Russia

In the Russian Federation, and in the World as a whole, despite significant negative statements about environmental degradation in reservoirs and watercourses due

to the massive uncontrolled development of harmful blue-green algae, causing damage to both nature and humans, there are no absolutely effective solutions to this problem. At the same time, the water must be clean for various industries, including for the development of the aquaculture industry. In recent years, the production of crayfish, which are particularly demanding on water quality, has begun to develop and progress in the creation of aquaculture, and the company ECOVOLGA LLC, together with Samara State Agrarian University, Samara State Agrarian University, has been conducting these studies for a long time, which is presented in this article.

Keywords: aquaculture, crayfish, production, conditions, water, treatment, blue-green algae, technologies, equipment.

УДК 004.8

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ ПОИСКА НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Д.А. Васьковская, А.О. Завтур

Смоленский государственный университет,
г. Смоленск, Россия

В статье рассматривается сравнительный анализ ответов современных генеративных нейросетевых систем при решении задач, связанных с реализацией и исправлением алгоритма бинарного поиска. Под алгоритмами поиска нейронных сетей в рамках исследования понимаются программные решения, сформированные нейросетевыми моделями по одинаковым текстовым заданиям. Цель работы состоит в выявлении различий между ответами ChatGPT Pro, ChatGPT, YandexGPT, DeepSeek и GigaChat по скорости генерации, корректности, полноте объяснения, компилируемости кода и оптимальности выбранного алгоритмического решения.

Ключевые слова: нейронные сети, генеративный искусственный интеллект, бинарный поиск, алгоритмы поиска, Python, программирование, сравнительный анализ.

Развитие генеративного искусственного интеллекта оказывает заметное влияние на подходы к изучению программирования и решению типовых алгоритмических задач [1, 2]. Если ранее студенту приходилось самостоятельно подбирать пример реализации, анализировать учебник или документацию, то сегодня нейросетевые системы способны за несколько секунд сгенерировать программный код, объяснить его работу и указать временную сложность алгоритма [3]. Такое свойство делает нейросети полезным вспомогательным инструментом, однако одновременно требует внимательной проверки результата. Кажущийся правильным на первый взгляд ответ может быть неполным или иметь ошибки,

которые могут быть обнаружены только после тестирования [4]. Часто программисты, не имеющие достаточно опыта, допускают ошибки вследствие применения бинарного поиска. Поэтому он широко используется не только в решении задачи с нуля, но и в проверке и исправлении ошибок в уже существующем ответе.

В первом задании необходимо было написать на Python функцию бинарного поиска. В качестве вводных данных использовался отсортированный массив и искомое значение. На выходе программа должна была выводить индекс искомого элемента, если он был найден, в противном случае – вывести «-1». Также программа должна была указать временную и пространственную сложность. Во втором задании нужно было найти ошибку в уже существующей функции бинарного поиска и предложить вариант исправленного кода.

Для сравнительного анализа результатов было принято решение использовать в первую очередь количественные критерии. Например: среднее время ответа, количество слов, символов в ответе и среднее число строк кода. А также были использованы такие качественные критерии, как: правильность и полнота решения. Такой выбор критериев позволяет проверить полученное решение не только на работоспособность программы, но и на полное соответствие заданным условиям и применяемость в учебной деятельности.

Таблица 1 – Результаты сравнительного анализа ответов нейросетей

Нейросеть	Среднее время ответа, усл. ед.	Слов всего	Среднее число строк кода	Правильность	Полнота ответа	Итоговая оценка
ChatGPT Pro	0,380	188	18	2/2	2/2	12/12
ChatGPT	0,236	363	19	2/2	½	11/12
YandexGPT	0,635	145	18	2/2	½	11/12
DeepSeek	0,788	450	21	2/2	½	10/12
GigaChat	0,569	612	27	2/2	2/2	11/12

По данным в таблице результатов сравнительного анализа можем увидеть, что минимальное среднее время ответа у ChatGPT. Причем её показатель значительно отличается от показателей остальных нейросетевых систем и составляет всего лишь 0,236 условных единиц. Но стоит отметить, что высокая скорость решения не всегда является хорошим показателем, так как, например, в случае ChatGPT ответ на второе задание отмечен как неполный. Это показывает, что при использовании нейронных сетей следует обращать внимание не только на один критерий с хорошим показателем, а на их совокупность.

Наиболее удачно с заданиями справился ChatGPT Pro. Эта нейросеть оказалась только на втором месте по средней скорости ответа, но по качеству и полноте решения она выигрывает. По итогу сравнительного анализа эта система получила наибольший балл по критериям 12/ 12.

Самым кратким оказался YandexGPT. В двух ответах суммарно получилось всего 145 слов. Это говорит о его лаконичности, но, к сожалению, из-за неё пострадала полнота ответа в первом задании. Эта нейросетевая система подойдет для решения задач с простым условием или для получения основы ответа сложной задачи с дальнейшими дополнениями.

DeepSeek оказался самым медленным из всех рассматриваемых систем. Несмотря на это, он смог дать верные ответы на оба задания. К сожалению, в первом он использовал неоптимальную структуру данных, и ответ получился неполным. Со вторым заданием эта нейросеть справилась лучше: верно нашла ошибки, исправила их и сохранила верную сложность алгоритма.

Самые развёрнутые ответы на задания дал GigaChat. Суммарное количество слов в двух ответах получилось 612, а количество строк кода – 27. Несмотря на большой объём решения, в первой задаче была отмечена неоптимальность структуры данных. С одной стороны, большое количество текста может сделать ответ некомпактным и неудобным для восприятия. Но с другой стороны, эта система хорошо подойдёт для тех, кто хочет не просто получить быстрый ответ на задание, но и разобраться в рассматриваемой теме подробнее.

По результатам можно сделать вывод, что все модели смогли выполнить задания по бинарному поиску; различия только в полноте и оптимальности ответов. Наилучшее соотношение «время – полнота – оптимальность» показали модели ChatGPT Pro и ChatGPT. YandexGPT показал результаты чуть хуже, но не критично, так как из-за краткости ответов в одном из заданий не хватило подробностей, из-за чего и произошло снижение баллов. А вот модели DeepSeek и GigaChat хоть и дали правильные ответы, но по остальным критериям очень сильно уступили другим нейросетям.

Во втором задании нейросетям было предложено исправить ошибку в уже существующем бинарном коде [5, 6]. Там правая граница задавалась как $len(arr)$, а при переходе к правой половине массива изменялась левая граница $left = mid$. При таком обновлении границ цикл мог не сужать область поиска, что приводило к неверному результату или бесконечному выполнению. Корректный вариант должен задавать правую границу как $len(arr) - 1$ при использовании условия $left \leq right$, а при сравнении $arr[mid] < x$ выполнять $left = mid + 1$. Все рассмотренные модели в целом справились с исправлением логики, однако ChatGPT получил снижение по полноте ответа.

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что генеративные нейросетевые системы уже способны решать базовые алгоритмические задачи на уровне, достаточном для первичного обучения и самопроверки. Однако использование таких систем не должно сводиться к прямому копированию ответа. Даже при отсутствии синтаксических ошибок модель может дать неполное объяснение, не указать важное условие применения алгоритма или выбрать менее оптимальный способ представления данных. Поэтому наиболее рациональным подходом является использование нейросети как помощника, а не как окончательного источника решения.

Список использованных источников

1. Козлов С. В. Особенности использования методов интеллектуального анализа данных в обучающих информационных системах / С. В. Козлов // International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – Т. 8, № 7. – С. 29-39. – EDN DXGOFF.

2. Борисенкова А.В. Использование метода каскадов Хаара при распознавании образов на изображениях / А.В. Борисенкова, С.В. Козлов // Развитие научно-технического творчества детей и молодежи: Сборник материалов III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – 2019. – С. 28-33. – EDN GLRTQV.

3. Нефедов А. С. Использование инструментов генеративного искусственного интеллекта в решении исследовательских задач / А. С. Нефедов // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. – 2024. – Т. 1. – С. 194-196. – EDN YRLDVC.

4. Гузенко А. В. Образование 2.0: как использовать нейросети без вреда для учебы / А. В. Гузенко // Перспективы цифровой трансформации образования: Материалы IV национальной научно-практической конференции, Рязань, 17–18 апреля 2025 года. – Рязань: Рязанский государственный университет им. С.А. Есенина, 2025. – С. 62-67. – EDN XMGYPU.

5. Козлов С. В. Анализ LSTM и GRU моделей для построения прогнозов временных рядов / С. В. Козлов, С. А. Седенков // International Journal of Open Information Technologies. – 2024. – Т. 12, № 7. – С. 43-50. – EDN DMKFKO.

6. Сапрыкин Д. А. Алгоритмы машинного обучения в классификации и ее задачи в обучении моделей / Д. А. Сапрыкин, Е. Ю. Кравцова // Моя профессиональная карьера. – 2022. – Т. 2, № 43. – С. 232-237. – EDN TENJXE.

7. Антонов В. В. Прогнозирование на основе искусственной нейронной сети второго поколения для поддержки принятия решений в особо значимых ситуациях / В. В. Антонов, Е. В. Пальчевский, Р. Р. Еникеев // Программные продукты и системы. – 2022. – № 3. – С. 384-395. – DOI 10.15827/0236-235X.139.384-395. – EDN RGAQUS.

8. Козлов С. В. О LL(1)-грамматиках, алгоритмах на них и методах их анализа в программировании / С. В. Козлов, А. В. Светлаков // International Journal of Open Information Technologies. – 2022. – Т. 10, № 3. – С. 30-38. – EDN TNSFDZ.

9. Сенотова С. А. Сравнительный анализ методов аппроксимации с помощью регрессионных зависимостей и нейронных сетей для линейных моделей / С. А. Сенотова // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. – 2021. – Т. 1, № 18. – С. 31-35. – EDN LYGQUT.

10. Козлов С. В. Теория формальных грамматик и ее применение / С. В. Козлов, А. В. Светлаков // Системы компьютерной математики и их приложения. – 2021. – № 22. – С. 358-364. – EDN USEDOE.

COMPARATIVE ANALYSIS OF SEARCH ALGORITHMS GENERATED BY NEURAL NETWORKS

D.A. Vaskovskaia, A.O. Zavtur

Smolensk State University,
Smolensk, Russia

The article presents a comparative analysis of answers generated by modern neural network systems for tasks related to the implementation and correction of the binary search algorithm. In this study, search algorithms of neural networks are understood as software solutions generated by neural network models using identical text prompts. The purpose of the work is to identify differences between ChatGPT Pro, ChatGPT, YandexGPT, DeepSeek and GigaChat in terms of response speed, correctness, completeness of explanation, code compilability and optimality of the algorithmic solution.

Keywords: neural networks, generative artificial intelligence, binary search, search algorithms, Python, programming, comparative analysis.

УДК 004.021

ЦИФРОВИЗАЦИЯ КАК ОДНО ИЗ РЕШЕНИЙ ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОСПРОИЗВОДСТВОМ ОСНОВНЫХ ФОНДОВ ПРЕДПРИЯТИЯ ТРАНСПОРТНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

О.В. Войнова, А.Ю. Клюшин

Тверской государственный технический университет,
г. Тверь, Россия

Управление основными фондами с внедрением цифровых технологий является важным фактором для повышения конкурентоспособности и устойчивости предприятия. Цифровизация дает предприятиям множество преимуществ для повышения эффективности активов, снижения затрат и увеличения срока службы оборудования, адаптируя их к изменениям рынка.

Ключевые слова: цифровизация, воспроизводство и управление основными фондами, информационно-аналитический инструментарий.

Тверской вагоностроительный завод (ТВЗ) является одним из крупнейших предприятий транспортного машиностроения Российской Федерации и занимает ведущие позиции в области разработки и производства пассажирского подвижного состава. Предприятие играет важную роль в обеспечении потребностей железнодорожного транспорта страны современными пассажирскими вагонами, электропоездами и специализированной железнодорожной техникой.

История предприятия начинается в 1898 году, когда в городе Твери был основан Верхневолжский вагоностроительный завод. В настоящее время завод входит в число стратегически значимых предприятий отечественной

промышленности и является одним из ключевых производителей пассажирского железнодорожного подвижного состава.

Особенностью деятельности ТВЗ является высокая капиталоёмкость производства. Изготовление пассажирских вагонов требует использования большого количества специализированного оборудования, автоматизированных производственных линий, сварочных комплексов, грузоподъёмных механизмов и испытательных стендов. В связи с этим значительная часть имущества предприятия представлена основными производственными фондами.

Для предприятий транспортного машиностроения основные фонды являются одним из важнейших факторов обеспечения конкурентоспособности и устойчивого развития. В современных условиях деятельность ТВЗ осуществляется в рамках реализации политики технологического развития и цифровой трансформации производства. Предприятие активно внедряет современные информационные технологии, позволяющие повысить эффективность управления производственными ресурсами и производственными процессами.

Методики управления воспроизводством основных фондов – это комплекс подходов, которые помогают поддерживать производственные мощности, возмещать износ и обеспечивать расширенное воспроизводство. Их можно сгруппировать по этапам процесса воспроизводства и по инструментам принятия решений. Можно предложить следующие этапы методики [1]:

Этап 1. Провести теоретический анализ категории «основные фонды».

Этап 2. Определить сущность и особенности процесса воспроизводства основных фондов.

Этап 3. Описать уровень воспроизводства основных фондов обоснованной системой показателей.

Этап 4. Рассчитать и проанализировать интегральные показатели уровня воспроизводства основных фондов на ТВЗ.

Этап 5. Разработка универсальной модели для определения уровня воспроизводства основных фондов.

Этап 6. Разработать организационно-экономический механизм анализа и управления уровнем воспроизводства основных фондов на ТВЗ на основе цифровизации (например, внедрение автоматизированных систем управления активами на ТВЗ на базе «1С:ТОИР 2 КОРП» (АСУ «ЭСВИК»), обеспечивающих достоверность информации об эксплуатации и ремонтах оборудования на всех этапах его жизненного цикла).

В предложенной методике можно увидеть, что важным направлением развития является автоматизация процессов проектирования и подготовки производства. Для решения данных задач используются системы автоматизированного проектирования (CAD-системы), программные комплексы трёхмерного моделирования и технологии цифрового сопровождения жизненного цикла продукции. Применение данных решений позволяет существенно сократить сроки разработки новых образцов техники и повысить качество конструкторской документации [2].

В условиях цифровизации воспроизводство основных фондов рассматривается не только как процесс замены физически изношенного оборудования, но

и как инструмент повышения производительности труда, улучшения качества продукции и обеспечения устойчивого развития предприятия. В связи с этим возрастает значение цифровых методов мониторинга технического состояния оборудования, прогнозирования сроков его эксплуатации и оценки эффективности инвестиционных решений [3].

Таким образом, ТВЗ представляет собой сложную производственно-информационную систему, в которой основные фонды являются ключевым ресурсом. На предприятии реализуется программа «Цифровой завод», включающая внедрение ERP-систем, систем мониторинга оборудования, 3D-моделирования, а также проекты по созданию цифровых двойников и систем прослеживаемости объектов. Высокая капиталоёмкость и значительная доля активной части основных фондов (оборудование, автоматизированные линии) обусловливают необходимость разработки информационно-аналитических инструментов поддержки решений по воспроизводству.

Существующие методики ориентированы преимущественно на традиционные показатели (фондоотдача, износ, обновление) и не в полной мере учитывают цифровые факторы: применение EAM-систем, IIoT, предиктивная аналитика, цифровые двойники. Наиболее близкими к информационному подходу являются работы по цифровой зрелости и единому цифровому пространству промышленности [2, 3] и др., однако они не адаптированы для конкретной задачи управления воспроизводством основных фондов.

Поэтому, разработка и программная реализация информационно-аналитического инструментария (модели данных, алгоритмов расчёта, прототипа приложения) для оценки эффективности воспроизводства основных фондов с учётом цифровых факторов на примере Тверского вагоностроительного завода является актуальной задачей. В этом случае желательно и даже необходимо:

1. Провести анализ существующих информационных систем управления основными фондами (EAM и CMMS системы, ERP-модули, IIoT-платформы) и определить их функциональные возможности для поддержки воспроизводственных решений.

2. Разработать модель данных и систему агрегированных показателей, интегрирующую традиционные (фондоотдача, износ, обновление) и цифровые факторы (коэффициент охвата EAM, эффективность предиктивной аналитики, доля оборудования с цифровыми двойниками).

3. Спроектировать алгоритм интегральной оценки эффективности воспроизводства с возможностью варьирования весовых коэффициентов (адаптация к отраслевой специфике ТВЗ).

4. Реализовать прототип информационно-аналитического инструмента в среде, обеспечивающей сбор, обработку и визуализацию данных (Excel с макросами / Power BI / Python).

5. Провести апробацию прототипа на открытых данных ТВЗ и в сценарных расчётах (имитация влияния цифровых технологий) и сформулировать рекомендации по внедрению разработанного инструментария в практику управления предприятием транспортного машиностроения.

Таким образом, использование цифровых технологий способствует повышению оперативности принятия управленческих решений и эффективности использования материальных ресурсов на предприятии.

Список использованных источников.

1. Ларшина Т.Л., Минаков И.А. Методические подходы к оценке воспроизводственного процесса основных фондов // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2015. – № 2. – С. 114–120.

2. Абдикеев Н.М., Богачев Ю.С., Гринева Н.В., Абросимова О.М. Концепция единого цифрового пространства российской промышленности: направления повышения эффективности российской промышленности // Проблемы экономики и юридической практики. – 2023. – Т. 19, № 5. – С. 172–178.

3. Бабкин А.В., Михайлов П.А., Шкарупета Е.В., Гаев К.Б. Методика оценки цифровой зрелости промышленного предприятия и экосистемы на основе динамического коэволюционного потенциала // T-Economy. – 2024. – Т. 17, № 4. – С. 153–178.

DIGITALIZATION AS ONE OF THE SOLUTIONS TO THE PROBLEM OF MANAGING THE REPRODUCTION OF FIXED ASSETS OF A TRANSPORT ENGINEERING ENTERPRISE

O. V. Voynova, A. Yu. Klyushin

Tver State Technical University,
Tver, Russia

Fixed asset management with the implementation of digital technologies is an important factor in enhancing the competitiveness and sustainability of an enterprise. Digitalization offers companies numerous advantages in improving asset efficiency, reducing costs, and extending the service life of equipment, adapting them to market changes.

Keywords: digitalization, reproduction and management of fixed assets, information and analytical tools.

УДК 004.8:004.912

ОСОБЕННОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕКСТОВЫХ ДАННЫХ

В.А. Воробьев

Смоленский государственный университет,
г. Смоленск, Россия

В статье поднимается вопрос об актуальности исследования текстовых данных для анализа информации. В наше время появляется все больше и больше объемных и нечитаемых текстовых документов, поэтому приходится

использовать применение методов обработки данных. В статье рассмотрены основные способы анализа информации, такие как статические методы, математическое представление, классификация и кластеризация документов. Автором продемонстрировано, в каких основных сферах используется математический анализ. В выводах отмечается, какую роль играют математические методы при решении поставленной задачи.

Ключевые слова: текстовые данные, обработка данных, анализ информации, классификация, кластеризация, статические методы.

В настоящее время происходит постоянный рост объема информации. Большая часть находится в текстовом виде: электронные книги, научные статьи, социальные сети, новостные публикации. Половина из этих текстов, создаваемых ежедневно, является неструктурированной.

Обработка текста старыми способами становится неэффективной, так как они имеют сложную структуру и большой объем. И в помощь приходит математическое исследование текстовых данных, которое основано на методах теории вероятностей, статистике и машинном обучении [1]. Самым главным критерием, по которому можно исследовать текстовые данные по математическому анализу, является преобразование текста в пригодную для него форму. Компьютер не может анализировать текст напрямую и понимать его смысл, поэтому изначально информация преобразуется в набор количественных характеристик. Эти полученные данные дальше уже используются для дальнейшего исследования математическими методами.

Математическое исследование представляет собой правильную последовательность этапов, каждый из которых влияет на качество результата. Следовательно, если выбрать правильный способ обработки данных и алгоритм анализа, то это поможет в создании эффективной работы информационной системы.

Первым этапом является предварительная обработка: убираются элементы, которые не несут смысл в тексте, делается нормализация текста, убираются повторяющиеся символы, знаки и слова [2]. Также происходит разделение текста на лексические единицы и приведение к начальной форме слов [3]. Это позволяет сильно уменьшить объем информации обработки данных и повысить эффективность последующего анализа.

После данного этапа выбирается математическая модель представления текста и уже от этого выбора будет зависеть алгоритм шагов. Распространенные способы показаны в таблице 1.

Все приведенные модели используются для решения определенных задач. Выбор способа зависит от некоторых параметров: объём исследуемых данных, требования к точности анализа и вычислительные возможности используемой информационной системы.

Таблица 1 – Методы математического представления текстовых данных

Методы	Характеристика	Плюсы	Минусы
Частотный подход	Сколько раз каждое слово встретилось в документе	Прост в использовании	Смысл слов не учитывается
Взвешенный подход	Оценивает важность слов	Точность анализа	Нужно дополнительная обработка
Векторный подход	Каждое слово проецируется в пространстве	Учитываются семантические связи	Очень затратные вычисления
Семантический подход	Описывается с учетом общего смысла текста	Качество анализа высокое	Сложность в построении модели

Наиболее простым способом математического описания текста является частотное представление. В таком контексте рассматривается количество появлений в тексте каждого слова. Данный подход широко распространен при статических исследованиях текстов, сравнении документов между собой и определении наиболее употребляемых терминов. Следует отметить, что такой метод не позволяет анализировать смысловую связь между словами.

Взвешенное представление терминов (TF-IDF) основывается на оценке важности каждого слова для этого набора документов, а не вообще в языке. Благодаря этому мы отсеиваем пустые слова и вытаскиваем наверх ключевые термины. В итоге поиск работает точнее, документы группируются логичнее, и темы видны гораздо четче.

В основе векторного подхода лежит простая идея: каждое слово получает свой числовой вектор «набор координат», который помещает его в общее смысловое пространство. В нем слова оказываются автоматически поблизости друг к другу, если они являются похожими по смыслу. Это позволяет исследователю видеть смысловые связи. Результаты получаются более точными, особенно в сложных текстах, где важны нюансы.

Сегодня самым стандартным подходом является семантический анализ. Данный подход ориентирован на общую суть текста: учитываются связи между предложениями, логика и контекст употребления слов.

В отличие от старых частотных и статистических моделей, семантика помогает извлекать более глубокую информацию.

Статистические методы всё еще незаменимы для больших данных. Их задача состоит в подсчете количества слов и терминов, позволяя оценить

структуру текста и выделить наиболее важные слова. Есть и другие инструменты. Корреляционный анализ ищет скрытые взаимосвязи между терминами. Его используют при составлении словарей, в науке и поиске скрытых смыслов в больших документах. Классификация текстов является одной из важных задач. Она сортирует различные документы по указанным категориям, используя готовые критерии, а со временем и сама научилась распределять тематику. Этот пример широко используется, например, при фильтрации электронной почты от спама (Gmail зачастую отправляет письма магазинов в скрытые папки) [5, 6].

Кластерный анализ не требует добавления специальных меток и тегов. Он сам будет собирать информацию по группам, если не брать классификацию, то тут не нужно добавлять специальные метки и теги.

Он сам будет собирать информацию по группам, просматривая насколько они похожи. Каждый сформированный кластер включает документы с близкой тематикой или похожим содержанием. Это позволяет использовать кластеризацию при организации электронных библиотек, разборе научных публикаций и обработке масштабных архивов [7].

Не стоит забывать и о анализе тональности текста, классифицируемый текст автоматически как позитивный, нейтральный или негативный. Его задача состоит в определении эмоционального тона документа. Анализ тональности используется по максимуму при обработке отзывов клиентов, что дает продавцу узнать об отношении пользователей к их товарам.

Немалую роль играет тематическое моделирование. Его роль состоит в автоматическом определении основных тем в документах.

Такой подход дает возможность выявить скрытый смысл текстового массива. Документы распределяются по темам, что значительно упрощает поиск информации с большими объемами текстовых материалов [8].

В сумме можно сделать вывод о том, что для повышения эффективности исследований эти методы обычно используются все сразу. То есть сначала проводится предварительный статистический анализ для получения основных характеристик текста, а затем следует классификация, кластеризация или тематическое моделирование. Из этого выходит, что благодаря комбинации исследователи могут добиться более высокой точности и получить наиболее полное представление о содержании документов. Из этого всего можно создать инструмент для понимания больших текстов, который будет использоваться постоянно.

Список использованных источников

1. Козлов С. В. Применение регулярных выражений для обработки текстовых данных / С. В. Козлов, А. В. Светлаков // International Journal of Open Information Technologies. – 2022. – Т. 10, № 9. – С. 82-89. – EDN ZOSEER.

2. Козлов С. В. Теория формальных грамматик и ее применение / С. В. Козлов, А. В. Светлаков // Системы компьютерной математики и их приложения. – 2021. – № 22. – С. 358-364. – EDN USEDOE.

3. Скороходов И. С. Основные этапы обработки текста и генерации признаков в задачах текстовой классификации / И. С. Скороходов, А. Н. Тихомирова // Проблемы современной науки и образования. – 2016. – № 15(57). – С. 18-22. – DOI 10.20861/2304-2338-2016-57-005. – EDN WDGKJJ.

4. Шелоник А. А. Современные методы векторного представления слов / А. А. Шелоник В. И. Колдобский // Теория и практика современной науки. – 2017. – № 2(20). – С. 745-749. – EDN YIARJB.

5. Козлов С. В. Применение норм, весов и мер близости в качестве метода оптимизации поисковых запросов / С. В. Козлов, А. В. Кирикова // Наука. Исследования. Практика: сборник избранных статей по материалам Международной научной конференции, Санкт-Петербург, 26 октября 2021 года. – Санкт-Петербург: Гуманитарный национальный исследовательский институт НАЦРАЗВИТИЕ, 2021. – С. 68-70. – DOI 10.37539/SRP299.2021.96.29.003. – EDN ERZRJS.

6. Фомин В. В. Метод частотно-морфологической классификации текстов / В. В. Фомин А. В. Флегонтов А. А. Осочкин // Программные продукты и системы. – 2017. – № 3. – С. 478-486. – EDN ZDUXZD.

7. Пархоменко П. А. Обзор и экспериментальное сравнение методов кластеризации текстов / П. А. Пархоменко А. А. Григорьев Н. А. Астраханцев // Труды Института системного программирования РАН. – 2017. – Т. 29, № 2. – С. 161-200. – DOI 10.15514/ISPRAS-2017-29(2)-6. – EDN YNEYWH.

8. Коршунов А. Тематическое моделирование текстов на естественном языке / А. Коршунов А. Гомзин // Труды Института системного программирования РАН. – 2012. – Т. 23. – С. 215-244. – EDN PLUXDR.

FEATURES OF MATHEMATICAL RESEARCH OF TEXT DATA

V.A. Vorobyev

Smolensk State University,
Smolensk, Russia

The article raises the question of the relevance of textual data research for information analysis. Nowadays, more and more voluminous and unreadable text documents appear, so you have to use data processing methods. The article discusses the main ways of analyzing information, such as static methods, mathematical representation, classification and clustering of documents. The author demonstrated in which main areas mathematical analysis is used. The conclusions note the role that mathematical methods play in solving the problem.

Keywords: text data, data processing, information analysis, classification, clustering, and static methods.

УДК 004.85

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МЕТОДОВ НОРМАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ НА КАЧЕСТВО АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Н.В. Гаевский

Смоленский государственный университет,
г. Смоленск, Россия

Статья представляет собой теоретическое и практическое обоснование применения трёх различных методов нормализации числовых признаков, а именно Standard Scaler, MinMax Scaler и Robust Scaler, особенности их применения к различным типам данных и сравнительный анализ качества этих методов. Для проведения сравнительного анализа выбраны следующие алгоритмы машинного обучения: KNN, логистическая регрессия, случайный лес, градиентный бустинг. В качестве датасета для проведения практических экспериментов используется набор данных California Housing, представляющих собой характеристики домов в Калифорнии и цены на них.

Ключевые слова: машинное обучение, алгоритмы машинного обучения, нормализация, Python, числовые признаки.

Задачи прогнозирования дискретных и непрерывных величин в настоящее время пользуются огромной популярностью. Это связано с резко выросшими за последние годы объёмами данных и современными эффективными методами их хранения и обработки. Задачи прогнозирования решаются при помощи классических методов машинного обучения, таких как линейная и логистическая регрессии, метод k ближайших соседей (KNN), решающие деревья, алгоритмы, основанные на деревьях: случайный лес, градиентный бустинг, а также их ансамбли [1, 2].

Также нельзя не упомянуть очень распространённый в настоящее время алгоритм машинного обучения – нейронные сети. Это очень сильный, не имеющий аналогов инструмент для работы со структурированными данными (изображениями, текстом, музыкой), но почти всегда являющийся излишним для табличных данных, так как классические алгоритмы выигрывают в производительности, и, зачастую, показывают не менее хорошие метрики [3, 4].

Классические алгоритмы машинного обучения позволяют в большом количестве задач с табличными данными получить неплохие результаты с относительно небольшими (особенно по сравнению с нейронными сетями) затратами производительности. Но эмпирически не сложно заметить, что во многих случаях алгоритмы показывают на «сырых» необработанных данных менее хорошие результаты. Можно предположить, что для улучшения качества работы алгоритмов данные следует предварительно обработать.

Ниже приведён один из часто используемых алгоритмов обработки данных для дальнейшего построения моделей:

1) Обработка пропущенных значений

Методы: удаление, заполнение константой (средним, медианой, модой), моделирование пропущенных значений [5].

2) Кодирование категориальных признаков

Методы: One-Hot Encoding, Label Encoding, Frequency Encoding. Binary Encoding, Target Encoding, LOO-Encoding, WoE.

3) Масштабирование/Стандартизация

Методы: Standard Scaler, MinMax Scaler, Robust Scaler.

4) Затем можно переходить к Feature Engineering

В рамках данной статьи сфокусируем внимание на методах масштабирования числовых признаков. Математически нормализация есть применение к числовому вектору некоторой функции. Введём некоторые обозначения:

$X = (x_1, x_2, \ldots, x_n)$ – вектор значений некоторого числового признака,

mean X – среднее арифметическое данного признака,

std X – среднеквадратическое отклонение признака,

min X – минимальное значение признака,

max X – максимальное значение признака,

med X – медиана признака,

Q1 – 25-ый квантиль,

Q3 – 75-ый квантиль.

Тогда вышеупомянутые методы нормализации можно записать в виде математических формул:

1) Standard Scaler $\text{norm } X = \frac{X - \text{mean } X}{\text{std } X}$

Является самым распространённым методом нормализации. Ещё известен как «Z-score».

2) MinMax Scaler $\text{norm } X = \frac{X - \min X}{\max X - \min X}$

Особенность данного метода заключается в том, что он отображает множество значений исходного признака на отрезок [0; 1], что может быть крайне полезно, например при применении метрических методов.

3) Robust Scaler $\text{norm } X = \frac{X - \text{med } X}{Q3 - Q1}$

Данный метод полезен при наличии в данных большого количества выбросов, так как он использует медиану, которая менее чувствительна к выбросам по сравнению со средним арифметическим.

Так как язык программирования Python де-факто является стандартом в сфере машинного обучения, сравнительный анализ вышеперечисленных методов нормализации будем проводить именно на Python с использованием библиотеки scikit-learn, уже содержащей в себе готовые реализации данных методов [6].

Для проведения экспериментов будем использовать набор данных «Heart Disease Dataset». Он состоит из биологических признаков людей из разных стран. Каждому человеку сопоставлена бинарная метка 0 или 1, где 1 означает, что у человека был сердечный приступ, а 0 – что его не было.

Импортируем модули, загрузим датасет, разделим его на выборки: тренировочную и тестовую и выполним предобработку данных. Теперь займёмся непосредственно обучением моделей.

1. KNN
knn_model = KNeighborsClassifier()
knn_model.fit(x_train, y_train)
2. Логистическая регрессия
logistic_regression_model = LogisticRegression()
logistic_regression_model.fit(x_train, y_train)
3. Случайный лес
random_forest_model = RandomForestClassifier()
random_forest_model.fit(x_train, y_train)
4. Градиентный бустинг
catboost_model = CatBoostClassifier(verbose=False)
catboost_model.fit(x_train, y_train)

Будем обучать по 4 модели (KNN, логистическая регрессия, случайный лес, градиентный бустинг) для каждого метода нормализации (без нормализации, Standard Scaler, MinMax Scaler, Robust Scaler). В итоге получим 16 моделей. В качестве метрики оценки классификации выберем F1-score, так как эта метрика является средним гармоническим метрик precision и recall и позволяет более объективно оценить модель [7].

$$F1 = \frac{2*presicion*recall}{precision + recall}$$

После обучения моделей и получения метрик на тестовых данных, составим сравнительную таблицу.

Таблица 1 – F1-score по разным моделям

	Без нормализации	Standard Scaler	MinMax Scaler	Robust Scaler
KNN	0,473	0,644	0,673	0,668
LogisticRegression	0,589	0,778	0,778	0,779
RandomForest	0,784	0,783	0,784	0,784
CatBoost	0,820	0,820	0,818	0,819

По сравнительной таблице можно сделать несколько важных выводов. Нормализация оказалась очень полезной для метрических и линейных методов, но практически не дала результатов для методов, основанных на решающих деревьях, что теоретически обосновывается природой этих алгоритмов: дерево на каждой итерации разбивает обучающую выборку на два подмножества по некоторому признаку и не чувствительно к масштабу этого признака [8]. Метрика F1-score для различных методов нормализации в рамках одного алгоритма оказалась схожей, отличия только на десятые и сотые доли. Однако по этим наблюдениям нельзя сделать вывод, что все методы нормализации всегда дают схожие

результаты: это будет существенно зависеть от конкретных выборок, так как, например, в данном наборе данных количество выбросов и аномалий может быть намного меньше, а распределение признаков может быть более похоже на нормальное.

Список использованных источников

1. Галимов Р. Г. Основы алгоритмов машинного обучения - обучение с учителем / Р. Г. Галимов // Аллея науки. – 2017. – Т. 1, № 14. – С. 810-817. – EDN ZTBUCH.

2. Козлов С. В. Анализ LSTM и GRU моделей для построения прогнозов временных рядов / С. В. Козлов, С. А. Седенков // International Journal of Open Information Technologies. – 2024. – Т. 12, № 7. – С. 43-50. – EDN DMKFKO.

3. Наздрюхин А. С. Самонормализующиеся нейронные сети с автоматическим подбором гиперпараметров для классификации табличных данных / А. С. Наздрюхин, А. М. Федрак, Н. А. Радеев // Высокопроизводительные вычислительные системы и технологии. – 2021. – Т. 5, № 1. – С. 242-246. – EDN QDATGY.

4. Козлов, С. В. Применение норм, весов и мер близости в качестве метода оптимизации поисковых запросов / С. В. Козлов, А. В. Кирикова // Наука. Исследования. Практика: сборник избранных статей по материалам Международной научной конференции, Санкт-Петербург, 26 октября 2021 года. – Санкт-Петербург: Гуманитарный национальный исследовательский институт НАЦРАЗВИТИЕ, 2021. – С. 68-70. – DOI 10.37539/SRP299.2021.96.29.003. – EDN ERZRJS.

5. Дрянкова Д. А. Обработка пропущенных значений и дубликатов в данных с помощью библиотеки Pandas для языка программирования Python / Д. А. Дрянкова // Дневник науки. – 2023. – № 6(78). – DOI 10.51691/2541-8327_2023_6_11. – EDN JHYHEM.

6. Киримова А. В. Библиотеки для машинного обучения языка программирования Python / А. В. Киримова // Modern Science. – 2021. – № 7. – С. 293-296. – EDN LQVICT.

7. Архипов В. А. Сравнительный анализ метрик качества для моделей бинарной классификации на примере кредитного скоринга / В. А. Архипов // Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2019. – № 9-2. – С. 12-15. – EDN CFZQDC.

8. Генрихов И. Е. Исследование обобщающей способности полного решающего дерева / И. Е. Генрихов // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 2014. – Т. 54, № 6. – С. 1033. – DOI 10.7868/S0044466914060076. – EDN SDXGVX.

9. Козлов С. В. Использование алгебраических структур для моделирования процессов в сложных информационных системах / С. В. Козлов // Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии : Сборник материалов IX Всероссийской конференции с международным участием, Оренбург, 14–15 ноября 2019 года. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2019. – С. 436-440. – EDN OFVROZ.

COMPARATIVE ASSESSMENT OF THE IMPACT OF DATA NORMALIZATION METHODS ON THE QUALITY OF MACHINE LEARNING ALGORITHMS

N.V. Gaevskiy

Smolensk State University,
Smolensk, Russia

The article is a theoretical and practical justification for the application of three different methods for normalizing numerical features, namely Standard Scaler, MinMax Scaler and Robust Scaler, the features of their application to various types of data and a comparative analysis of the quality of these methods. The following machine learning algorithms were selected for comparative analysis: KNN, logistic regression, random forest, gradient boosting. The California Housing dataset is used as a dataset for practical experiments, representing the characteristics of California homes and their prices.

Keywords: machine learning, machine learning algorithms, normalization, Python, numerical features.

УДК 621.983: 330.111.4

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ШТАМПОВКИ

Ю.С. Галкин, Я.В. Грибачев

Тульский государственный университет,
г. Тула, Россия

В статье рассмотрено внедрение прогрессивных технологических процессов штамповки как инструмента повышения экономической эффективности машиностроительного предприятия. Обоснована роль анализа напряжённо-деформированного состояния и численного моделирования для виртуальной отработки процессов и сокращения затрат на оснастку. Проанализированы комбинированные операции, упрочнение и восстановление штампов, методика оценки годового экономического эффекта.

Ключевые слова: обработка металлов давлением, коэффициент использования материала, экономическая эффективность, себестоимость продукции, штамповая оснастка, снижение материалоёмкости, машиностроительное производство.

Современное машиностроительное производство функционирует в условиях жёсткой конкуренции, роста стоимости энергоносителей и металлопроката, а также ужесточения требований к качеству и точности изготавливаемых

изделий [1-3]. В этих условиях повышение экономической эффективности предприятия становится ключевой стратегической задачей, решение которой невозможно без модернизации технологических процессов [4-5]. Одним из наиболее перспективных направлений такой модернизации выступает внедрение прогрессивных технологий обработки металлов давлением, среди которых особое место занимают процессы объёмной и листовой штамповки.

Штамповка представляет собой процесс пластического деформирования заготовки в специальном инструменте - штампе, обеспечивающем получение изделия заданной геометрии за счёт направленного перераспределения металла. Принципиальное преимущество штамповки перед резанием заключается в том, что при обработке давлением металл не удаляется в стружку, а перераспределяется в объёме заготовки, что обеспечивает высокий коэффициент использования материала (КИМ). Если при механической обработке резанием коэффициент использования материала нередко составляет 0,4–0,6, то при рациональной объёмной штамповке он может достигать 0,85–0,95, что напрямую снижает материалоёмкость продукции.

С точки зрения экономической теории производства штамповка обеспечивает существенное сокращение переменных издержек за счёт трёх основных механизмов: уменьшения расхода металла, снижения трудоёмкости единицы продукции и повышения производительности оборудования. При этом внедрение новых технологических процессов требует значительных капитальных вложений в оборудование и оснастку, что определяет необходимость расчёта срока окупаемости и оценки экономической целесообразности инвестиций.

Основным научным базисом проектирования процессов штамповки, особенно применительно к сложнопрофильным изделиям, является анализ напряжённо-деформированного состояния (НДС) деформируемого металла. Понимание характера распределения напряжений и деформаций в объёме заготовки позволяет прогнозировать возможные дефекты, рассчитывать усилие деформирования и оптимизировать форму переходов.

Для сложнопрофильных изделий аналитическое решение оказывается затруднительным, вследствие чего применяются численные методы, прежде всего метод конечных элементов, реализованный в специализированных программных комплексах, таких как QForm, Deform, Simufact Forming.

Практическая экономическая ценность моделирования НДС состоит в том, что оно позволяет отказаться от дорогостоящего и длительного процесса натурной доводки штампов методом проб и ошибок. Виртуальная отработка технологического процесса до изготовления оснастки сокращает затраты на проектирование и подготовку производства, уменьшает количество бракованных заготовок на этапе освоения и обеспечивает оптимальное распределение металла по переходам, что снижает массу исходной заготовки и, соответственно, материальные затраты.

Повышение экономической эффективности достигается посредством внедрения ряда прогрессивных технологических решений. Например, возможно внедрение комбинированных операций обработки давлением, в частности совмещение вытяжки и выдавливания, что позволяет повысить стойкость

штамповой оснастки, а также сократить число операций для получения требуемого изделия [6-7].

Другим направлением совершенствования является применение прогрессивных материалов и технологий изготовления штамповой оснастки. Стойкость штампов представляет собой один из факторов себестоимости штампованной продукции, поскольку затраты на изготовление и восстановление дорогостоящей оснастки распределяются на весь объём выпускаемых поковок.

Оценка экономической эффективности внедрения новых технологических процессов штамповки основывается на сопоставлении капитальных вложений с достигаемым экономическим эффектом. Годовой экономический эффект от снижения себестоимости продукции определяется как произведение разности себестоимости единицы изделия до и после внедрения на годовую программу выпуска. Разность себестоимостей формируется главным образом за счёт экономии металла, снижения трудоёмкости и сокращения энергозатрат.

Помимо прямого снижения себестоимости, внедрение прогрессивных процессов штамповки обеспечивает косвенный экономический эффект, связанный с повышением качества и эксплуатационных характеристик изделий. Направленное течение волокон металла, формируемое при рациональной объёмной штамповке в соответствии с конфигурацией детали, обеспечивает повышенные показатели прочности, ударной вязкости и усталостной долговечности по сравнению с деталями, изготовленными резанием из проката, где волокна перерезаются. Это позволяет либо снизить массу изделия при сохранении прочности, либо повысить надёжность и ресурс продукции, что усиливает конкурентные позиции предприятия на рынке и открывает доступ к более требовательным сегментам, включая поставку ответственных деталей для транспортного машиностроения и автомобильной промышленности.

Таким образом, проведённый анализ показывает, что внедрение новых технологических процессов штамповки представляет собой комплексный инструмент повышения экономической эффективности машиностроительного предприятия.

Список использованных источников

1. Горохов, В.А. Основы технологии машиностроения и формализованный синтез технологических процессов. В 2-х т.Основы технологии машиностроения и формализованный синтез технологических процессов: Учебник / В.А. Горохов. Ст. Оскол: ТНТ, 2012. 1072 с.

2. Проектирование технологических процессов механической обработки в машиностроении: Учеб. пособие / В. В. Бабук, В. А. Шкред, Г. П. Кривко, Л. И. Медведев; Под. ред. В. В. Бабука .Высш. шк., 1987, с. 255.

3. Справочник технолога - машиностроителя. / Под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. М.: Машиностроение, 1985. Т.1. 656 с., 496 с.

4. Бунтури Д. Т., Шеховцов С.Д. Повышение экономической эффективности использования штамповой оснастки за счет увеличения ее износостойкости // Евразийское пространство: экономика, право, общество. ГБУН «Юго-Осетинский научно-исследовательский институт». 2025. №4. С. 17-19.

5. Ващенко А.И., Касьянова И.В. Улучшение качества деталей с помощью анализа технологического процесса при их получении методом штамповки // Евразийское пространство: экономика, право, общество. ГБУН «Юго-Осетинский научно-исследовательский институт». 2025. № 3. С. 12-14.

6. Пасынков А.А., Галкин Ю.С. Анализ изменения сил при обратном горячем выдавливании с активными силами трения // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2024. Вып. 5. С. 428-431.

7. Пасынков А.А., Галкин Ю.С. Исследование влияния геометрии рабочего инструмента на процесс выдавливания прутковой заготовки // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2024. Вып. 8. С. 228-231.

INCREASING THE ECONOMIC EFFICIENCY OF THE ENTERPRISE BY INTRODUCING NEW TECHNOLOGICAL PROCESSES OF STAMPING

Y.S. Galkin, Y.V. Gribachev

Tula State University,
Tula, Russia

The article considers the introduction of advanced technological processes of stamping as a tool to increase the economic efficiency of a machine-building enterprise. The role of stress-strain state analysis and numerical modeling for virtual process development and reduction of tooling costs is substantiated. The combined operations, hardening and restoration of stamps, and the methodology for assessing the annual economic effect are analyzed.

Keywords: metal pressure treatment, material utilization rate, economic efficiency, cost of production, stamping tooling, reduction of material consumption, machine-building production.

УДК 621.983: 330.111.4

ШТАМПОВКА КАК ИНСТРУМЕНТ СНИЖЕНИЯ СЕБЕСТОИМОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ В СЕРИЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Ю.С. Галкин, Я.В. Грибачев

Тульский государственный университет,
г. Тула, Россия

В статье рассматривается штамповка как комплексный инструмент управления производственной себестоимостью металлических деталей в условиях серийного и массового производства. Приведена структурная модель полной технологической себестоимости детали в виде аддитивной зависимости составляющих затрат (материал, операционные расходы, энергия, инструмент, амортизация, контроль, брак, накладные расходы). Проведён сравнительный анализ

штамповки и альтернативных методов формообразования (обработки резанием, сварной конструкции из нескольких элементов).

Ключевые слова: обработка металлов давлением, коэффициент использования материала, экономическая эффективность, себестоимость продукции, штамповая оснастка, снижение материалоёмкости, машиностроительное производство.

Себестоимость металлической детали определяется не только стоимостью исходного материала и продолжительностью механической обработки, на итоговые затраты влияют коэффициент использования металла, трудоёмкость технологических операций, производительность оборудования, стоимость оснастки, энергопотребление, объём незавершённого производства, уровень брака, расходы на контроль качества и последующую обработку [1-7]. В условиях серийного и массового производства особое значение приобретает выбор метода формообразования, поскольку именно на этом этапе закладываются геометрия изделия, механические свойства материала и значительная часть будущих производственных расходов.

Штамповка представляет собой процесс пластического деформирования металла с использованием специализированной оснастки, при котором заготовка приобретает заданные форму, размеры и свойства. В зависимости от температуры деформирования, характера исходной заготовки и типа оборудования применяются холодная и горячая штамповка, листовая штамповка, объёмная штамповка, выдавливание, высадка, калибровка и комбинированные процессы. Экономический эффект штамповки особенно заметен при стабильной номенклатуре и достаточно большом объёме выпуска, когда затраты на проектирование и изготовление штампов распределяются на значительное количество деталей.

В отличие от обработки резанием, при которой требуемая форма создаётся путём удаления части материала, штамповка обеспечивает перераспределение объёма металла. Это позволяет существенно уменьшить количество отходов, приблизить форму заготовки к форме готового изделия и сократить объём последующей механической обработки. В результате штамповка становится не только способом получения геометрии детали, но и комплексным инструментом управления производственной себестоимостью.

Для оценки эффективности штамповки необходимо рассматривать полную технологическую себестоимость детали. В общем виде удельную себестоимость можно представить зависимостью

$$Сдет = Смат + Соп + Сэн + Синстр + Сам + Сконтр + Сбрак + Снакл,$$

где Смат характеризует затраты на основной материал, Соп – операционные расходы и оплату труда, Сэн – энергозатраты, Синстр – износ и обслуживание инструмента, Сам – амортизационную долю стоимости оборудования и оснастки, Сконтр – затраты на контроль, Сбрак – потери от брака, а Снакл – производственные накладные расходы.

Для штамповки характерна относительно высокая доля первоначальных затрат на оснастку. Однако переменные затраты на одну деталь обычно ниже, чем при изготовлении аналогичного изделия механической обработкой или

сваркой из нескольких элементов. Удельная стоимость штампа определяется отношением общей стоимости проектирования, изготовления, испытания и доводки оснастки к количеству произведённых деталей. При механической обработке деталей сложной формы коэффициент использования материала может составлять 0,3–0,6. Это означает, что от 40 до 70 % массы заготовки превращается в стружку. Часть стоимости отходов компенсируется их реализацией как вторичного сырья, однако цена металлической стружки существенно ниже стоимости сортового проката, поковки или подготовленной заготовки. Кроме того, образование стружки сопровождается затратами на резание, охлаждающие жидкости, транспортирование, хранение и переработку отходов. Сокращение механической обработки позволяет уменьшить потребность в металлорежущих станках и производственных площадях. При увеличении программы выпуска предприятие может избежать закупки дополнительного оборудования либо высвободить существующие мощности для изготовления другой продукции. Поэтому экономический результат следует оценивать не только как прямое снижение затрат на одну деталь, но и как предотвращённые капитальные вложения.

Штамповочные операции отличаются малой продолжительностью рабочего цикла. В листовой штамповке производительность автоматизированных прессов может достигать десятков и сотен ходов в минуту. При объёмной горячей штамповке цикл занимает больше времени из-за нагрева, транспортирования и выполнения нескольких переходов, однако производительность всё равно обычно выше, чем при формообразовании аналогичной детали последовательной механической обработкой.

Снижение трудоёмкости происходит за счёт объединения нескольких формообразующих операций в одном технологическом процессе. Например, в последовательном или совмещённом штампе за один ход пресса могут выполняться вырубка, пробивка отверстий, гибка и калибровка. В объёмной штамповке за несколько переходов формируются сложная пространственная геометрия, локальные утолщения и полости. Если аналогичную деталь получать сваркой из отдельных элементов, потребуются раскрой, механическая подготовка кромок, сборка, сварка, зачистка швов, контроль и возможная правка. Штампованное изделие позволяет исключить значительную часть этих операций.

Проведённый анализ показывает, что штамповка является не просто способом получения заданной геометрии детали, а комплексным средством управления производственной себестоимостью. Экономическая эффективность метода формируется одновременно по нескольким направлениям.

Список использованных источников

1. Горохов, В.А. Основы технологии машиностроения и формализованный синтез технологических процессов. В 2-х т.Основы технологии машиностроения и формализованный синтез технологических процессов: Учебник / В.А. Горохов. Ст. Оскол: ТНТ, 2012. 1072 с.

2. Проектирование технологических процессов механической обработки в машиностроении: Учеб. пособие / В. В. Бабук, В. А. Шкред, Г. П. Кривко, Л. И. Медведев; Под. ред. В. В. Бабука .Высш. шк., 1987, с. 255.

3. Справочник технолога - машиностроителя. / Под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. М.: Машиностроение, 1985. Т.1. 656 с., 496 с.

4. Бунтури Д. Т., Шеховцов С.Д. Повышение экономической эффективности использования штамповой оснастки за счет увеличения ее износостойкости // Евразийское пространство: экономика, право, общество. ГБУН «Юго-Осетинский научно-исследовательский институт». 2025. №4. С. 17-19.

5. Ващенко А.И., Касьянова И.В. Улучшение качества деталей с помощью анализа технологического процесса при их получении методом штамповки // Евразийское пространство: экономика, право, общество. ГБУН «Юго-Осетинский научно-исследовательский институт». 2025. № 3. С. 12-14.

6. Галкин Ю.С., Яковлев С.С. Обзор технологических преимуществ и особенностей процесса холодного выдавливания деталей типа оболочка из прутковых заготовок // Проблемы развития предприятий: теория и практика: сборник статей XIII Международной научно-практической конференции Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2026. С. 201-204.

7. Кухарь В.Д., Яковлев С.С., Шишкина А.А., Шеховцов С.Д. Исследование повреждаемости и вероятности образования дефектов при штамповке гофрированных в продольном направлении трубчатых заготовок // Черные металлы. 2026. № 5. С. 83-87.

STAMPING AS A TOOL TO REDUCE THE COST OF METAL PARTS IN MASS PRODUCTION

Y.S. Galkin, Y.V. Gribachev

Tula State University,
Tula, Russia

The article considers stamping as a comprehensive tool for managing the production cost of metal parts in terms of serial and mass production. A structural model of the total technological cost of a part is presented in the form of an additive dependence of the cost components (material, operating costs, energy, tools, depreciation, control, defects, overhead costs). A comparative analysis of stamping and alternative forming methods (cutting processing, welded construction of several elements) is carried out.

Keywords: metal pressure treatment, material utilization rate, economic efficiency, cost of production, stamping tooling, reduction of material consumption, machine-building production.

УДК 004.056.53:004.032.26

МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ В СЕТЕВОМ ТРАФИКЕ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ

А.А. Галкин[1], И.А. Шперов[2]

Пензенский государственный технологический университет, г. Пенза, Россия

В статье представлен сравнительный анализ методов обнаружения аномалий в сетевом трафике на основе нейросетевых моделей. Рассмотрены сигнатурные системы обнаружения вторжений, классические алгоритмы машинного обучения и нейросетевые подходы: многослойный перцептрон (MLP), свёрточные и рекуррентные сети (CNN, RNN/LSTM), автоэнкодер, сеть глубокого убеждения (DBN) и генеративно-состязательные сети (GAN). Проведено сопоставление точности классификации, достигнутой в различных опубликованных исследованиях на наборах данных CICIDS2017, NSL-KDD, KDDCup99 и DARPA1998. Показано, что многослойный перцептрон демонстрирует наилучшее соотношение точности и вычислительной сложности при многоклассовой классификации сетевого трафика, а перспективным направлением решения проблемы дисбаланса обучающих выборок и повышения устойчивости к состязательным атакам является применение генеративно-состязательных сетей.

Ключевые слова: обнаружение вторжений, аномалии сетевого трафика, нейронная сеть, многослойный перцептрон, машинное обучение, классификация трафика, CICIDS2017, кибербезопасность, сравнительный анализ.

Быстрое развитие компьютерных сетей и рост объёмов передаваемых данных сопровождаются увеличением числа кибератак. Согласно отчёту компании Positive Technologies, в 2025 году количество успешных кибератак превысило показатели 2024 года на 6 %, при этом наиболее атакуемыми отраслями стали промышленность и государственные учреждения (по 15 % инцидентов каждая) [1]. Отдельный обзор компании подтверждает, что злоумышленники активно увеличивают долю автоматизированных атак благодаря доступности информации об эксплойтах и использованию искусственного интеллекта [2]. В этих условиях традиционные средства защиты, основанные на сигнатурном анализе (Snort [3], Suricata [4]), демонстрируют снижающуюся эффективность: они требуют постоянного обновления баз сигнатур и принципиально не способны обнаруживать ранее неизвестные атаки (zero-day). Целью данной статьи является сравнительный анализ методов обнаружения аномалий сетевого трафика на основе нейросетевых моделей, представленных в современных научных публикациях, и сопоставление их эффективности на распространённых наборах данных.

Обзор существующих решений

[1] Научный руководитель – Кураева Е.А., старший преподаватель кафедры «Программирование», Пензенский государственный технологический университет

[2] Научный руководитель – Кураева Е.А., старший преподаватель кафедры «Программирование», Пензенский государственный технологический университет

Одним из наиболее широко используемых наборов данных для исследований в области обнаружения сетевых вторжений является CICIDS2017, разработанный Канадским институтом кибербезопасности [5]. Набор содержит размеченные сетевые потоки с 70 статистическими признаками, соответствующими нормальному трафику и шести типам атак: DDoS, DoS, PortScan, Bruteforce, Botnet, Infiltration. На основе данного набора данных предложена система MLP4NIDS – многослойный перцептрон с нормализацией признаков методом StandardScaler, достигающий точности классификации свыше 99 % [6]. Известны также исследования эффективности глубоких нейронных сетей на несбалансированном наборе данных NSL-KDD с настройкой целевой функции обучения [7], сравнительный анализ архитектур глубокого обучения (MLP, CNN, RNN, LSTM) для обнаружения аномалий в сетях интернета вещей, показавший, что рост числа слоёв повышает полноту обнаружения ценой роста ложных срабатываний [8], система, сочетающая MLP с предварительной кластеризацией Birch и достигающая точности многоклассовой классификации 99,73 % на CICIDS2017 [9], а также сравнительный анализ моделей MLP, CNN, OCSVM и LOF, показавший превосходство MLP при распознавании известных типов атак на данном наборе данных [10]. Обобщённая классификация методов глубокого обучения для обнаружения сетевых атак выделяет контролируемые (DNN, CNN, RNN/LSTM), неконтролируемые (автоэнкодер, DBN, GAN) и гибридные подходы; сравнительный анализ таких моделей на наборах данных KDDCup 99 и DARPA 1998 показывает, что более глубокие архитектуры с большим числом нейронов на слое обеспечивают, как правило, более высокую точность, однако это увеличивает вычислительные затраты и риск переобучения [11].

Таблица 1 – Сравнение подходов к обнаружению аномалий сетевого трафика

Подход	Представители	Обнаружение новых атак	Точность
Сигнатурный анализ	Snort, Suricata	нет (только известные)	высокая для известных атак
Классические алгоритмы МО	Random Forest, Decision Tree, SVM	ограниченно	уступает нейросетевым моделям
Нейросетевые модели	MLP, CNN, RNN/LSTM, DBN, GAN	да, при наличии сходных паттернов	свыше 93-99,7 %

Источник: разработано авторами на основе [3,4,6,8-11]

Сравнительный анализ архитектур глубокого обучения

Для более детального сопоставления архитектур целесообразно рассмотреть результаты, полученные разными авторами на близких по структуре наборах данных (KDDCup 99, DARPA 1998, NSL-KDD). Обобщение таких результатов, выполненное в рамках сравнительного обзора методов глубокого обучения

[11], показывает, что рекуррентные архитектуры (LSTM) и их модификации в сочетании с полносвязными слоями (PL-RNN) достигают наиболее высокой точности классификации, тогда как более простые архитектуры (базовый DNN, CNN) показывают точность на 4-5 процентных пунктов ниже. Генеративно-состязательные сети в задаче прямой классификации трафика уступают специализированным архитектурам, однако представляют самостоятельный интерес не как классификатор, а как инструмент аугментации обучающих данных [12].

Таблица 2 – Сравнение точности классификации сетевых аномалий в различных исследованиях

Архитектура	Набор данных	Точность, %
PL-RNN	DARPA1998	99,98
LSTM	KDDCup99	99,80
MLP (MLP4NIDS)	CICIDS2017	свыше 99
MLP + кластеризация Birch	CICIDS2017	99,73
PL-CNN	DARPA1998	99,36
DBN	KDDCup99	99,14
Разреженный автоэнкодер	KDDCup99	97,85
DNN	KDDCup99	95,45
CNN	KDDCup99	95,36
GAN (как классификатор)	KDDCup99	93,24

Источник: разработано авторами на основе [11]

Обсуждение результатов

Сопоставление рассмотренных работ показывает, что многослойный перцептрон обеспечивает одно из наиболее удачных соотношений точности и вычислительной сложности среди нейросетевых архитектур при многоклассовой классификации сетевого трафика на наборе данных CICIDS2017 [6, 9, 10], что согласуется с выводами сравнительного анализа архитектур глубокого обучения [8]. Более сложные рекуррентные и гибридные архитектуры (LSTM, PL-RNN) способны обеспечивать более высокую точность на наборах данных KDDCup 99 и DARPA 1998 [11], однако это достигается ценой роста вычислительных затрат и увеличения времени обучения, что существенно для задач классификации в реальном времени. Отдельного внимания заслуживает проблема несбалансированности обучающих выборок: подавляющее большинство наборов данных для обнаружения сетевых вторжений содержат существенно меньше образцов редких типов атак по сравнению с нормальным трафиком, что приводит к смещению классификатора в пользу доминирующего класса [12]. Применение генеративно-состязательных сетей для дополнения малочисленных классов синтетическими образцами рассматривается как перспективное решение данной проблемы, дополнительно повышающее устойчивость классификатора к состязательным

атакам, при которых злоумышленник намеренно искажает входные данные для обхода детектора [12].

Заключение

Проведённый сравнительный анализ показывает, что нейросетевые методы, и в первую очередь многослойный перцептрон, являются эффективной альтернативой сигнатурным системам обнаружения вторжений при классификации сетевого трафика, обеспечивая точность свыше 98-99 % на наборе данных CICIDS2017 [6, 9, 10]. Более глубокие и рекуррентные архитектуры способны демонстрировать ещё более высокую точность на других наборах данных ценой увеличения вычислительной сложности [11]. Открытыми остаются вопросы устранения дисбаланса обучающих выборок и повышения устойчивости моделей к состязательным атакам, для решения которых перспективным представляется применение генеративно-состязательных сетей [12], а также вопросы практической реализации подобных систем в условиях анализа трафика в реальном времени, что определяет направления дальнейших исследований в данной области.

Список использованных источников

1. Positive Technologies. Актуальные киберугрозы: I-II кварталы 2025 года: электронный ресурс. – URL: https://ptsecurity.com/research/analytics/aktual-nye-kiberugrozy-i-ii-kvartaly-2025-goda/ (дата обращения: 17.07.2026). – Текст: электронный.

2. Positive Technologies. Тренды атак в 2026 году: электронный ресурс. – URL: https://ptsecurity.com/research/analytics/trendy-atak-v-2026-godu/ (дата обращения: 17.07.2026). – Текст: электронный.

3. Snort – сетевая система обнаружения вторжений: электронный ресурс. – URL: https://www.snort.org/ (дата обращения: 17.07.2026). – Текст: электронный.

4. Suricata – система обнаружения и предотвращения вторжений: электронный ресурс. – URL: https://suricata.io/ (дата обращения: 17.07.2026). – Текст: электронный.

5. CICIDS2017: набор данных: электронный ресурс / Canadian Institute for Cybersecurity. – Kaggle. – URL: https://www.kaggle.com/datasets/dhoogla/cicids2017 (дата обращения: 17.07.2026). – Текст: электронный.

6. Rosay, A. MLP4NIDS: An Efficient MLP-Based Network Intrusion Detection for CICIDS2017 Dataset: электронный ресурс / A. Rosay, F. Carlier, E. Cheval, C. Souveyet. – HAL Open Science, 2021. – URL: https://inria.hal.science/hal-03266466 (дата обращения: 17.07.2026). – Текст: электронный.

7. Зуев, В.Н. Обнаружение аномалий сетевого трафика методом глубокого обучения / В.Н. Зуев // Программные продукты и системы. – 2021. – Т. 34, № 1. – С. 91-97. – DOI: 10.15827/0236-235X.133.091-097. – EDN: YCVLDE.

8. Гайфулина, Д.А. Анализ моделей глубокого обучения для задач обнаружения сетевых аномалий Интернета вещей / Д.А. Гайфулина, И.В. Котенко // Информационно-управляющие системы. – 2021. – № 1. – С. 28-37. – EDN: DTPPJY.

9. Yin, Y. Improving Multilayer-Perceptron (MLP)-based Network Anomaly Detection with Birch Clustering on CICIDS-2017 Dataset: электронный ресурс / Y. Yin, J. Jang-Jaccard, F. Sabrina, J. Kwak. – arxiv.org, 2022. – URL: https://arxiv.org/abs/2208.09711 (дата обращения: 17.07.2026). – Текст: электронный.

10. Xu, Z. Robust Anomaly Detection in Network Traffic: Evaluating Machine Learning Models on CICIDS2017: электронный ресурс / Z. Xu, Y. Liu. – arxiv.org, 2025. – URL: https://arxiv.org/abs/2506.19877 (дата обращения: 17.07.2026). – Текст: электронный.

11. Петрищева, К.Г. Обнаружения аномалий сетевого трафика на основе глубоких нейронных сетей / К.Г. Петрищева // Технические науки. – 2023. – № 1 (32). – С. 23-27. – EDN: UMZNOR.

12. Сычугов, А.А. Применение генеративных состязательных сетей в системах обнаружения аномалий / А.А. Сычугов, М.М. Греков // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2021. – Т. 9, № 1. – DOI: 10.26102/2310-6018/2021.32.1.003. – EDN: IYFFJF.

METHODS FOR DETECTING ANOMALIES IN NETWORK TRAFFIC BASED ON NEURAL NETWORK MODELS

A.A. Galkin[1], I.A. Shperov[2]

Penza State Technological University,
Penza, Russia

The article presents a comparative analysis of network traffic anomaly detection methods based on neural network models. Signature-based intrusion detection systems, classical machine learning algorithms and neural network approaches are considered: multilayer perceptron (MLP), convolutional and recurrent networks (CNN, RNN/LSTM), autoencoder, deep belief network (DBN) and generative adversarial networks (GAN). A comparison of the classification accuracy achieved in various published studies on the CICIDS2017, NSL-KDD, KDDCup99 and DARPA1998 datasets is carried out. It is shown that the multilayer perceptron demonstrates the best ratio of accuracy and computational complexity for multiclass network traffic classification, while the application of generative adversarial networks is a promising direction for addressing class imbalance and improving robustness to adversarial attacks.

Keywords: intrusion detection, network traffic anomalies, neural network, multilayer perceptron, machine learning, traffic classification, CICIDS2017, cybersecurity, comparative analysis.

[1] Scientific supervisor: E.A. Kuraeva, Senior Lecturer at the Department of Programming, Penza State Technological University

[2] Scientific supervisor: E.A. Kuraeva, Senior Lecturer at the Department of Programming, Penza State Technological University

УДК 620.19:004.85

ПРИМЕНЕНИЕ СВЁРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ПОВЕРХНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ

А.А. Галкин[1], И.А. Шперов[2]

Пензенский государственный технологический университет, г. Пенза, Россия

В статье представлен сравнительный анализ методов автоматического обнаружения дефектов поверхности промышленных изделий на основе свёрточных нейронных сетей (CNN). Рассмотрены подходы, решающие задачу классификации наличия дефекта на изображении (EfficientNetB3, ResNet-50, MobileNetV2, MobileSteelNet и отечественные CNN-классификаторы), а также задачу детектирования и локализации дефектов на изображении (YOLOv8, YOLOv5-GSS, YOLOv9-s с механизмами внимания, SSD, Faster R-CNN). Проведено сопоставление точности, достигнутой в различных отечественных и зарубежных исследованиях на наборах данных IMTCSD, NEU-DET, DefectMetalList и ряде других. Показано, что трансферное обучение предобученных архитектур и специализированные компактные сети обеспечивают точность классификации дефектов в диапазоне 95-98%, тогда как среди архитектур детектирования наиболее устойчивые результаты показывает YOLOv8 и её модификации с механизмами внимания, а усложнение архитектуры не всегда повышает точность и может приводить к переобучению на небольших выборках.

Ключевые слова: свёрточные нейронные сети, обнаружение дефектов, контроль качества, глубокое обучение, классификация изображений, детектирование объектов, механизмы внимания, YOLO, трансферное обучение, промышленные изделия.

Контроль качества поверхности промышленных изделий остаётся одной из наиболее трудоёмких операций производственного цикла: дефекты, такие как трещины, царапины, включения и питтинг, составляют более 90% всех несоответствий металлопродукции и способны существенно снижать эксплуатационную надёжность готовых изделий [6]. Ручной визуальный контроль подвержен субъективным ошибкам, требует значительных трудозатрат и не обеспечивает стабильной повторяемости результатов в условиях промышленного производства [6].

Развитие свёрточных нейронных сетей сделало возможной автоматизацию визуального контроля качества за счёт непосредственного извлечения признаков дефектов из изображений без необходимости ручного проектирования дескрипторов [6]. Целью данной статьи является анализ и сопоставление современных

[1] Научный руководитель – Кураева Е.А., старший преподаватель кафедры «Программирование», Пензенский государственный технологический университет

[2] Научный руководитель – Кураева Е.А., старший преподаватель кафедры «Программирование», Пензенский государственный технологический университет

отечественных и зарубежных подходов на основе свёрточных нейронных сетей для автоматического обнаружения дефектов поверхности промышленных изделий, применяемых для решения задач классификации и локализации дефектов.

Обзор решений для классификации дефектов

Одно из направлений применения свёрточных нейронных сетей в дефектоскопии составляет классификация дефектов на изображении без указания их точного местоположения. На наборе данных IMTCSD, включающем 1104 изображения стальных поверхностей с признаками питтинговой коррозии, сопоставлены классификаторы EfficientNetB3, ResNet-50 и MobileNetV2; наилучший результат показала архитектура EfficientNetB3, дообученная методом трансферного обучения (точность 0,981, полнота 0,987) [5].

На эталонном наборе NEU-DET предложена облегчённая архитектура MobileSteelNet, объединяющая модули многомасштабного слияния признаков и кросс-интерактивного внимания; при размере модели всего 8,2 МБ она обеспечила точность 91,36%, что превышает результаты полноразмерного ResNet-50 (88,01%) и лёгкой сети MobileNetV2 (86,08%) [8]. Близкая по постановке задача решена в отечественном исследовании: сеть из трёх свёрточных слоёв с 32, 64 и 128 фильтрами размером 2×2, функцией активации ReLU, слоями подвыборки Max Pooling, полносвязным слоем на 256 нейронов и Dropout с коэффициентом 0,2 обучена на наборе из 1800 чёрно-белых изображений шести типов дефектов стальной поверхности (включение, вкатанная окалина, точечная коррозия, царапины, пятна, трещина), полученном с платформы Kaggle. Точность классификации составила 95,83% при значении функции потерь 0,0862, а на независимой тестовой выборке из 72 изображений верно распознано 70 (97%) [1].

Обзор решений для детектирования дефектов

Наряду с классификацией отдельное направление составляет детектирование и точная локализация дефектов на изображении методами объектного обнаружения. На основе облегчённой версии YOLOv5 с дополнительными модулями GSConv и SimAM предложен алгоритм YOLOv5-GSS, обеспечивший на наборе NEU-DET рост средней точности детектирования (mAP) на 2,9 процентных пункта относительно базовой модели YOLOv5, до 83,8%, при скорости обработки 100 кадров в секунду [7].

Сопоставимая по постановке задача решена в отечественном исследовании: на специально созданном наборе данных DefectMetalList (600 изображений трещин, царапин и отверстий на металлических листах, размеченном в соответствии с ГОСТ 21014-2022) сопоставлены архитектуры YOLOv8, SSD и Faster R-CNN. Наилучший результат по итоговой средней точности показала YOLOv8 (mAP@0.5 = 65,4%), продемонстрировавшая наибольшую устойчивость к изменению условий освещения и ракурсов съёмки; Faster R-CNN заняла промежуточное положение (60,2%), а SSD показала наименьшую точность (59,0%) при более высокой скорости обработки [3].

Другое отечественное исследование сопоставило способы повышения точности детектирования дефектов стальной поверхности на основе YOLOv9-s: встраивание блока канального внимания Squeeze-and-Excitation обеспечило наилучший результат (mAP50 = 0,879) на наборе из 133 изображений с тремя типами дефектов (окалина, царапины, пятна), тогда как модуль CBAM,

комбинирующий канальное и пространственное внимание, показал признаки переобучения на малой выборке (mAP50 = 0,589); гибридная архитектура с головой Faster R-CNN достигла mAP50 = 0,851 ценой увеличения времени вывода, а использование YOLOv9-s в роли сети предложений регионов обеспечило наиболее быстрое обучение (0,253 ч) при mAP50 = 0,826 [4].

Отдельное направление составляет разработка специализированных сверточных слоёв для предварительного выделения краёв дефекта путём многократной фильтрации (подчёркивание краёв, фильтр Гаусса, разделимая свёртка, высокочастотная фильтрация и яркостная сегментация) без использования типовой классификационной архитектуры CNN: на наборе из 5200 дефектоскопических изображений листового металлопроката, предоставленных для открытого конкурса по техническому зрению на платформе Kaggle, такой подход позволил выделить более 80% дефектов исходного набора [2].

Результаты решений для классификации дефектов обобщены (см. табл. 1). Результаты решений для детектирования (см. табл. 2).

Таблица 1 – Сравнение результатов классификации дефектов поверхности в рассмотренных исследованиях

Задача	Датасет	Модель	Результат
Классификация дефектов (питтинг)	IMTCSD (1104 изображения)	EfficientNetB3	Точность 0,981; полнота 0,987
Классификация дефектов стали	NEU-DET	MobileSteelNet	Точность 91,36%
Классификация 6 типов дефектов стали	Kaggle NEU Metal Surface Defects (1800 изображений)	CNN (3 сверточных слоя)	Точность 95,83% (97% на тестовой выборке)

Источник: разработано авторами на основе [1, 6, 8].

Таблица 2 – Сравнение результатов детектирования дефектов поверхности в рассмотренных исследованиях

Задача	Датасет	Модель	Результат
Детектирование дефектов листовой стали	NEU-DET	YOLOv5-GSS	mAP 83,8% (+2,9% к YOLOv5)
Детектирование дефектов (трещина, царапина, отверстие)	DefectMetalList (600 изображений)	YOLOv8	mAP@0.5 65,4% (SSD 59,0%; Faster R-CNN 60,2%)
Детектирование дефектов (окалина, царапины, пятна)	Собственный набор (133 изображения)	YOLOv9-s + SE-блок	mAP50 87,9%

Источник: разработано авторами на основе [3, 4, 7].

Обсуждение результатов

Сравнение работ показывает, что для классификации дефектов эффективны как тяжёлые предобученные архитектуры (EfficientNetB3, точность 0,981 [5]), так и компактные сети: отечественная модель с точностью 95,83% [1] и MobileSteelNet, превзошедшая ResNet-50 и MobileNetV2 [8]. В задачах детекции YOLOv8 устойчивее SSD и Faster R-CNN при изменении условий съёмки [3], а встраивание механизма Squeeze-and-Excitation в YOLOv9-s даёт точность на уровне гибридных архитектур с меньшими затратами, тогда как CBAM склонен к переобучению на малых данных [4]. Показательно, что зарубежная YOLOv5-GSS и отечественные модификации с вниманием дают сходный прирост точности (~2,9 п.п.), что подтверждает мировой тренд перехода к специализированным лёгким модулям [4, 7].

Отдельно выделяется подход без классификатора – спецслой с многократной фильтрацией для выделения краёв, выявляющий более 80% дефектов и пригодный как предэтап для других моделей [2]. Общей проблемой всех решений остаётся зависимость от объёма и разнообразия данных и чувствительность к освещению и текстуре [3, 4].

Заключение

Проведённый анализ показывает, что свёрточные нейронные сети обеспечивают эффективное решение задачи автоматического обнаружения дефектов поверхности промышленных изделий как в форме классификации отдельных дефектов [1, 6, 8], так и в форме их детектирования и локализации на изображении [3, 4, 7]. Точность классификации свыше 95% достигается как предобученными тяжёлыми архитектурами, так и относительно простыми сетями из нескольких свёрточных слоёв при достаточном объёме обучающей выборки [1, 6].

Для задач детектирования наиболее устойчивые результаты показывает архитектура YOLOv8 и её модификации с механизмами внимания, при этом усложнение архитектуры, например добавление модуля CBAM, не всегда улучшает результат и может приводить к переобучению на небольших наборах данных [3, 4]. Открытыми проблемами остаются дефицит размеченных данных для редких типов дефектов, чувствительность моделей к условиям освещения и текстуре поверхности, а также поиск баланса между точностью и вычислительными затратами при развёртывании на производственной линии [2, 3, 4].

Дальнейшее развитие данного направления связано с разработкой специализированных сверточных слоёв и облегчённых механизмов внимания, а также с расширением отечественных и зарубежных размеченных наборов данных для повышения устойчивости моделей в условиях реального производства [1, 2, 4].

Список использованных источников

1. Кузнецова В.А., Маркидонов А.В. Распознавание дефектов на поверхности металла с использованием метода машинного обучения // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2025. – № 2(52). – С. 85-91. – DOI: 10.57070/2304-4497-2025-2(52)-85-91. – EDN: JIILIN.

2. Мортин К.В., Привезенцев Д.Г. Разработка сверточного слоя нейронной сети для обнаружения дефектов листового металлопроката на

дефектоскопических изображениях // Сборник докладов XXIV Международной конференции по мягким вычислениям и измерениям (SCM'2021), Санкт-Петербург, 26-28 мая 2021 г. – СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2021. – С. 210-212. – EDN: DADORB.

3. Охоткин Г.П., Потапов А.Г. Сравнительный анализ нейросетевых архитектур YOLOv8, SSD и Faster R-CNN для дефектоскопии металлических листов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. – 2025. – № 2(66). – С. 61-79. – DOI: 10.25686/2306-2819.2025.2.61. – EDN: FAGFMN.

4. Темирязев В.А., Никитин К.А. Исследование методов обнаружения дефектов стальной поверхности на основе нейронных сетей с применением механизмов внимания и гибридных архитектур [Электронный ресурс] // Научный лидер. – 2025. – № 17(218). – URL: https://scilead.ru/article/8568-issledovanie-metodov-obnaruzheniya-defektov-s (дата обращения: 18.07.2026).

5. Khan I.U., Aslam N., Aboulnour M., Bashamakh A., Alghool F., Alsuwayan N., Alturaif R., Gull H., Iqbal S.Z., Hussain T. Deep Learning-Based Surface Defect Detection in Steel Products Using Convolutional Neural Networks [Электронный ресурс] // Mathematical Modelling of Engineering Problems. – 2024. – Vol. 11, No. 11. – P. 3006-3014. – DOI: 10.18280/mmep.111113 (дата обращения: 18.07.2026).

6. Khanam R., Hussain M., Hill R., Allen P. A Comprehensive Review of Convolutional Neural Networks for Defect Detection in Industrial Applications [Электронный ресурс] // IEEE Access. – 2024. – Vol. 12. – P. 94250-94295. – DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3425166 (дата обращения: 19.07.2026).

7. Zhang Y., Shen S., Xu S. Strip steel surface defect detection based on lightweight YOLOv5 [Электронный ресурс] // Frontiers in Neurorobotics. – 2023. – Vol. 17. – Art. 1263739. – DOI: 10.3389/fnbot.2023.1263739 (дата обращения: 20.07.2026).

8. Zou X., Liu Z., Xu C., Zhang J., Li Z. MobileSteelNet: A Lightweight Steel Surface Defect Classification Network with Cross-Interactive Efficient Multi-Scale Attention [Электронный ресурс] // Sensors. – 2026. – Vol. 26, No. 3. – Art. 1022. – DOI: 10.3390/s26031022 (дата обращения: 20.07.2026).

APPLICATION OF CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS FOR AUTOMATIC SURFACE DEFECT DETECTION OF INDUSTRIAL PRODUCTS

A.A. Galkin[1], I.A. Shperov[2]

Penza State Technological University,
Penza, Russia

The article presents a comparative analysis of methods for automatic surface defect detection of industrial products based on convolutional neural networks (CNNs).

[1] Scientific supervisor: E.A. Kuraeva, Senior Lecturer at the Department of Programming, Penza State Technological University

[2] Scientific supervisor: E.A. Kuraeva, Senior Lecturer at the Department of Programming, Penza State Technological University

Approaches solving the task of classifying the presence of a defect in an image (EfficientNetB3, ResNet-50, MobileNetV2, MobileSteelNet, and domestic CNN classifiers) are considered, as well as the task of detecting and localizing defects in an image (YOLOv8, YOLOv5-GSS, YOLOv9-s with attention mechanisms, SSD, Faster R-CNN). A comparison of accuracy achieved in various Russian and foreign studies on the IMTCSD, NEU-DET, DefectMetalList and other datasets is carried out. It is shown that transfer learning of pretrained architectures and specialized compact networks provide defect classification accuracy in the range of 95-98%, while among detection architectures YOLOv8 and its attention-augmented modifications show the most robust results, and increasing architectural complexity does not always improve accuracy and may lead to overfitting on small datasets.

Keywords: convolutional neural networks, defect detection, quality control, deep learning, image classification, object detection, attention mechanisms, YOLO, transfer learning, industrial products.

УДК 37.018

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ОБРАЗОВАНИЯ: ВЫЗОВЫ, ТЕХНОЛОГИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

А.Р. Гизатуллина, С.В. Куценко

Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия

В статье рассматривается процесс цифровой трансформации образования как системного изменения целей, содержания, методов и организационных форм обучения под воздействием информационно-коммуникационных технологий. Анализируются ключевые драйверы трансформации: онлайн-платформы (LMS), искусственный интеллект, технологии виртуальной и дополненной реальности, большие данные в образовании. Выделены основные барьеры (цифровое неравенство, сопротивление преподавателей, кибербезопасность) и предложены пути их преодоления. Обосновывается вывод о переходе от «цифровизации» (замене аналоговых инструментов цифровыми) к подлинной трансформации, меняющей саму педагогическую парадигму.

Ключевые слова: цифровая трансформация, информационные технологии в образовании, персонализированное образование, смешанное обучение.

За последние десятилетия информационные технологии проникли во все сферы деятельности человека. Однако в образовании долгое время их использование сводилось к простой «оцифровке»: замена бумажных учебников электронными, перенос контрольных работ в тестовые формы, использование презентаций вместо меловых досок. Настоящая цифровая трансформация (Digital Transformation) предполагает нечто большее: переосмысление того, как, где и

чему учить, перестройку ролей ученика и учителя, появление новых дидактических возможностей, недоступных в традиционной модели.

Актуальность темы обусловлена ускорившимися изменениями на рынке труда (появление профессий, которых не существовало 5 лет назад), требованиями к непрерывному образованию («образование через всю жизнь») и последствиями пандемии COVID-19, которая стала форсированным экспериментом по внедрению дистанционных технологий.

В научной литературе принято различать три этапа:

1)Автоматизация (компьютер как вычислительная машина).

2)Цифровизация (перевод информации в цифровую форму, электронные библиотеки, журналы).

3)Цифровая трансформация (изменение бизнес-процессов, организационной структуры и педагогических моделей под влиянием цифровых технологий).

Ключевые технологии цифровой трансформации образования

1)LMS (Moodle, Canvas, Google Classroom) – единая цифровая среда для управления курсами, контентом, оцениванием и коммуникацией.

2)Искусственный интеллект – адаптивные тренажеры, проверка эссе, чат-боты-тьюторы, прогнозирование отчислений; снижает рутину преподавателя и индивидуализирует обучение.

3)VR/AR (виртуальная и дополненная реальность) – виртуальные лаборатории, исторические реконструкции, медицинские симуляторы; обеспечивает погружение и безопасную практику.

4)Big Data в образовании – анализ успеваемости, выявление «групп риска», персонализированные рекомендации; позволяет управлять качеством на основе данных.

Новые модели обучения как результат трансформации:

1)Смешанное обучение (Blended Learning) – оптимальное чередование онлайн- и офлайн-активностей (модели «перевёрнутый класс», «ротация станций»).

2)Перевёрнутый класс (Flipped Classroom) – теория изучается дома по видео/текстам, а на занятиях – практика, дискуссии, проекты.

3)Обучение на основе проектов в распределённых командах – с использованием Trello, GitHub, Miro, Discord.

4)Микрообучение (Microlearning) – короткие модули (5–15 минут), адаптированные для мобильных устройств и «между делом».

Анализ внедрения цифровых технологий в российских и зарубежных университетах показывает устойчивые барьеры.

1)Цифровое неравенство: разный доступ к устройствам и высокоскоростному Интернету у студентов и преподавателей (особенно в сельской местности).

2)Компетенции преподавателей: многие педагоги не владеют современными педагогическими дизайнами, воспринимают технологии как угрозу своей роли.

3)Когнитивная перегрузка и «цифровой стресс»: обилие уведомлений, мессенджеров, платформ рассеивает внимание.

4)Проблемы прокторинга и академической честности: удалённый контроль сложен и может нарушать приватность.

5)Кибербезопасность и защита персональных данных: образовательные платформы становятся целью атак.

Для успешной цифровой трансформации образования недостаточно закупить оборудование и лицензии. Необходимо:



1)Создавать системы педагогической поддержки преподавателей (курсы повышения квалификации, методические сообщества).

2)Внедрять универсальный дизайн обучения (Universal Design for Learning), учитывающий разные стили и возможности студентов.

3)Развивать цифровую гигиену и навыки управления вниманием.

На основе вышесказанного можно сделать вывод, что цифровая трансформация образования – это не техническое обновление, а смена образовательной парадигмы. Она делает возможным персонализированное, непрерывное, доступное и более вовлекающее обучение. Однако её реализация наталкивается на человеческие, организационные и инфраструктурные ограничения. Достичь истинной трансформации можно только при условии целенаправленной педагогической переподготовки кадров, пересмотра образовательных стандартов и признания того, что цифровые технологии – это инструмент, а не цель. Будущее образования – за разумным синтезом лучшего из традиционной педагогики и новых цифровых возможностей.

Список использованных источников

1. Блинов В. И., Дулинов М. В., Есенина Е. Ю., Сергеев И. С. Проект дидактической концепции цифрового профессионального образования и обучения. – М.: Перо, 2019.

2. Fullan M., Langworthy M. A Rich Seam: How New Pedagogies Find Deep Learning. – London: Pearson, 2014.

3. OECD (2021). Digital Education Outlook 2021: Pushing the Frontiers with AI, Blockchain, and Robots. OECD Publishing, Paris.

DIGITAL TRANSFORMATION OF EDUCATION: CHALLENGES, TECHNOLOGIES AND PROSPECTS

A.R. Gizatullina, S.V. Kutsenko

Kazan State Power Engineering University,
Kazan, Russia

The article examines the process of digital transformation of education as a systemic change in the goals, content, methods, and organizational forms of education under the influence of information and communication technologies. The key drivers of transformation are analyzed: online platforms (LMS), artificial intelligence, virtual and augmented reality technologies, and big data in education. The main barriers (digital inequality, teacher resistance, and cybersecurity) are highlighted, and ways to overcome them are proposed. The conclusion is substantiated that the transition from "digitalization" (replacing analog tools with digital ones) to a genuine transformation that changes the pedagogical paradigm itself is necessary.

Keywords: digital transformation, information technologies in education, LMS, artificial intelligence in learning, personalized learning.

УДК 005.511:658.5:004.94

МОДЕЛИРОВАНИЕ И РЕИНЖИНИРИНГ БИЗНЕС-ПРОЦЕССА ОРГАНИЗАЦИИ ВЫСТАВОЧНО-ЯРМАРОЧНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ДЕЛОВОГО ЦЕНТРА НА ОСНОВЕ IDEF0/IDEF3/DFD-МОДЕЛЕЙ И ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТОИМОСТНОГО АНАЛИЗА

И.А. Грошева, И.В. Игнатьев, А.А. Батанова

Марийский государственный университет,
г. Йошкар-Ола, Россия

В статье представлена интегрированная методика анализа и реинжиниринга бизнес-процесса организации выставок-ярмарок на основе трёх нотаций моделирования (IDEF0, IDEF3, DFD), функционально-стоимостного анализа и финансовой оценки, позволившая обосновать внедрение онлайн-портала с экономическим эффектом в виде срока окупаемости около 4,7 месяца и годовой экономии 888 000 руб.

Ключевые слова: бизнес-процесс, реинжиниринг, IDEF0, IDEF3, DFD, функционально-стоимостной анализ, экономическая эффективность, цифровизация, выставочно-ярмарочная деятельность.

Организация выставочно-ярмарочных мероприятий представляет собой один из инструментов развития региональной рыночной экономики, обеспечивающий взаимодействие производителей и потребителей, презентацию новой продукции и заключение коммерческих соглашений. Рост числа мероприятий и

участников обостряет требования к качеству и скорости внутренних процедур делового центра, что делает задачу оптимизации соответствующего бизнес-процесса практически значимой. Одновременно данная задача носит и методический характер: для количественно обоснованного (а не декларативного) реинжиниринга процесса сферы услуг необходимо сочетание нескольких инструментов – функционального, событийного и информационного описания процесса, стоимостной оценки его этапов и финансового расчёта эффекта от изменений. В известных работах по моделированию и реинжинирингу бизнес-процессов данные инструменты, как правило, применяются по отдельности: либо строится функциональная модель (IDEF0) без стоимостной оценки, либо реинжиниринг ограничивается качественным сопоставлением состояний «как есть» (AS-IS) и «как должно быть» (TO-BE) без последующего финансового обоснования [7, 8]. В отличие от такого подхода в настоящей работе показано, каким образом последовательное применение трёх нотаций моделирования (IDEF0, IDEF3, DFD), функционально-стоимостного анализа и расчёта окупаемости позволяет получить целостную, количественно проверяемую траекторию реинжиниринга – от описания текущего процесса до обоснования конкретной суммы инвестиций и срока их возврата.

Эмпирической базой исследования послужили внутренние регламентные данные делового центра «Технопарк»: организационная структура (директор выставки, организационный комитет из 15 человек, информационный отдел, бухгалтерия, административно-хозяйственный отдел, отдел рекламы, конкурсная комиссия, совет Технопарка), состав и хронометраж этапов подготовки и проведения выставки (общая продолжительность цикла – 6-7 месяцев), а также фактическая стоимость выполнения отдельных функций. Для формального описания процесса применены три взаимодополняющие нотации. Методология IDEF0 использована для построения иерархической функциональной модели: контекстной диаграммы верхнего уровня (блок A0 «Организация выставки-ярмарки») с последующей декомпозицией на подготовительный (A1), основной (A2, проведение выставки) и заключительный (A3, подведение итогов) этапы, а также для построения дерева функций, детализирующего процесс до 21 операции в рамках 7 функциональных блоков первого уровня. Нотация IDEF3 применена для описания логики и временной последовательности работ на уровне подразделений с использованием перекрёстков слияния и ветвления, что позволило зафиксировать не только последовательные, но и параллельно выполняемые операции (например, одновременную подготовку рекламных материалов, заключение договоров с участниками и подготовку выставочного павильона). Диаграммы потоков данных (DFD) использованы для определения внешних сущностей процесса (участники-экспоненты, посетители, средства массовой информации, совет Технопарка), информационных потоков между ними и системой, а также хранилищ данных (база предприятий, список участников, архив договоров, список лауреатов конкурса).

Стоимостная оценка процесса выполнена методом функционально-стоимостного анализа (Activity Based Costing, ABC), в рамках которого прямые и косвенные расходы распределены по функциональным блокам IDEF0-модели

пропорционально объёму задействованных ресурсов (рабочая сила, оборудование, материалы, помещения). Для каждой функции определены центр затрат, стоимость выполнения, частота и длительность, что позволило построить дерево узлов с накопленной стоимостью по этапам процесса. Экономическая эффективность предложенного реинжиниринга (внедрение онлайн-портала приёма заявок) оценена путём сопоставления единовременных затрат на разработку и внедрение системы, текущих затрат на её эксплуатацию и ожидаемой экономии фонда оплаты труда информационного отдела, с расчётом срока окупаемости и годовой чистой экономии.

Функциональная декомпозиция процесса в нотации IDEF0 показала, что весь функциональный состав деятельности систематизируется в семь функций первого уровня (подготовка выставки; формирование программы и базы участников; оформление участников и финансирование; логистика и подготовка павильона; рекламная кампания; проведение выставки; подведение итогов), декомпозируемых далее в 21 конкретную операцию. Модель IDEF3 подтвердила, что этап организационного сопровождения включает не только последовательные, но и параллельно выполняемые операции: заключение договоров с участниками, подготовка выставочного пространства и проведение рекламной кампании реализуются одновременно после утверждения концепции и программы выставки, что сокращает совокупную длительность подготовительного этапа по сравнению со строго последовательным выполнением тех же операций. Модель DFD выявила, что ключевым информационным «узким местом» процесса является ручная обработка потока «заявка-оплата-регистрация», проходящего через информационный отдел и бухгалтерию без единой информационной системы, обслуживающей все три операции.

Результаты функционально-стоимостного анализа обобщены в таблице 1. Общая стоимость проведения одной выставки-ярмарки составила 710 000 руб. Наибольший вклад в структуру затрат вносят подготовка инфраструктуры (150 000 руб., 21,1 %) и сопровождение выставки (120 000 руб., 16,9 %), при этом свыше 55 % совокупных затрат приходится на оплату труда персонала, что указывает на трудоёмкость процесса как основной резерв повышения его экономической эффективности.

Таблица 1 – Функционально-стоимостной анализ процесса организации выставки-ярмарки

Этап процесса	Стоимость, руб.	Доля, %	Длительность, дн.
Подготовительный этап	395 000	55,6	до 30
Проведение выставки	260 000	36,6	до 5
Заключительный этап	55 000	7,8	до 7
Итого	710 000	100,0	–

На основе выявленного распределения затрат и информационного узкого места сформулировано направление реинжиниринга – внедрение онлайн-портала для самостоятельной подачи заявок участниками с автоматическим формированием заявки-договора, счёта на оплату и регистрацией участника в единой базе данных. Сопоставление показателей процесса до и после реинжиниринга представлено в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнение параметров бизнес-процесса до и после реинжиниринга

Показатель	До реинжиниринга (AS-IS)	После реинжиниринга (TO-BE)
Приём заявок	Вручную, до 14 дней	Онлайн-портал, 1 день
Рассылка приглашений	Вручную, 7 дней	Автоматически, 1 час
Выставление счетов	Вручную (бухгалтерия)	Автоматически при заявке
Нагрузка на информационный отдел	Высокая (5 чел.)	Снижена на 60 % (2 чел.)
Ошибки при оформлении документов	До 15 %	Менее 2 %

Экономический расчёт показал, что единовременные затраты на разработку, настройку и тестирование портала составляют 350 000 руб., постоянные затраты на техническую поддержку – 25 000 руб. в месяц. Текущие затраты на ручной приём заявок (заработная плата трёх сотрудников информационного отдела и сопутствующие расходы) оцениваются в 165 000 руб. в месяц. Поскольку портал способен автоматизировать до 60 % операций приёма и первичной обработки заявок, ожидаемая экономия составляет 99 000 руб. в месяц, а с учётом затрат на сопровождение системы чистая экономия – 74 000 руб. в месяц, или 888 000 руб. в год. Соответственно, срок окупаемости инвестиций (350 000 руб.) составляет около 4,7 месяца, что для проекта цифровизации внутреннего процесса делового центра является приемлемым сроком возврата вложений и подтверждает экономическую целесообразность предложенного реинжиниринга.

Применение трёх нотаций (IDEF0, IDEF3, DFD) не избыточно: IDEF0 задаёт иерархию функций, IDEF3 – логику работ, DFD – информационные потоки, что позволило локализовать реинжиниринг именно на приёме заявок – самой трудоёмкой по ABC-анализу и уязвимой по DFD-модели функции. В отличие от подходов, основанных на экспертных оценках, выбор точки вмешательства получил количественное обоснование. Ограничением работы является её привязка к конкретному деловому центру, поэтому абсолютные цифры экономии (74 000 руб./мес., окупаемость 4,7 месяца) не универсальны, однако сама последовательность этапов – от построения моделей до финансового расчёта – носит общий

характер и применима для широкого круга услуг, что и составляет практическую ценность исследования.

Таким образом, предложенный подход – сочетание трёх моделей процесса, стоимостной оценки и финансового расчёта – даёт чёткое количественное обоснование для реинжиниринга и может быть использован при автоматизации схожих бизнес-процессов в сфере услуг.

Список использованных источников

1. Долганова, О.И. Моделирование бизнес-процессов: учебник и практикум для вузов / О.И. Долганова. – М.: Юрайт, 2022. – 289 с.

2. Разработка и внедрение информационных систем [Электронный ресурс] // Studbooks.net: [сайт]. – URL: https://studbooks.net/2430968/informatika/idef0 (дата обращения: 23.06.2026).

3. Иванов, И.И. Методические указания по выполнению лабораторных работ: практическое пособие / И.И. Иванов. – Томск: Изд-во ТУСУР, 2023. – 50 с.

4. Методология моделирования IDEF3 [Электронный ресурс] // Business Consulting Group: [сайт]. – URL: https://b-c-group.ru/bisness/idef3/ (дата обращения: 24.06.2026).

5. Структурный анализ потоков данных (Data Flow Diagrams – DFD): метод. указания / сост. Д.Ю. Киселев, Ю.В. Киселев, В.Д. Макарьев. – Самара: Изд-во СГАУ, 2014. – 12 с.

6. Функционально-стоимостной анализ [Электронный ресурс] // Корпоративный менеджмент: [сайт]. – URL: https://www.cfin.ru/management/controlling/iso_abc.shtml (дата обращения: 24.06.2026).

7. Силич, В.А. Реинжиниринг бизнес-процессов: учеб. пособие / В.А. Силич, М.П. Силич. – Томск: ТУСУР, 2007. – 200 с.

8. Яблочников, Е.И. Реинжиниринг бизнес-процессов проектирования и производства: учеб. пособие / Е.И. Яблочников, В.И. Молочник, Ю.Н. Фомина. – СПб.: СПбГУИТМО, 2008. – 152 с.

MODELING AND REENGINEERING OF THE BUSINESS PROCESS OF ORGANIZING EXHIBITIONS AND FAIRS AT A BUSINESS CENTER BASED ON IDEF0/IDEF3/DFD MODELS AND ACTIVITY-BASED COSTING

I.A. Grosheva, I.V. Ignatiev, A.A. Batanova

Mari State University,
Yoshkar-Ola, Russia

The article presents an integrated methodology for analyzing and reengineering the business process of organizing exhibitions and fairs using three modeling notations (IDEF0, IDEF3, DFD), activity-based costing, and financial evaluation, which justified the implementation of an online application portal with a payback period of about 4.7 months and annual savings of 888,000 rubles.

Key words: business process, reengineering, IDEF0, IDEF3, DFD, activity-based costing, economic efficiency, digitalization, exhibition and fair activity.

УДК 51-74

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ И СТРУКТУРНОЙ ПРОЧНОСТИ ГАЗОБЕТОНА НА ОСНОВЕ СИНТЕЗА ТОБЕРМОРИТА

А.С. Громов, В.В. Кузина

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, г. Пенза, Россия

Автоклавная обработка является наиболее энергозатратным переделом производства газобетона. Применяемые способы экономии – рекуперация тепла, автоматизация дозирования, теплоизоляция камеры – совершенствуют отдельные узлы процесса, но назначаются без расчёта внутренних процессов, и потому реализуются с эмпирическим запасом по времени. Показано, что переход к расчётному обоснованию режима требует связанной модели, объединяющей гидродинамику камеры, тепломассоперенос с кинетикой синтеза тоберморита, термоупругие напряжения и связь пористости с прочностью. Подробно рассмотрен центральный блок – уравнения теплопроводности с реакционным источником, диффузии влаги и кинетики по Аррениусу – и предложен расчётный критерий завершения выдержки по минимальной степени превращения, сокращающий длительность цикла без потери прочности.

Ключевые слова: математическое моделирование, газобетон, автоклавная обработка, энергоэффективность, тепломассоперенос, кинетика гидротермального синтеза, тоберморит, прочность.

Автоклав для газобетона потребляет электрическую энергию (приводы, компрессоры, системы управления) и тепловую – в виде насыщенного пара высокого давления от парогенераторов. Режим поддерживает температуру 175–200 °C и давление 0,8–1,3 МПа, обеспечивая реакцию извести с кремнезёмом с образованием тоберморита — гидросиликата кальция, определяющего прочность изделия. Удельные затраты составляют 35–50 кВт·ч электроэнергии и 0,8–1,2 т пара на кубический метр продукции.

Практика выработала ряд способов снижения этих затрат (табл. 1), объединяемых общим ограничением: каждый оптимизирует отдельный узел, не опираясь на модель процессов внутри самого изделия.

Итог – регламент, назначающий выдержку с запасом, гарантирующим прочность при наименее благоприятном прогреве. Задача моделирования – заменить этот запас расчётным обоснованием минимально достаточного режима.

Таблица 1 – Способы повышения энергоэффективности автоклавной обработки газобетона

Способ	Принцип	Эффект	Ограничение
Рекуперация тепла пара	Подогрев воды затворения теплом сбрасываемого пара	Экономия пара 18–22%	Не учитывает T внутри изделия
Автоматизация дозирования	Подача пара по заданному графику	Экономия 5–10%	Не связано со степенью реакции
Теплоизоляция камеры	Снижение теплопотерь в среду	Экономия 8–12%	Не влияет на длительность выдержки
Оптимизация загрузки	Расчёт компоновки изделий	Меньше застойных зон	Требует расчёта CFD камеры

Полная модель процесса охватывает несколько физических задач, связанных общими полями (табл. 2).

Таблица 2 – Состав связанной модели автоклавного процесса

№	Задача	Определяемые величины	Связь с другими задачами
1	Гидродинамика пара (CFD)	поле температуры пара, h(x)	граничные условия для задачи 2
2	Тепломассоперенос и кинетика синтеза	T(x,t), w(x,t), α(x,t)	источник данных для 3 и 4
3	Термоупругие напряжения	напряжения, деформации	ограничение темпа режима
4	Пористость → прочность	итоговая прочность	критерий качества
5	Оптимизация режима	график T(t), p(t)	управление всей системой

Задача 2 занимает центральное место: её результаты $T(x,t)$ и $\alpha(x,t)$ представляют собой входные данные для задач 3 и 4, а сама она определяет энергозатраты цикла через продолжительность выдержки. Далее рассмотрен именно этот блок.

Элемент изделия рассматривается как пористое тело, в котором протекают теплопроводность, диффузия влаги и реакция образования тоберморита. Баланс энергии с реакционным источником:

$$\rho c \cdot \partial T/\partial t = \nabla\cdot(\lambda \nabla T) + Q(x,t),$$

где ρ, c, λ – плотность, теплоёмкость и теплопроводность материала; $Q(x,t)$ – мощность тепловыделения реакции. Перенос влаги в поровом пространстве:

$$\partial w/\partial t = \nabla\cdot(D\nabla w) - S(x,t),$$

где w – влагосодержание; D – коэффициент диффузии; S – сток на реакцию.

Степень превращения $\alpha(x,t)$ (от 0 до 1) описывается кинетикой аррениусовского типа:

$$\mathrm{d}\alpha/\mathrm{d}t = k_0 \cdot \exp(-E_a/(R\cdot T)) \cdot (1-\alpha)^n,$$

где k_0 – предэкспонента; E_a – энергия активации; R – газовая постоянная; n – порядок реакции.

По данным времяразрешённой рентгеновской дифракции синтез тоберморита лимитируется растворением кварца и описывается кинетикой первого порядка с E_a порядка 100–110 кДж/моль [1]. Измерения *in situ* синхротронной дифракцией показывают, что при ~180 °C и ~1 МПа реакция завершается за ~5 ч [2, 3] – эти оценки служат отправной точкой калибровки k_0, Ea и n для конкретной рецептуры.

Уравнения связаны двусторонне: $Q(x,t) = \Delta H \cdot \mathrm{d}\alpha/\mathrm{d}t$ подставляется источником в уравнение теплопроводности, поэтому реакция ускоряется в прогретых зонах, а её экзотермия дополнительно повышает температуру – эта обратная связь требует совместного, а не последовательного интегрирования. Граничные условия задаются коэффициентом теплоотдачи от пара (результат задачи 1), начальные – состоянием изделия после вспучивания и разрезки.

Критерием достаточности режима служит минимальная по объёму степень превращения в конце цикла (обычно в центре блока). Завершение выдержки по достижении наихудшей точкой порога $\alpha \geq 0{,}9$, а не по фиксированному времени с запасом, – прямой источник экономии пара и электроэнергии.

В заключении отметим, что применяемые способы повышения энергоэффективности автоклавной обработки газобетона совершенствуют отдельные узлы процесса, но не опираются на расчёт того, что происходит внутри изделия, и реализуются с эмпирическим запасом режима. Переход к связанной модели тепломассопереноса и кинетики синтеза тоберморита заменяет этот запас расчётным критерием завершения реакции в наихудшей по прогреву точке, сокращая цикл и расход энергоносителей без потери прочности. Рассмотренный блок уравнений образует ядро более общей модели процесса, объединяющей гидродинамику камеры, механику напряжений и связь пористости с прочностью, и служит отправной точкой для её построения в настоящем исследовании.

Список использованных источников

1. Matsui, K. In situ time-resolved X-ray diffraction of tobermorite formation in autoclaved aerated concrete: influence of silica source reactivity and Al addition / K. Matsui, J. Kikuma, M. Tsunashima, T. Ishikawa, S. Matsuno, A. Ogawa, M. Sato // Cement and Concrete Research. – 2011. – Vol. 41, No. 5. – P. 510–519.

2. Kikuma, J. Hydrothermal formation of tobermorite studied by in situ X-ray diffraction under autoclave condition / J. Kikuma, M. Tsunashima, T. Ishikawa, S. Matsuno, A. Ogawa, K. Matsui, M. Sato // Journal of Synchrotron Radiation. – 2009. – Vol. 16, No. 5. – P. 683–686.

3. Kikuma, J. In situ time-resolved X-ray diffraction of tobermorite formation process under autoclave condition / J. Kikuma, M. Tsunashima, T. Ishikawa, S. Matsuno, A. Ogawa, K. Matsui, M. Sato // Journal of the American Ceramic Society. – 2010. – Vol. 93. – P. 2667–2674.

4. Narayanan, N. Structure and properties of aerated concrete: a review / N. Narayanan, K. Ramamurthy // Cement and Concrete Composites. – 2000. – Vol. 22, No. 5. – P. 321–329.

5. Лыков, А.В. Тепломассообмен: справочник. – М.: Энергия, 1978. – 480 с.

MATHEMATICAL JUSTIFICATION OF THE ENERGY EFFICIENCY AND STRUCTURAL STRENGTH OF AERATED CONCRETE BASED ON TOBERMORITE SYNTHESIS

A.S. Gromov, V.V. Kuzina

Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russia

Autoclave processing is the most energy-intensive stage of aerated concrete production. Current energy-saving measures – such as heat recovery, automated dosing, and chamber insulation – improve specific aspects of the process but are implemented without analyzing the underlying internal mechanisms, necessitating an empirical safety margin in processing time. Transitioning to a calculation-based process regime requires an integrated model that couples chamber hydrodynamics, heat and mass transfer, tobermorite synthesis kinetics, thermoelastic stresses, and the relationship between porosity and strength. The core model components – heat conduction equations incorporating a reaction source term, moisture diffusion, and Arrhenius-based kinetics – are examined in detail, and a calculation-based criterion for determining the end of the holding period based on a minimum degree of conversion is proposed; this approach reduces cycle duration without compromising strength.

Keywords: mathematical modelling, aerated concrete, autoclave processing, energy efficiency, heat and mass transfer, hydrothermal synthesis kinetics, tobermorite, strength.

УДК 004.9

АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ К СИСТЕМЕ ОБУЧЕНИЯ И АТТЕСТАЦИИ СОТРУДНИКОВ ИТ-КОМПАНИИ

О.П. Дранишникова, Н.С. Ксенз

Южный федеральный университет,
г. Ростов-на-Дону, Россия

Обосновано высокое значение развития кадров для ИТ-компаний. Определены бизнес-цели и цели использования системы обучения и аттестации сотрудников. Проанализированы требования и определены функции системы: построены карта пользовательских историй и структурная декомпозиция продукта. Определены и ранжированы основные компоненты системы.

Ключевые слова: анализ требований, пользовательские истории, карта пользовательских историй, структурная декомпозиция продукта.

По состоянию на январь 2026 года в РФ зафиксирован значительный рост количества субъектов бизнеса в сфере информационных технологий (увеличение на 34 %). Количество фирм, появившихся за последние 3 года – 55,3 тыс [1]. Тенденции данной отрасли связаны с продолжающимися процессами цифровизации экономики и импортозамещения. Однако увеличение количества компаний в данной сфере неизбежно обостряет конкуренцию за главный ресурс – высококлассных специалистов. Компаниям, работающим в сфере информационных технологий, необходимо не только соответствовать темпам роста отрасли, но и стремиться к лидерским позициям. Использование кадрового потенциала компании сказывается на ее конкурентоспособности и развитии инноваций. Предлагаемое в работе внедрение системы обучения и аттестации сотрудников повлияет на уровень подготовки специалистов и оценку их знаний, наличие опытных сотрудников в сочетании с увеличением притока новых кадров позволит компании успешно реализовывать сложные и масштабные проекты и адаптировать быстроменяющиеся технологии.

Основные результаты будут связаны с сокращением участия сотрудников, назначенных наставниками для стажеров (высвобожденное время возвращается в проектную деятельность), снижением текучести кадров (компания может взять больше проектов для реализации), уменьшением количества выплат по штрафам из-за невыполненных задач в определенные сроки при текучести кадров.

К бизнес-целям проекта внедрения системы относятся формирование кадрового резерва, управление потенциалом сотрудников, повышение производительности труда, снижение рисков, связанных с недостатком компетенций, повышение конкурентоспособности компании.

Цели, реализуемые при использовании системы, следующие:

– обеспечить плановое обучение стажеров;

– оценить уровень знаний сотрудников компании;

– формализовать и автоматизировать процессы обучения и аттестации персонала;

– создать централизованное хранилище учебных материалов и результатов аттестации;

– обеспечить прозрачность и доступность данных для анализа эффективности процессов обучения.

Система обучения и аттестации сотрудников направлена на уменьшение субъективности при оценке знаний стажеров и сотрудников, повышение производительности труда персонала, назначенного на обучение стажеров и коллег, создание единого подхода к обучению и сокращение периода адаптации стажеров.

Ценностное предложение для HR-специалиста связано с отслеживанием эффективности прохождения обучения стажерами через результаты тестирований, используя модули разрабатываемой системы для мониторинга и оценки построения процессов обучения внутри «IBS Dunice». Для стажеров ценностное предложено связано с возможностями прохождения курсов, просмотра видеоматериалов, общения в чатах с опытными сотрудниками для ускорения процесса адаптации внутри компании. Для сотрудников ценностное предложение формируется на основе получения новой профессии или компетенции из каталога курсов. Карта пользовательских историй представлена на рисунке 1. Данная карта отображает процесс использования системы стажерами и сотрудниками на переобучении.



Рисунок 1 – Карта пользовательских историй для системы обучения и аттестации сотрудников

Для разрабатываемой системы необходимо заранее подготовить видео- и текстовые материалы для обучения стажеров/сотрудников. После изучения теории по курсам пользователи смогут пройти тесты для оценки освоения подготовленного материала. Каждый стажер или сотрудник на

переобучении/дополнительном обучении может проходить курсы в свободном темпе, но с ограничением сроков прохождения тестов внутри курса (не более 2 недель) и общей продолжительности освоения курса (не более 3 месяцев).

Результаты ранжирования основных компонентов системы, соотнесенных с пользовательскими историями, представлены в таблице 1. Основные элементы системы обучения и аттестации сотрудников в виде иерархической структуры продукта представлены на рисунке 2.

Таблица 1 – Компоненты системы обучения и аттестации сотрудников

ID	Название	User Story	Как демонстрируется результат	Важность (5-балльная шкала)
1	Форма для регистрации	Как стажер/сотрудник я хочу зарегистрироваться в системе, чтобы иметь учетную запись и доступ к личному кабинету.	Форма регистрации	4
2	Форма для авторизации	Как стажер/сотрудник я хочу авторизовываться в системе, чтобы иметь доступ к личному кабинету.	Форма авторизации	4
3	Модуль «Запись видеоуроков»	Как сотрудник, назначенный на обучение, хочу заранее загружать видеоматериалы, чтобы обеспечить высокую производительность собственного труда, не тратя время на ежедневные созвоны.	Записанные видеоматериалы	5
4	Модуль уведомлений	Как стажер/сотрудник я хочу получать уведомления, чтобы своевременно проходить тесты и выполнять задания.	Push-уведомления	4
5	Форма для написания отзывов	Как стажер/сотрудник я хочу писать отзывы, чтобы делиться своим мнением относительно образовательных курсов.	Форма написания отзывов	2
6	Модуль «Конструктор тестов»	Как HR я хочу быстро создавать тесты для стажеров и сотрудников, чтобы видеть эффективность изучения материалов.	Созданные тесты	5
7	Модуль тестирования	Как стажер/сотрудник я хочу проходить тесты, чтобы получить результаты по итогам тестирования.	Пройденные тесты	5
8	Каталог курсов с пагинацией	Как стажер я хочу видеть все курсы обучения, чтобы выбрать те, которые меня интересуют.	Готовый каталог курсов	3

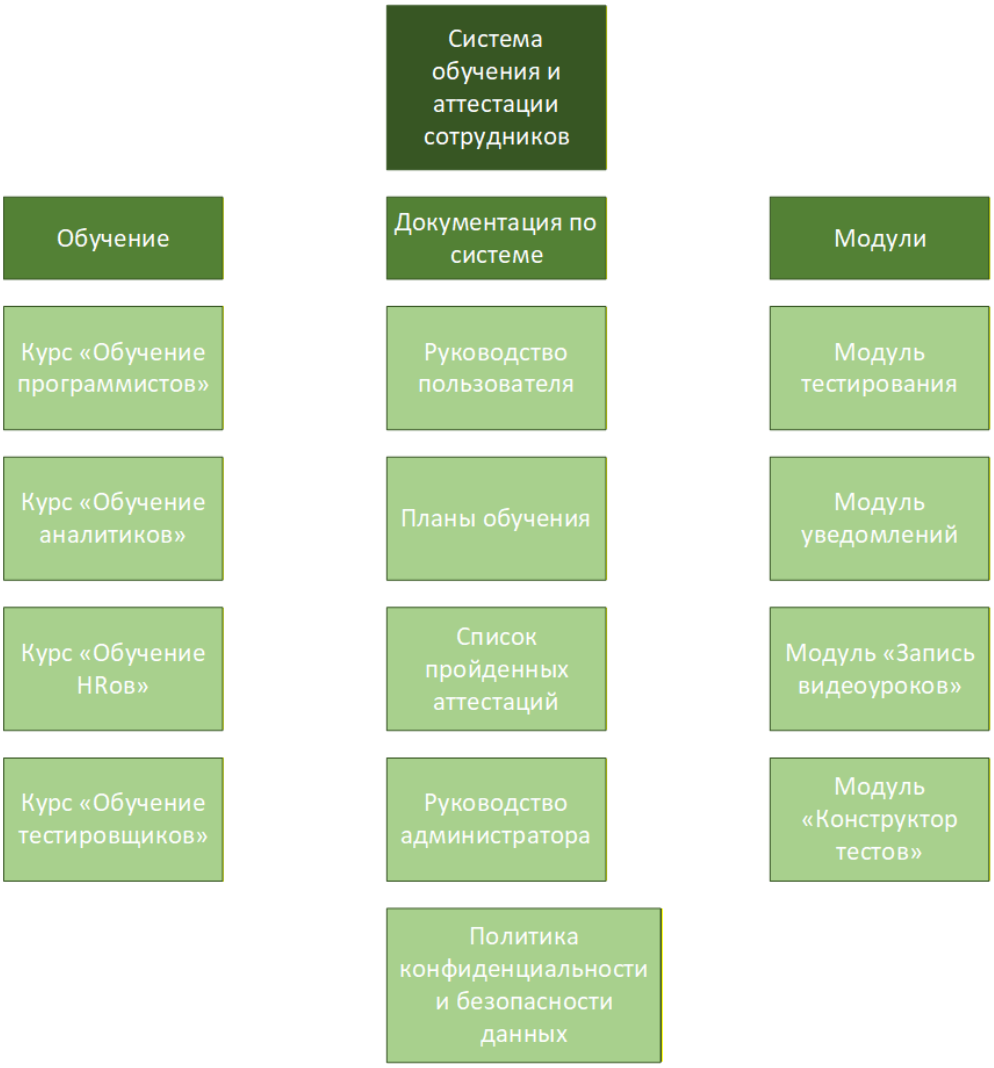


Рисунок 2 – Структурная декомпозиция системы обучения и аттестации сотрудников

Для реализации идей использования системы необходимо задействовать опытных сотрудников, чтобы подготовить видео- и текстовый материал. Контроль за выполнением и оценкой тестов будет выполняться HR-специалистами. Кроме того, компании необходимо привлечь специалиста для поддержки системы после внедрения. Таким образом, ожидается сократить необходимое участие сотрудников компании в процессах обучения, повысить уровень удовлетворенности возможностями профессионального развития, увеличить количество успешно выполненных проектов за счет повышения уровня компетенций персонала, подготовить собственные кадры.

Список использованных источников

1. Рост IT-компаний в России обогнал прошлогодние показатели на 64%. – Текст: электронный – URL: https://www.newsler.ru/hitech/2026/07/16/rost-it-kompanij-v-rossii-obognal-proshlogodnie-pokazateli-na-64 (дата обращения: 17.07.2026).

2. Кон М. Пользовательские истории: гибкая разработка программного обеспечения. – Litres, 2019.

3. Гриб А. А., Щетинин А. И. Практический взгляд на управление IT-проектами. Цели, продукт, методы //Управление проектами и программами. – 2023. – Т. 2. – С. 118-129.

REQUIREMENTS ANALYSIS OF TRAINING AND CERTIFICATION SYSTEM AN IT COMPANY

O.P. Dranishnikova, N.S. Ksenz

Southern Federal University,
Rostov-on-Don, Russia

The high importance of human resource development for IT companies is substantiated. The employee training and certification system business goals and objectives are defined. Requirements are analyzed and the system's functions are defined: a user story map and a product breakdown structure are constructed. The main system components are identified and ranked.

Keywords: requirements analysis, user stories, user story map, product breakdown structure.

УДК 004.75

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА СИММЕТРИЧНОГО ГОРИЗОНТАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДАННЫХ ДЛЯ БАЛАНСИРОВКИ НАГРУЗКИ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМАХ

Е.А. Евсеев

Смоленский государственный университет,
г. Смоленск, Россия

В статье рассматривается задача балансировки нагрузки в распределенных системах обработки данных. Проведен сравнительный анализ согласованного хеширования и предложенного симметричного горизонтального распределения. Реализована программа для распределенной обработки данных, позволяющая разбить базу данных на фрагменты, отправить их на удаленные вычислительные узлы и выполнить операции на них. Полученные результаты показали, что алгоритм симметричного горизонтального распределения обеспечивает более равномерное распределение по сравнению с согласованным хешированием.

Ключевые слова: распределённые системы, симметричное горизонтальное распределение, балансировка нагрузки, распределённая обработка данных, параллельные вычисления.

Современные информационные системы постоянно развиваются, потребляют всё больше и больше ресурсов, взаимодействуют с непрерывно

увеличивающимися объемами информации, в связи с этим появляется потребность в использовании распределенных систем [1, 2]. Одной из наиболее важных задач при построении таких систем является задача распределения данных между узлами. От качества такого распределения зависит масштабируемость, быстродействие и ресурсоёмкость системы [3]. Например, перекос данных при выполнении операции join может привести к существенному увеличению времени выполнения операции.

Для решения подобной задачи применим алгоритм симметричного горизонтального распределения, который был представлен в работах В.И. Мунермана [4, 5]. Его идея заключается в том, чтобы заранее оценить нагрузку, создаваемую предыдущими значениями ключей, и таким образом наиболее равномерно распределить фрагменты по узлам.

Эффективность самих распределенных систем сильно зависит от способа размещения данных между узлами. Если мы будем использовать горизонтальное распределение, то исходное отношение разделяется на фрагменты, обрабатываемые отдельными узлами, что позволяет выполнять операции параллельно, однако при неравномерном распределении возможны случаи неравномерной загрузки. Методы, основанные на хешировании, достаточно просты, но не учитывают структуру данных. Это может вести к перегрузке одного из узлов. В связи с этим появляется необходимость использования алгоритмов, учитывающих предполагаемую стоимость обработки данных.

Симметричное горизонтальное распределение представляет собой метод, при котором каждому значению ключа сопоставляется вес, характеризующий потенциальную вычислительную нагрузку. Вес ключа рассчитывается как произведение количества записей в соответствующих классах эквивалентности из обеих таблиц, а сами ключи распределяются так, чтобы суммарная нагрузка оставалась равномерной. Одной из ключевых особенностей алгоритма является симметричный характер распределения. В отличии от жадных алгоритмов, при которых один из узлов может получить самые ресурсоёмкие фрагменты, он меняет направление распределения. Это обеспечивает более равномерное распределение нагрузки и повышает эффективность параллельных вычислений.

Для проверки предложенного подхода была разработана программа, а также проведено сравнение эффективности распределения двух алгоритмов балансировки: симметричного горизонтального распределения и согласованного хеширования.

Основным элементом разработанной системы является главный узел. Его задача заключается в распределении ключей по виртуальным машинам и объединению результатов, полученных с остальных узлов. Вторым элементом являются два вычислительных узла. Их цель - выполнить операции локального соединения и передать результат на главный узел.

Вычисления на самих виртуальных машинах выполняются независимо друг от друга. Такой подход к обработке снижает объем передаваемого сетевого трафика и позволяет масштабировать систему. Разделение обязанностей между узлами позволяет разделить этапы подготовки и обработки данных.

Перейдем к реализации алгоритма на языке Python:

```
def distribute_sgr(index_table, shards):
    index_table.sort(key=lambda x: x[1], reverse=True)
    shard_weights = [0] * shards
    shard_keys = [[] for i in range(shards)]
    choose_min = True
    for key, weight in index_table:
        if choose_min:
            shard_id = min(
                range(shards),
                key=lambda i: shard_weights[i]
            )
        else:
            shard_id = max(
                range(shards),
                key=lambda i: shard_weights[i])
            )
        shard_keys[shard_id].append(key)
        shard_weights[shard_id] += weight
        choose_min = not choose_min
    return shard_keys
```

На первом этапе индексная таблица сортируется по убыванию веса ключей. После этого для каждого ключа определяется вычислительный узел. Выбор происходит попеременно: вначале узел с минимальной нагрузкой, затем - максимальной. Таким образом мы избегаем ситуации, когда один и тот же узел постоянно выбирает самые тяжелые элементы. Чередование здесь позволяет создать симметрию распределения, в следствии чего нагрузка растет более равномерно, чем при использовании только жадного подхода.

Для выполнения соединения в программе используется алгоритм «Черпак» [6, 7, 8]. Он позволяет разделить join на параллельные и независимые задачи. Данный метод позволяет значительно сократить время выполнения операций.

Для реализации эксперимента производилась генерация 1 000 000 записей. При использовании согласованного хеширования 483 384 записи были распределены на первый узел, и 516 616 - на второй. При этом продолжительность операции составила 33,2 секунды. Для симметричного горизонтального распределения количество записей оказалось практически идентичным – 500 001 на первый узел и 499 999 – на второй, а время выполнения составило 32,4 секунды. Такая реализация демонстрирует преимущества симметричного горизонтального распределения при обработке данных, ведь оно учитывает структуру данных и потенциальную стоимость операции join. Благодаря этому удалось уменьшить разницу в распределении нагрузки между вычислительными узлами при этом не увеличив время работы программы.

В заключение следует отметить, что эффективность распределенных систем во многом определяется выбором метода распределения информации между узлами [9]. Проведенное исследование показало, что такие простые методы, как согласованное хеширование не всегда показывают достаточную

производительность. Результаты эксперимента подтвердили эффективность использования симметричного горизонтального распределения для балансировки нагрузки. Использование ключей позволило уменьшить перекос данных при выполнении операции JOIN и повысить общую производительность системы.

Список использованных источников

1. Быков А. А. Проектирование архитектуры рекомендательной системы реального времени средствами векторных баз данных / А. А. Быков, С. В. Козлов, С. А. Морозов // Естественные и технические науки. – 2023. – № 11(186). – С. 272-275. – EDN PVCPRH.

2. Козлов С. В. Масштабирование CRON-задач в распределенных системах / С. В. Козлов, И. А. Карпов // International Journal of Open Information Technologies. – 2025. – Т. 13, № 10. – С. 50-57. – EDN NVYMQT.

3. Козлов С. В. Использование математического аппарата импликативных матриц при создании и сопровождении информационных систем / С. В. Козлов // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Т. 5, № 12. – С. 16-23. – EDN XHKJYW.

4. Мунерман В. И. Параллельная реализация симметричного горизонтального распределения данных на основе сетевых технологий / В. И. Мунерман, Д. В. Мунерман // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2017. – Т. 13, № 3. – С. 38-43. – DOI 10.25559/SITITO.2017.3.521. – EDN ZWJSAZ.

5. Кушнарев Г. В. Параллельная реализация симметричного горизонтального распределения данных для оптимизации операции соединения / Г. В. Кушнарев, В. И. Мунерман // Системы компьютерной математики и их приложения. – 2025. – № 26. – С. 133-137. – EDN OWNNOW.

6. Иванов М. С. Анализ реализации операции Join на основе принципа симметричного горизонтального распределения данных / М. С. Иванов, В. И. Мунерман // Системы компьютерной математики и их приложения. – 2017. – № 18. – С. 80-82. – EDN ZQTUXB.

7. Мунерман В. И. Массовая обработка данных. Алгебраические модели и методы / В. И. Мунерман. – Москва: ООО "Научно-издательский центр ИНФРА-М", 2023. – 229 с. – ISBN 978-5-16-018035-9. – DOI 10.12737/1906037. – EDN AINTEM.

8. Мунерман В. И. Анализ одного алгоритма операции Join / В. И. Мунерман, Д. В. Мунерман // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2024. – Т. 20, № 3. – С. 609-618. – DOI 10.25559/SITITO.020.202403.609-618. – EDN ZUSOIS.

9. Громей Д. Д. Математическое обеспечение поддержки процесса управления схемой реляционной базы данных в задачах горизонтального масштабирования / Д. Д. Громей, Е. В. Лебеденко // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2019. – Т. 7, № 2(25). – С. 65-79. – DOI 10.26102/2310-6018/2019.25.2.006. – EDN ENCEIR.

SYMMETRIC HORIZONTAL DATA BALANCING STUDY FOR LOAD BALANCING IN DISTRIBUTED SYSTEMS

E.A. Evseev

Smolensk State University,
Smolensk, Russia

The article discusses the task of load balancing in distributed data processing systems. Matched hashing and proposed symmetric horizontal distribution were compared. A program for distributed data processing has been implemented that allows you to split the database into fragments and send them to remote computing nodes and perform operations on them. The results showed that the symmetric horizontal distribution algorithm provides a more uniform distribution compared to consistent hashing.

Keywords: distributed systems, symmetric horizontal distribution, load balancing, distributed data processing, parallel calculations.

УДК 004.932

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ФОТОМЕТРИЧЕСКОЙ НОРМАЛИЗАЦИИ НА ЦИФРОВЫХ МЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ ПРИ НЕОДНОРОДНОМ ОСВЕЩЕНИИ

Е.В. Заров

Самарский государственный медицинский университет,
г. Самара, Россия

В работе исследовано влияние предварительной обработки изображений на качество сегментации малоразмерных объектов на медицинских изображениях. На наборе из 185 изображений и 1143 полигональных масок сравнивались исходные данные, gray-world, CLAHE, коррекция неравномерного освещения с CLAHE и адаптивная обработка. Во всех экспериментах использовались одинаковое разбиение выборки и модель YOLO11n-seg с едиными параметрами обучения. CLAHE повысил mask mAP50 с 0,6212 до 0,6305, но снизил mask mAP50-95 с 0,1907 до 0,1865. Лучший результат mask mAP50–95 (0,1918) получен при коррекции освещения с CLAHE, однако прирост относительно исходных данных составил лишь 0,0011. Адаптивная обработка уменьшила неравномерность освещения, но снизила mask mAP50-95 до 0,1755. Исследование показало, что улучшение характеристик изображения не обязательно повышает качество сегментации, а чрезмерная коррекция может ухудшить результат.

Ключевые слова: цифровая обработка изображений, сосочки языка, instance segmentation, фотометрическая нормализация, CLAHE, gray-world, неоднородное освещение, YOLO11.

Цифровые изображения поверхности с малоразмерными объектами чувствительны к спектру источника света, экспозиции, теням, бликам и автоматическому балансу белого камеры. Эти факторы влияют на цвет и контраст изображения, что может сказываться на качестве выделения сосочков [1]. Автоматический подсчёт и сегментация грибовидных сосочков уже исследовались методами корреляции, классической обработки изображений и свёрточных сетей [2,3], однако устойчивость к условиям съёмки остаётся отдельной проблемой. В медицинской визуализации CLAHE часто применяют для локального усиления контраста, а gray-world – для приближённой цветовой постоянности. При этом визуально более однородное изображение не обязательно содержит больше информации для нейронной сети: нормализация может одновременно уменьшить нежелательный фон и ослабить полезные границы.

Целью работы заключается в количественной оценки четырех детерминированных способов фотометрической нормализации, а именно как они изменяют характеристики изображений и точность сегментации малоразмерных объектов при неизменных условиях обучения. Проверялась гипотеза, что снижение неравномерности освещения и цветового дисбаланса улучшит точность границ масок. Основным критерием оценки служил показатель mask mAP50–95, рассчитанный на одной и той же валидационной выборке, что позволило избежать субъективного сравнения изображений. Дополнительно анализировались precision, recall, mask mAP50 и измеримое действие преобразований.

Исходный набор включает 185 изображений поверхности языка разрешением 4592×3056 пикселей и 1143 маски объектов одного класса. До генерации плиток изображения были разделены на 129 обучающих, 27 validation и 29 тестовых; соответствующее число объектов равно 799, 166 и 178. Затем применялось разбиение на плитки 1024 × 1024 пикселя с перекрытием 25%. Обучающая часть содержала 690 сбалансированных положительных и отрицательных плиток, validation – 648 плиток. Тестовые данные не использовались для выбора варианта предобработки и в настоящем сравнении не раскрывались.

Метод gray-world масштабирует цветовые каналы так, чтобы их средние значения сближались. Он основан на предположении о нейтральном среднем отражении сцены [4]. CLAHE выполнялся по каналу яркости и ограничивал локальное усиление гистограммы, снижая риск чрезмерного усиления шума [5]. Для коррекции освещения канал яркости переводился в уменьшенное представление, низкочастотный фон оценивался гауссовым сглаживанием, после чего яркость делилась на оценку фона и нормировалась по её среднему значению. Этот принцип соответствует разделению наблюдаемого сигнала на отражение и освещение в моделях Retinex [6]. Адаптивная цепочка всегда применяла CLAHE, включала коррекцию освещения при повышенном коэффициенте вариации низкочастотного фона и gray-world при выраженном межканальном дисбалансе.

Для каждой плитки вычислялись средняя яркость, стандартное отклонение яркости как показатель контраста, доля пикселей с яркостью не менее 245, разность максимального и минимального средних значений цветовых каналов, а также коэффициент вариации низкочастотного поля освещения. Усреднение выполнялось отдельно внутри каждой части набора. Эти показатели описывают

действие преобразования, но не рассматриваются как самостоятельные критерии качества сегментации.

Для каждого варианта независимо обучалась YOLO11n-seg с предобученными весами. Использовались 10 эпох, batch 8, вход 640 × 640 пикселей и seed 20260815. Геометрия плиток, разбиение и гиперпараметры сохранялись неизменными. Лучшая эпоха выбиралась только по mask mAP50-95 на валидационной выборке. Поскольку выполнен один запуск каждого варианта, различия интерпретируются как предварительные и не используются для утверждений о статистическом превосходстве.

Без предобработки mask precision составила 0,6283, recall – 0,6037, mAP50 – 0,6212 и mAP50-95 – 0,1907. Gray-world дал соответственно 0,6021; 0,5957; 0,5872 и 0,1870. CLAHE повысил recall до 0,6223 и mAP50 до 0,6305, но mAP50-95 снизился до 0,1865. Коррекция освещения с CLAHE обеспечила precision 0,6312, recall 0,5962, mAP50 0,5996 и максимальный mAP50-95 0,1918. Адаптивная цепочка показала 0,6171; 0,5786; 0,5801 и 0,1755. Сравнение приведено на рисунке 1.

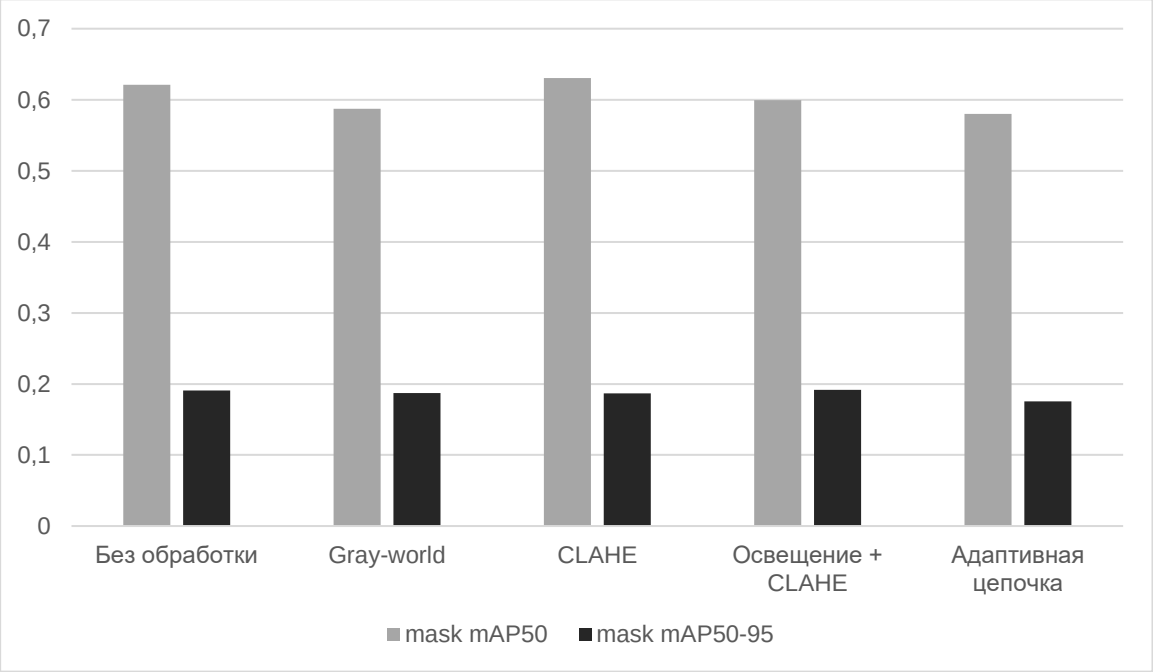


Рисунок 1 – Метрики сегментации для вариантов фотометрической предобработки

На validation-плитках gray-world уменьшил средний дисбаланс каналов с 20,685 до 0,130, практически не изменив контраст и неоднородность освещения. CLAHE повысил контраст с 33,234 до 36,638 и снизил коэффициент вариации фона с 0,323 до 0,276. Коррекция освещения с CLAHE снизила коэффициент вариации до 0,068, но одновременно уменьшила контраст до 22,188. Адаптивная цепочка снизила дисбаланс каналов до 5,226 и коэффициент вариации до 0,076, однако контраст уменьшился до 23,131.

Для рассматриваемого набора базовый вариант без предобработки остаётся обоснованной отправной точкой. CLAHE можно изучать как способ повышения чувствительности обнаружения, но не как доказанное средство уточнения контура. Коррекция освещения требует более мягких параметров или маски области языка, чтобы оценка фона не включала анатомические структуры. Адаптивное правило должно учитывать сохранение локального контраста и включать возможность отказа от обработки. В производственном конвейере целесообразно сохранять исходное изображение и параметры преобразования, чтобы результаты оставались воспроизводимыми.

Сравнение выполнено на одном наборе, одном разбиении, одном seed и десяти эпохах; интервалы неопределённости отсутствуют. Лучший вариант выбран на validation и не подтверждён на тестовой части. Метрики изображения усреднялись по плиткам, поэтому неодинаковое число плиток на исходный кадр может влиять на средние значения. Не выполнялись абляции размера гауссова фильтра, clip limit CLAHE и порогов адаптивного выбора. Нет стандартной цветовой мишени и параметров камеры, следовательно, gray-world оценивает относительное выравнивание, а не физически точную цветопередачу. Для публикационного подтверждения необходимы повторные запуски минимум с тремя seed, попарная оценка на уровне исходных изображений и однократная финальная проверка на test.

Проведено контролируемое сравнение четырёх вариантов фотометрической нормализации при сегментации сосочков языка. Коррекция освещения с CLAHE дала лишь минимальный абсолютный прирост mask mAP50-95 на 0,0011, тогда как адаптивная цепочка, существенно улучшив показатели однородности и цветового баланса, снизила mAP50-95 на 0,0152 относительно исходных данных. Следовательно, выбор предобработки должен определяться метрикой конечной задачи и сохранением локального контраста, а не только визуальной однородностью изображения.

Список использованных источников

1. Naciri L. C., Cabini R. F., Melis M. et al. Automatic Detection of Fungiform Papillae on the Human Tongue via Convolutional Neural Networks and Identification of the Best Performing Model // Computational and Structural Biotechnology Journal. 2025. Vol. 27. P. 1927-1934. DOI: 10.1016/j.csbj.2025.05.014.

2. Cattaneo C., Liu J., Wang C. et al. Comparison of Manual and Machine Learning Image Processing Approaches to Determine Fungiform Papillae on the Tongue // Scientific Reports. 2020. Vol. 10. Art. 18694. DOI: 10.1038/s41598-020-75678-2.

3. Valencia E., Ríos H. V., Verdalet I. et al. Automatic Counting of Fungiform Papillae by Shape Using Cross-Correlation // Computers in Biology and Medicine. 2016. Vol. 76. P. 168-172. DOI: 10.1016/j.compbiomed.2016.07.002.

4. Buchsbaum G. A Spatial Processor Model for Object Colour Perception // Journal of the Franklin Institute. 1980. Vol. 310, No. 1. P. 1-26. DOI: 10.1016/0016-0032(80)90058-7.

5. Zuiderveld K. Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization // Graphics Gems IV / ed. P. S. Heckbert. San Diego: Academic Press, 1994. P. 474-485. DOI: 10.1016/B978-0-12-336156-1.50061-6.

6. Land E. H., McCann J. J. Lightness and Retinex Theory // Journal of the Optical Society of America. 1971. Vol. 61, No. 1. P. 1-11. DOI: 10.1364/JOSA.61.000001.

RESEARCH OF PHOTOMETRIC NORMALIZATION METHODS ON DIGITAL MEDICAL IMAGES UNDER INHOMOGENEOUS ILLUMINATION

E.V Zarov

Samara State Medical University,
Samara, Russia

The effect of deterministic photometric preprocessing on instance segmentation of small lingual papillae was studied. Five variants were compared on a fixed dataset of 185 annotated images and 1,143 polygon masks: unprocessed images, gray-world white balancing, CLAHE, illumination-field correction followed by CLAHE, and an adaptive pipeline. Identical overlapping 1024 × 1024 tiles were generated for every variant, and YOLO11n-seg was trained using the same split, seed 20260815, ten epochs, and a 640 × 640 input. CLAHE increased mask mAP50 from 0.6212 to 0.6305 but reduced mask mAP50-95 from 0.1907 to 0.1865. Illumination correction with CLAHE achieved the highest mask mAP50-95 of 0.1918, an absolute gain of only 0.0011. The adaptive pipeline reduced illumination-field variation and channel imbalance, but also reduced image contrast and mask mAP50-95 to 0.1755. Improved photometric indicators therefore do not necessarily improve segmentation, because aggressive normalization may suppress local boundary cues.

Keywords: digital image processing, lingual papillae, instance segmentation, photometric normalization, CLAHE, gray-world, nonuniform illumination, YOLO11.

УДК 004.932

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПОЛИГОНАЛЬНОЙ РАЗМЕТКИ НА ЦИФРОВЫХ МЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

Е.В. Заров

Самарский государственный медицинский университет,
г. Самара, Россия

В работе предложена система автоматической проверки полигональной разметки малоразмерных объектов на цифровых изображениях. Проверка включает контроль формата разметки, координат и геометрии полигонов, поиск дубликатов, а также выявление объектов с нетипичной площадью с помощью robust

z-score. Исследование проведено на 185 изображениях поверхности языка, содержащих 1143 маски сосочков. Для оценки работы метода было создано 6858 примеров с искусственно внесёнными ошибками шести типов. Исходная разметка при этом оставалась без изменений. Все случаи выхода координат за допустимый диапазон, вырожденные и самопересекающиеся полигоны, а также дубликаты были обнаружены; recall для этих типов ошибок составил 1,000. На исходных полигонах ложных срабатываний геометрической проверки не наблюдалось. Для выявления объектов с нетипичной площадью при пороге robust z-score 1,5 получены precision 0,9548, recall 0,9602 и F1 0,9575. На дополнительную проверку специалистом в этом случае направлялось 9,10% исходных объектов. Полученные результаты показывают, что однозначные ошибки разметки можно выявлять автоматически, тогда как статистически нетипичные объекты требуют экспертной оценки. Такой подход позволяет сократить объём ручной проверки без автоматического исключения потенциально корректных объектов.

Ключевые слова: качество данных, полигональная разметка, сосочки языка, цифровая обработка изображений, контроль аннотаций, robust z-score, синтетические дефекты.

В настоящее время качество размеченных данных определяет не только обучение алгоритма, но и достоверность его последующей оценки. Ошибки в тестовых наборах способны изменять сравнительные выводы о моделях [1], а для биомедицинских изображений проблема усиливается ограниченным объёмом выборок, высокой стоимостью экспертной работы и различностью контуров [2,3]. Для изображений поверхности языка это особенно существенно, так как они занимают малую долю кадра, различаются по форме и размерам, а единичная ошибка координат или масштаба может заметно менять морфометрические показатели. Работы по автоматическому подсчёту сосочков подтверждают зависимость результатов от процедуры формирования эталонной разметки [4, 5]. В связи с этим до обучения модели необходим отдельный этап контроля корректности и правдоподобности масок.

Цель работы состоит в разработке и количественной проверке метода, который автоматически выявляет технические дефекты полигонов и ранжирует нетипичные по масштабу объекты для повторного просмотра. В отличие от подходов, оценивающих метки по ответам уже обученной модели [6], рассматриваемый контроль не требует переобучения и применим до формирования обучающей выборки. Детерминированные нарушения геометрии могут обнаруживаться строгими правилами, тогда как вариативность биологических объектов должна обрабатываться мягким статистическим критерием.

Использовано 185 цифровых изображений поверхности языка одинакового разрешения 4592×3056 пикселей и 185 соответствующих файлов разметки. Набор содержит 1143 объекта одного класса. Координаты полигонов нормированы относительно ширины и высоты изображения. Нормированная площадь изменяется от $3{,}849 \cdot 10^{-6}$ до $2{,}981 \cdot 10^{-4}$, медиана равна $2{,}494 \cdot 10^{-5}$. Первичный аудит не выявил отсутствующих пар изображение-разметка, вырожденных полигонов или точных дубликатов. Эти контуры использованы как исходная референсная

группа для технического эксперимента. Их клиническая и межэкспертная истинность отдельно не утверждается.

После чтения класса и координат из замкнутого контура удаляется дублирующая вершина, если последняя точка совпадает с первой. После этого выполняется топологическая проверка. Затем проверяются число вершин, конечность чисел, принадлежность координат интервалу от 0 до 1, ненулевая площадь, пересечение несмежных рёбер и точное совпадение полигонов. Требования к простому полигону согласуются с моделью Simple Features [7]. Площадь вычисляется формулой Гаусса. Для статистического контроля используется

$$r = \frac{|lnA - med(lnA)|}{1{,}4826 \cdot MAD(lnA)},$$

где A – нормированная площадь, med – медиана, MAD – медианное абсолютное отклонение. Такой показатель устойчивее среднего значения и стандартного отклонения при асимметричном распределении размеров [8]. Общая схема приведена на рисунке 1.

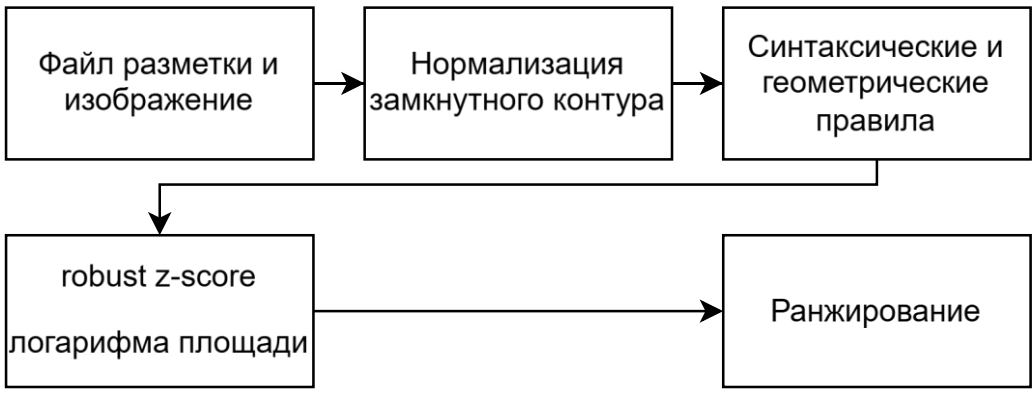


Рисунок 1 – Последовательность автоматизированного контроля полигональной разметки

Для каждого из 1143 исходных полигонов формировалось по шесть вариантов с искусственно внесёнными ошибками. Проверялись следующие случаи: выход координаты за допустимый диапазон, вырождение полигона в одну точку, самопересечение и полное дублирование контура. Ещё два варианта создавались изменением размера полигона относительно его центра: исходный контур уменьшали в 10 раз или увеличивали в 3 раза. Всего было получено 6858 примеров с искусственно внесёнными дефектами, без внесения изменений в исходные файлы и маски. Для первых четырёх типов ошибок проверялось, насколько надёжно заданные правила позволяют их обнаружить. Для полигонов с изменённым размером значение порога r изменялось от 1,5 до 4,5 с шагом 0,25. Для каждого значения рассчитывались precision, recall, F1-мера, а также доля исходных объектов, для которых система выдала предупреждение. Искусственное внесение ошибок позволяет проверить работу метода на заранее известных типах дефектов, поскольку для каждого такого примера заранее известно, содержит он ошибку или нет. Вместе с тем такая проверка не заменяет оценку на реальных данных с ошибками, подтверждёнными экспертами.

Проверка обнаружила все искусственно внесённые ошибки: по 1143 случая выхода координаты за допустимый диапазон, вырождения полигона, самопересечения и дублирования. Для каждого типа ошибок recall составил 1. На исходных полигонах ложных срабатываний не наблюдалось. Отдельно проверялось влияние повторения первой вершины в конце замкнутого контура. Если такую вершину не удалять перед геометрической проверкой, большинство корректных полигонов ошибочно определяются как дефектные. Удаление повторяющейся вершины устраняет эти ложные срабатывания, поэтому данная операция выполняется до проверки геометрии и топологии контура.

Максимальный F1 для двух масштабных дефектов получен при r = 1,5: precision = 0,9548, recall = 0,9602, F1 = 0,9575. Все уменьшенные в 10 раз контуры и 92,04% увеличенных в 3 раза были выявлены. Одновременно 9,10% исходных объектов получили предупреждение. При r = 2,0 доля предупреждений снизилась до 2,01%, precision выросла до 0,9887, но recall уменьшилась до 0,8819. Порог r = 3,0 исключил ложные предупреждения в референсной группе и сохранил recall 0,9930 для уменьшенных объектов, однако обнаружил только 37,01% увеличенных; общий F1 снизился до 0,8106.

Полученные результаты показывают, что проверки целесообразно разделить на два этапа. На первом выявляются однозначные ошибки, при наличии которых файл не должен передаваться на дальнейшую обработку. На втором определяются объекты с нетипичными характеристиками, которые требуют дополнительной проверки специалистом. При значении 1,5 выявляется больше потенциально ошибочных объектов, однако специалисту приходится дополнительно просматривать около 10 % исходной выборки. Повышение порога до 2,0 сокращает число таких объектов более чем в четыре раза, при этом F1 остаётся выше 0,93. При пороге 3,0 обнаруживаются преимущественно наиболее выраженные отклонения размеров, поэтому такое значение подходит только для выявления грубых ошибок.

Автоматическое удаление объектов по статистическим критериям в данном случае не применяется, поскольку необычно крупный или малый сосочек может отражать реальную биологическую изменчивость, а не ошибку разметки. Такие объекты передаются специалисту для дополнительной проверки. Это позволяет сосредоточить экспертную оценку на случаях с наиболее высокой вероятностью ошибки.

Разработан воспроизводимый метод автоматизированного контроля полигональной разметки медицинских цифровых данных, не требующий увеличения набора данных или переобучения сегментационной сети. Строгие правила полностью обнаружили четыре класса синтетических геометрических дефектов. Робастный контроль логарифма площади при пороге 1,5 обеспечил F1 0,9575 для масштабных искажений и направил на проверку 9,10% исходных объектов. Метод предназначен для приоритизации экспертной работы и сохранения аудируемой истории исправлений; окончательное решение о корректности биологически нетипичных объектов остаётся за специалистом.

Список использованных источников

1. Northcutt C. G., Athalye A., Mueller J. Pervasive Label Errors in Test Sets Destabilize Machine Learning Benchmarks // Advances in Neural Information Processing Systems. 2021. Vol. 34. P. 1902–1915.

2. Karimi D., Dou H., Warfield S. K., Gholipour A. Deep Learning with Noisy Labels: Exploring Techniques and Remedies in Medical Image Analysis // Medical Image Analysis. 2020. Vol. 65. Art. 101759. DOI: 10.1016/j.media.2020.101759.

3. Maier-Hein L. et al. Labelling Instructions Matter in Biomedical Image Analysis // Nature Machine Intelligence. 2023. Vol. 5. P. 273–283. DOI: 10.1038/s42256-023-00625-5.

4. Cattaneo C., Liu J., Wang C. et al. Comparison of Manual and Machine Learning Image Processing Approaches to Determine Fungiform Papillae on the Tongue // Scientific Reports. 2020. Vol. 10. Art. 18694. DOI: 10.1038/s41598-020-75678-2.

5. Naciri L. C., Cabini R. F., Melis M. et al. Automatic Detection of Fungiform Papillae on the Human Tongue via Convolutional Neural Networks and Identification of the Best Performing Model // Computational and Structural Biotechnology Journal. 2025. Vol. 27. P. 1927–1934. DOI: 10.1016/j.csbj.2025.05.014.

6. Budd S. et al. Active Label Cleaning for Improved Dataset Quality under Resource Constraints // Nature Communications. 2022. Vol. 13. Art. 1161. DOI: 10.1038/s41467-022-28818-3.

7. Open Geospatial Consortium. Simple Feature Access – Part 1: Common Architecture. Version 1.2.1. OGC 06-103r4. 2011.

8. Iglewicz B., Hoaglin D. C. How to Detect and Handle Outliers. Milwaukee: ASQC Quality Press, 1993. 87 p.

DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR AUTOMATED QUALITY CONTROL OF POLYGONAL MARKING ON DIGITAL MEDICAL IMAGES

E.V Zarov

Samara State Medical University,
Samara, Russia

A reproducible system is proposed for automated quality control of polygon annotations of small objects in digital images. It combines format constraints, coordinate and topology checks, exact-duplicate detection, and statistical scale control based on a robust z-score of log-normalized area. The study used 185 tongue-surface images containing 1,143 papilla masks. Without modifying the original annotations, 6,858 controlled synthetic defects of six types were generated. Out-of-range coordinates, degenerate and self-intersecting polygons, and exact duplicates were detected with a recall of 1.000 and no geometric false alarms on the original contours. At a robust z-score threshold of 1.5, the scale-control module achieved a precision of 0.9548, recall of 0.9602, and F1 of 0.9575, while referring 9.10% of the original objects for expert review. Strict validation rules should be separated from statistical outlier ranking; automated warnings should prioritize manual review rather than delete annotations.

Keywords: data quality, polygon annotation, lingual papillae, digital image processing, annotation control, robust z-score, synthetic defects.

УДК 621.983: 330.111.4

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ХОЛОДНОЙ ОБЪЁМНОЙ ШТАМПОВКИ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

И.В. Зверев, В.С. Новоселов

ПАО «Императорский Тульский оружейный завод», г. Тула, России

Статья посвящена применению конечно-элементного моделирования при проектировании технологии объёмной штамповки. Показано, почему традиционная схема с доводкой оснастки «по месту» экономически невыгодна, и описана методика построения расчётной модели холодного обратного выдавливания: от подготовки геометрии и свойств материала до задания условий трения и построения сетки. Отмечены основные источники погрешности.

Ключевые слова: конечно-элементное моделирование, обратное выдавливание, холодная объёмная штамповка, усилие, адаптивное перестроение сетки, напряжённое состояние.

Проектирование технологии объёмной штамповки традиционно опиралось на инженерные методики расчёта усилий (метод баланса работ, метод линий скольжения, метод верхней оценки) с последующей натурной отладкой штамповой оснастки [1-2]. Стоимость одного комплекта оснастки для холодного выдавливания составляет, в зависимости от габаритов, от 250 до 600 тыс. руб., а число итераций доводки при отсутствии предварительного анализа достигает трёх-четырёх. Численное моделирование методом конечных элементов позволяет перенести эти итерации в вычислительный эксперимент, где стоимость одной итерации определяется лишь машинным временем (обычно от 20 минут до 6 часов на осесимметричной или трёхмерной задаче) и трудозатратами расчётчика.

Программный комплекс DEFORM относится к специализированным пакетам лагранжева типа с неявной схемой интегрирования и автоматическим перестроением сетки. Его отличительной чертой является жёсткопластическая постановка, в которой упругие деформации заготовки исключаются из рассмотрения, что радикально повышает устойчивость счёта при больших степенях деформации. Целью настоящей работы является изложение практической методики построения расчётной модели и оценка достоверности получаемых результатов при решении типовой задачи холодного обратного выдавливания. Технология объёмной штамповки долгое время развивалась по схеме «расчёт по справочнику - изготовление штампа - доводка по месту». Такая схема работоспособна, но дорога: каждая переделка оснастки означает недели простоя и суммы, сопоставимые со стоимостью нового комплекта. Причина не в низкой квалификации технологов, а в природе самой задачи. Металл при штамповке течёт по законам, которые невозможно предсказать «в голове»: он огибает препятствия, застаивается в углах, разгоняется в узких зазорах, разогревается от собственной деформации и по-разному ведёт себя в зависимости от того, насколько хорошо смазана поверхность. Справочная методика даёт одну цифру - усилие. Она ничего не

говорит о том, где именно металл не дойдёт до угла ручья, где появится трещина и почему пуансон разрушится на трёхсотой детали вместо расчётных десяти тысяч.

Компьютерное моделирование решает именно эту задачу: оно превращает штамповку из непрозрачного процесса в наблюдаемый. Технолог получает возможность «разрезать» заготовку в любой момент хода пресса и посмотреть, что происходит внутри. Программный комплекс DEFORM - один из двух-трёх пакетов мирового уровня, специализированных именно на обработке металлов давлением, и в отечественной практике он делит рынок с системой QForm [3-6].

Виртуальная модель штамповки собирается из тех же элементов, что и реальная технологическая карта, только описанных на языке, понятном программе. Первый элемент – это геометрия. В программу загружаются трёхмерные модели заготовки, пуансона, матрицы, выталкивателя, прижимов. Геометрию обычно готовят в CAD-системе и передают через нейтральные форматы. Важная деталь: инструмент в базовом расчёте считается абсолютно жёстким, он только задаёт границы, в которых течёт металл. Это допущение экономит огромное количество машинного времени и почти не влияет на результат по формоизменению, поскольку упругие деформации штампа на два порядка меньше пластических деформаций заготовки.

Второй элемент - свойства материала. Здесь начинается первая зона риска. Металл в процессе штамповки не остаётся тем же металлом, каким был исходно: он упрочняется, то есть сопротивляется деформации всё сильнее по мере её накопления. Отожжённая сталь, которая в начале процесса течёт легко, к концу выдавливания становится вдвое-втрое «жёстче». Если задать в модели только исходный предел текучести из сертификата на металл, расчёт покажет усилие в разы меньше действительного. Поэтому материал описывается не одним числом, а семейством кривых упрочнения, полученных испытаниями при разных температурах и скоростях деформирования. В DEFORM есть встроенная библиотека таких данных для распространённых сталей и сплавов, но для ответственных расчётов кривые получают на собственных образцах - характеристики одной и той же марки стали от разных поставщиков могут различаться на 10–15 %. Третий элемент - условия на контакте металла с инструментом, то есть трение. Это вторая и, пожалуй, главная зона риска. Трение при штамповке нельзя измерить напрямую, его определяют косвенно - чаще всего осадкой кольцевого образца: по тому, как ведёт себя отверстие кольца при сжатии, судят о величине трения на торцах. Разница между хорошо и плохо смазанной поверхностью меняет расчётное усилие на десятки процентов и заметно меняет форму получаемой детали.

Четвёртый элемент - кинематика и температурные условия. Задаётся тип оборудования, скорость движения инструмента, начальная температура заготовки и штампа, условия теплообмена с воздухом и с инструментом. Этого достаточно, чтобы разрушилось смазочное покрытие, и трение резко выросло прямо в процессе штамповки. Пятый элемент - сетка. Расчётная область разбивается на множество мелких ячеек, и качество этого разбиения определяет достоверность результата. Правило простое: там, где металл течёт интенсивно, и геометрия имеет мелкие подробности - радиусы скруглений, узкие зазоры, тонкие полотна - сетка должна быть заметно плотнее. Экономия на сетке в

критических зонах приводит к тому, что программа «не видит» ни возникающего заусенца, ни зарождающейся складки. При этом DEFORM в процессе счёта многократно перестраивает сетку заново, поскольку исходное разбиение при больших деформациях полностью теряет форму - ячейки вытягиваются и выворачиваются. Это автоматическая процедура, но у неё есть цена: при каждой перестройке накопленная информация переносится на новую сетку с небольшой потерей точности, и слишком частое перестроение «размазывает» картину.

Список использованных источников

1. Проектирование технологических процессов механической обработки в машиностроении: Учеб. пособие / В. В. Бабук, В. А. Шкред, Г. П. Кривко, Л. И. Медведев; Под. ред. В. В. Бабука .Высш. шк., 1987, с. 255.

2. Справочник технолога - машиностроителя. / Под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. М.: Машиностроение, 1985. Т.1. 656 с., 496 с.

3. Кухарь, В. Д. Получение оболочек с внешними рифлями волочением трубчатых заготовок / В. Д. Кухарь, С. С. Яковлев, А. А. Шишкина // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2025. № 3. С. 174-178.

4. Ващенко А.И., Касьянова И.В. Улучшение качества деталей с помощью анализа технологического процесса при их получении методом штамповки // Евразийское пространство: экономика, право, общество. ГБУН «Юго-Осетинский научно-исследовательский институт». 2025. № 3. С. 12-14.

5. Вобликов, Г. А. Определение влияния температуры штампового инструмента на процесс холодной листовой штамповки / Г. А. Вобликов, С. С. Яковлев // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2025. № 9. С. 328-332. EDN WJOQEB.

6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025663482 Российская Федерация. Программа для расчета экономической эффективности штамповочного производства : заявл. 12.05.2025 : опубл. 28.05.2025 / А. А. Шишкина, С. С. Яковлев, Д. Т. Бунтури, С. Д. Шеховцов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет».

COMPUTER SIMULATION OF COLD BULK STAMPING PROCESSES BY THE FINITE ELEMENT METHOD

I.V. Zverev, V.S. Novoselov

Imperial Tula Arms Factory,
Tula, Russia

The article is devoted to the application of finite element modeling in the design of volumetric stamping technology. It is shown why the traditional scheme with on-site tooling refinement is economically unprofitable, and the methodology for constructing a computational model of cold reverse extrusion is described: from preparing geometry and material properties to setting friction conditions and constructing a grid. The main sources of error are noted.

Keywords: finite element modeling, reverse extrusion, cold volumetric stamping, force, adaptive mesh reconstruction, stress state.

УДК 378.1; 004.9

РОЛЬ ЭЛЕКТРОННОГО ОБУЧЕНИЯ В ЛИНГВОКУЛЬТУРНОЙ АДАПТАЦИИ ИНОСТРАННЫХ СТУДЕНТОВ

Е.Ю. Зимина, А.Г. Фурин

Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола, Россия

В статье рассматривается проблема лингвокультурной адаптации иностранных обучающихся в российских вузах. Цель работы заключается в исследовании потенциала электронного обучения (e-learning) как инструмента лингвокультурной и прагматической адаптации иностранных студентов. На основе анализа научных исследований раскрывается роль e-learning в прагматической локализации академического дискурса. В результате исследования выделена и проранжирована иерархия из четырех ключевых функций электронной среды, подкрепленная примерами их практической реализации в учебном процессе.

Ключевые слова: электронное обучение, лингвокультурная адаптация, прагматическая локализация, иностранные студенты, цифровая образовательная среда.

В условиях стремительной технологической трансформации и цифровизации высшего образования возникает острая необходимость пересмотра традиционных подходов к изучению и организации учебного процесса. «Совершается цифровая революция, трансформирующая содержание, формы, технологии, организацию, социальную мотивацию образовательного процесса, его целеполагание и приоритеты».

При этом развитие высшего образования неразрывно связано с процессами интернационализации. Как подчеркивают исследователи, миграционные процессы в сфере образования играют ключевую роль в решении актуальных проблем подготовки будущей интеллектуальной и технологической элиты. В условиях кратного увеличения контингента иностранных учащихся становится очевидным, что классические, сугубо аудиторные форматы педагогического взаимодействия не способны в полной мере обеспечить эффективную лингвокультурную адаптацию. Возникающие коммуникативные барьеры требуют внедрения более технологичных и гибких решений, направленных на «совершенствование условий пребывания в Российской Федерации иностранных студентов, их социально-культурной адаптации, медицинского страхования, обеспечения безопасности».

В фокусе настоящего исследования находится электронное обучение (e-learning), которое позиционируется как мощный системный механизм, позволяющий целенаправленно преодолевать прагматические диссонансы и культурные разрывы. «Под электронным обучением понимается организация образовательной деятельности с применением содержащейся в базах данных и используемой при реализации образовательных программ информации и обеспечивающих ее обработку информационных технологий, технических средств, а также информационно-телекоммуникационных сетей, обеспечивающих передачу по линиям

связи указанной информации, взаимодействие обучающихся и педагогических работников».

Для иностранных обучающихся, находящихся на начальном этапе инкультурации, наиболее продуктивной и научно обоснованной признается модель смешанного обучения (blended learning). В современных условиях «главный аспект развития современного общества – это выйти за рамки закрытой системы образования и создать гибкую, мобильную, открытую образовательную среду, использующую гаджеты, электронные образовательные ресурсы и системы управления». Интеграция традиционных очных встреч и виртуальной образовательной среды создает оптимальный лингводидактический баланс: если работа в аудитории направлена на живую социализацию и непосредственную коррекцию фонетико-артикуляционных навыков, то цифровая платформа выступает безопасным пространством для вдумчивого освоения сложного терминологического аппарата и прагматических норм высшей школы. При этом меняется сама роль педагога, поскольку «преподаватель перестает быть центром образовательного процесса и главным источником информации, его основная задача ввести в систему обучения методологию освоения нового знания».

Следовательно, трансформация цифровой инфраструктуры университета позволяет переосмыслить роль электронной среды: из пассивного архива учебно-методических материалов она эволюционирует в проактивный адаптивный комплекс. Важно отметить, что задачей современного образования является «формирование поликультурной личности, готовой к реализации межкультурных задач в ходе профессиональной деятельности». Эффективная реализация этого процесса требует опоры на специально организованные компоненты университетской среды, включая поликультурных преподавателей университета, поликультурно ориентированных студентов, а также профильные центры, выполняющие консультативную, мировоззренческую и коммуникативную функции.

Целенаправленное использование e-learning в поликультурном вузовском пространстве позволяет реализовать комплекс специфических функций. В рамках данного исследования они проранжированы в порядке их фундаментальной значимости для успешной лингвокультурной адаптации иностранного обучающегося – от обеспечения базовой психологической безопасности до встраивания в жесткую нормативную систему университета.

1. Функция снижения лингвокультурного и коммуникативного стресса (наивысший приоритет, так как психологическая безопасность является первичным условием любой когнитивной деятельности). Выступления у доски, устные ответы на семинарах и спонтанные диалоги с преподавателями в условиях языковой недостаточности часто провоцируют у иностранных граждан сильный психологический барьер и так называемый «коммуникативный шок». Электронная среда выступает в качестве безопасного, психологически комфортного «буфера». Прохождение промежуточных тестов в LMS, выполнение письменных заданий с автоматизированной обратной связью позволяют иностранному студенту формулировать свои мысли без страха совершить мгновенную лингвистическую ошибку на глазах у академической группы. Это минимизирует уровень тревожности и способствует более мягкой адаптации к вузовскому дискурсу.

Практическим примером реализации данной функции служит замена устного доклада перед аудиторией подготовкой видеопрезентации или участием в онлайн-семинаре. Подобный формат предоставляет обучающемуся право воспользоваться справочной литературой, тщательно выверить грамматические конструкции и преодолеть страх публичной ошибки, постепенно формируя психологическую готовность к очным выступлениям.

2. Функция контекстуальной визуализации скрытых смыслов и сложных понятий (второй уровень приоритета: после снятия стресса необходимо прозрачно объяснить новые прагматические правила). Текстовые дескрипторы и словарные денотаты часто маскируют реальные поведенческие паттерны принимающей академической культуры. Технологии электронного обучения позволяют преодолеть этот барьер за счет мультимедийной визуализации. Скрытые прагматические правила, конвенции и алгоритмы прохождения контроля переводятся из линейного текста в интерактивные когнитивные карты, инфографику и структурированные видеоинструкции. Вместо сухого текстового регламента в электронном обучении создается визуальный навигатор учебного процесса, где каждый шаг (например, от получения допуска до выставления баллов) наглядно декомпозирован и снабжен прагматическим комментарием, что исключает ложные аналогии с зарубежными системами. В качестве примера можно привести цифровизацию процедуры «отработки пропущенного занятия». Вместо объемного текстового регламента на портале размещается интерактивная блок-схема, отображающая последовательность действий от заполнения электронного заявления до финального диалога с преподавателем. При наведении курсора на каждый этап всплывают микро-подсказки с речевыми клише (например, как корректно и вежливо обратиться к преподавателю в электронном письме), что превентивно устраняет риск прагматической неудачи.

3. Функция асинхронного коммуникативного взаимодействия (третий уровень: предоставление времени на усвоение визуализированных правил и языкового контента). В условиях традиционного аудиторного обучения иностранный студент испытывает значительную когнитивную перегрузку, вызванную необходимостью синхронно выполнять две сложные операции: декодировать быстро звучащую русскую речь преподавателя и усваивать сложный предметный контент дисциплины. Асинхронный характер коммуникации в LMS (через специализированные форумы, интерактивные базы данных и управляемые модули) предоставляет обучающемуся необходимый временной ресурс. Студент получает возможность изучать учебные материалы, локализованные инструкции и административные требования в индивидуальном темпе, многократно возвращаясь к сложным фрагментам и используя встроенные цифровые инструменты перевода, что повышает его лингвистическую автономию. Иллюстрацией данной функции является использование предзаписанных видеолекций, снабженных интерактивными субтитрами и гиперссылками на глоссарий. Студент может остановить трансляцию, перевести сложный термин, ознакомиться с конспектом в прикрепленном PDF-файле и задать уточняющий вопрос в чате курса, не прерывая ход очного занятия для всей группы.

4. Функция этноориентированной навигации и интерфейсной кастомизации (четвертый уровень: встраивание обучающегося в организационные и

временные рамки принимающего вуза). Цифровая платформа позволяет адаптировать саму траекторию представления информации под специфические особенности восприятия различных групп учащихся. Поскольку зарубежные когнитивные модели часто предполагают полную учебную автономию, иностранцы в России нередко игнорируют текущую работу, рассчитывая сдать все в конце семестра. Функция автоматических уведомлений, шкал прогресса выполнения заданий и модульных барьеров в LMS позволяет осуществлять этноориентированное проектирование интерфейсов. Цифровая среда принудительно, но деликатно перестраивает речемыслительный и поведенческий алгоритм студента под требования высшей школы, визуализируя систему дедлайнов и предотвращая накопление академических задолженностей. Наглядным примером служит настройка системы управления обучением (например, Moodle) для студентов из стран с полихронной культурой, где дедлайны зачастую воспринимаются гибко. Платформа программируется на каскадную рассылку автоматических push-уведомлений и цветовую маркировку заданий по мере приближения срока сдачи, при этом доступ к следующему модулю блокируется до успешного завершения текущего. Это формирует жесткий, но методически оправданный навык регулярной самостоятельной работы.

Реализация вышеописанного функционала наглядно доказывает, что e-learning успешно компенсирует первоначальную нехватку языковых компетенций. Виртуальная среда эффективно снимает излишнее когнитивное и эмоциональное напряжение, выстраивая для обучающегося надежный, защищенный образовательный маршрут. Тем самым иностранный студент получает своеобразную страховку от прагматических сбоев на критически важном этапе инкорпорации в систему российского высшего образования.

Таким образом, органичный синтез принципов прагматической локализации с технологическим потенциалом цифровых платформ позволяет преобразовать потенциально «конфликтогенную» среду в интуитивно понятное, пошагово освоенное пространство. Каждое действие и каждый термин в такой экосистеме прозрачны и снабжены необходимыми прагматическими ключами. Подобная превентивная работа по предотвращению коммуникативных рисков напрямую способствует росту академической успеваемости иностранных граждан, гарантируя высокое качество образовательных проектов современного университета.

Список использованных источников

1. Об образовании в Российской Федерации: Федеральный закон от 29 декабря 2012 года № 273-ФЗ. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_140174/ (дата обращения: 13.08.2026). – Текст: электронный.

2. Аетдинова Р. Р. Потенциал поликультурного цифрового образовательного пространства вуза в условиях цифровизации / Р. Р. Аетдинова // Концепт. – 2024. – № 5. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/potentsial-polikulturnogo-tsifrovogo-obrazovatelnogo-prostranstva-vuza-v-usloviyah-tsifrovizatsii (дата обращения: 13.08.2026).

3. Гамбеева Ю. Н. Развитие электронного обучения как новой модели образовательной среды / Ю. Н. Гамбеева, Е. И. Сорокина // КЭ. – 2018. – № 3. –

URL: https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-elektronnogo-obucheniya-kak-novoy-modeli-obrazovatelnoy-sredy (дата обращения: 13.08.2026).

4. Колесникова Е. Ю. Цифровая революция в образовании: возможности и риски для классических университетов / Е. Ю. Колесникова // Научная мысль Кавказа. – 2022. – № 1 (109). – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovaya-revolyutsiya-v-obrazovanii-vozmozhnosti-i-riski-dlya-klassicheskih-universitetov (дата обращения: 13.08.2026).

5. Мягкова С. В. Миграционные процессы в сфере образования: современные подходы и пути их развития в России / С. В. Мягкова, Е. Н. Хазов // Государственная служба и кадры. – 2024. – № 3. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/migratsionnye-protsessy-v-sfere-obrazovaniya-sovremennye-podhody-i-puti-ih-razvitiya-v-rossii (дата обращения: 13.08.2026).

THE ROLE OF E-LEARNING IN THE LINGUISTIC AND CULTURAL ADAPTATION OF INTERNATIONAL STUDENTS

E.Yu. Zimina, A.G. Furin

Volga State University of Technology,
Yoshkar-Ola, Russia

The article examines the problem of linguistic and cultural adaptation of international students in Russian universities. The purpose of the work is to investigate the potential of e-learning as a tool for the linguistic, cultural, and pragmatic adaptation of international students. Based on the analysis of scientific research, the role of e-learning in the pragmatic localization of academic discourse is revealed. As a result of the study, a hierarchy of four key functions of the electronic environment was identified and ranked, supported by examples of their practical implementation in the educational process.

Keywords: E-learning (electronic learning), linguistic and cultural adaptation, pragmatic localization, international students, digital educational environment.

УДК 004.93

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

М.Е. Иванов, А.В. Корецкий

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения,
г. Санкт-Петербург, Россия

В статье рассматривается использование компьютерного зрения на производстве, где результат анализа изображения должен быть получен непосредственно в процессе работы линии. Основное внимание уделено сверточным сетям и трем детекторам объектов – YOLO, SSD и Faster R-CNN. Их различия

рассматриваются с точки зрения устройства моделей, скорости обработки и точности.

Ключевые слова: компьютерное зрение, производственные процессы, контроль качества, искусственный интеллект.

На производственной линии контроль качества приходится выполнять без остановки самого процесса. Если изделие движется по конвейеру, задержка между получением кадра и обнаружением дефекта становится таким же важным параметром, как и точность модели. В типичной системе камера получает изображение, после чего оно передается вычислительному модулю для анализа. Результат может использоваться оператором или передаваться дальше в систему управления.

На итоговый результат влияет не только нейронная сеть. Имеют значение освещение, качество камеры, разрешение кадра и возможности вычислительного устройства. Даже хорошо обученный детектор может работать нестабильно, если объект плохо виден на исходном изображении. Далее рассматриваются CNN и три подхода к обнаружению объектов: YOLO, SSD и Faster R-CNN.

1. Сверточные нейронные сети (CNN).

CNN широко используются для анализа изображений благодаря способности самостоятельно выделять признаки из обучающих примеров. В классических методах разработчику приходилось заранее определять, какие границы, контуры или текстуры нужно искать. В нейронной сети эти признаки формируются в ходе обучения. Это удобно для производственных изображений, где один и тот же объект может немного отличаться по освещению, положению или фону.

Обработка изображения в CNN идет от простых признаков к более сложным. В начале сети выделяются линии, границы и участки текстуры; последующие слои комбинируют их и получают более содержательные структуры. Операции Pooling уменьшают пространственный размер карт признаков, за счет чего последующие вычисления становятся компактнее. В зависимости от задачи итоговое представление используется для классификации или передается детектору.

Именно CNN лежат в основе рассматриваемых далее детекторов. При этом YOLO, SSD и Faster R-CNN по-разному организуют поиск объектов. Поэтому при одинаковой задаче они могут заметно различаться по времени обработки кадра и качеству локализации.

2. YOLO (You Only Look Once).

Главное отличие YOLO связано с одноэтапной схемой обнаружения. Модель за один проход получает координаты предполагаемых объектов и их классы. Для линии, где кадры поступают один за другим, такой вариант удобен прежде всего из-за небольшой задержки обработки.

На выходе сети для найденных объектов задаются ограничивающие рамки, классы и значения уверенности. Если несколько рамок относятся к одному объекту, лишние варианты удаляются. В результате система получает набор обнаружений для конкретного кадра.

На производстве YOLO можно использовать для проверки наличия деталей, маркировки, поверхностных дефектов и отдельных операций сборки. Здесь

особенно важна возможность быстро обработать последовательность кадров. Если же объект небольшой и ошибка его обнаружения критична, одной высокой скорости недостаточно – приходится учитывать и точность локализации.

3. SSD (Single Shot MultiBox Detector).

SSD сохраняет одноэтапную схему, но использует несколько уровней карт признаков. На более подробных картах сеть работает с небольшими объектами, тогда как крупные объекты определяются на уровнях с меньшим разрешением. За счет этого один детектор может учитывать объекты разных размеров.

Для производственного контроля такая схема удобна, когда на одном изображении встречаются детали разного размера. Небольшой компонент и крупный узел требуют разного уровня детализации, поэтому использование нескольких карт признаков дает SSD больше возможностей при обработке одного кадра.

По вычислительной нагрузке SSD обычно рассматривают как промежуточный вариант между быстрыми одноэтапными моделями и двухэтапными детекторами. На практике при его выборе приходится учитывать разрешение входного изображения и размеры объектов, которые требуется находить.

4. Faster R-CNN (Region-based Convolutional Neural Network).

В Faster R-CNN поиск организован иначе. Сначала Region Proposal Network формирует набор областей-кандидатов. Затем каждая из выбранных областей проходит дополнительную обработку, в ходе которой уточняются класс и положение объекта. Два последовательных этапа увеличивают вычислительную нагрузку.

Такое разделение дает больше времени на анализ каждого найденного кандидата. Это может быть полезно при небольших объектах или сложном фоне, где требуется аккуратная локализация. Обратная сторона очевидна: обработка одного изображения занимает больше времени.

Для непрерывного видеопотока такая схема подходит не всегда. При ограниченных ресурсах увеличение времени обработки быстро становится заметным. Поэтому Faster R-CNN разумно использовать в случаях, когда приоритетом является качество обнаружения, а небольшая задержка приемлема.

У трех моделей нет универсального преимущества. Быстрый детектор удобнее для непрерывного потока, а более сложная архитектура может оказаться полезнее при контроле небольших или трудных для локализации объектов. Поэтому сравнивать их только по одному показателю некорректно.

Таблица1 – Сравнительный анализ точности

Алгоритм	Средняя точность (mAP)	Скорость обработки (FPS)	Особенности применения
YOLO	60–70 %	120–150	Высокая скорость обработки, подходит для работы в режиме реального времени

Алгоритм	Средняя точность (mAP)	Скорость обработки (FPS)	Особенности применения
Faster R-CNN	75–90 %	8–15	Высокая точность обнаружения, используется при высоких требованиях к качеству контроля
SSD	60–75 %	40–60	Компромисс между скоростью обработки и точностью обнаружения объектов

Таблица показывает ожидаемую разницу между архитектурами: YOLO имеет наибольшую скорость обработки, SSD занимает промежуточное положение, а Faster R-CNN уступает им по FPS, но дает более высокий показатель mAP в приведенных данных. При этом прямое сравнение этих чисел требует осторожности. В исходном материале не указаны единый набор данных, модель видеокарты, разрешение изображения и версии детекторов, поэтому значения следует воспринимать как ориентировочные, а не как результат единого эксперимента.

Список использованных источников

1. Bondar, K. Challenges and Opportunities of Industry 4.0 – Spanish Experience / K. Bondar // International Journal of Innovation, Management and Technology. – 2018. – Vol. 9, No. 5. – P. 202–208. – DOI: 10.18178/IJIMT.2018.9.5.814. – Текст: непосредственный.

2. Шапиро, Л. Компьютерное зрение / Л. Шапиро, Дж. Стокман. – Москва : Бином. Лаборатория знаний, 2006. – 752 с. : ил. ; 24 см. – Библиогр. в конце глав. – ISBN 5-94774-384-1. – Текст: непосредственный.

3. Багаев, И. И. Анализ понятий нейронная сеть и сверточная нейронная сеть, обучение сверточной нейросети при помощи модуля TensorFlow / И. И. Багаев // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. – 2020. – Т. 8, № 1. – С. 15–22. – Библиогр.: с. 22. – Текст: непосредственный.

4. Молотков, А. А. О разработке и применении программной платформы машинного зрения для различных лазерных технологий / А. А. Молотков, О. Н. Третьякова, Д. Н. Тужилин // Научная визуализация. – 2022. – Т. 14, № 5. – С. 108–118. – Библиогр.: с. 117–118. – Текст: непосредственный.

USE OF COMPUTER VISION FOR MONITORING INDUSTRIAL PROCESSES

M.E. Ivanov, A.V. Koretsky

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg, Russia

The paper considers the use of computer vision in industrial inspection, focusing on CNN-based object detection and three architectures: YOLO, SSD, and Faster R-CNN. Their main differences are discussed in terms of detection accuracy, processing speed, and practical use.

Key words: computer vision, industrial processes, quality control, artificial intelligence.

УДК 004.89:004.912

ПРИМЕНЕНИЕ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ЗАДАЧ ОБРАБОТКИ ТЕКСТА

М.Е. Иванов, А.В. Корецкий

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, г. Санкт-Петербург, Россия

Статья посвящена применению больших языковых моделей (Large Language Models, LLM) для автоматизации обработки текстовой информации. Рассматриваются особенности токенизации текста с использованием BPE и WordPiece, способы адаптации моделей с помощью PEFT и LoRA, а также применение архитектуры Retrieval-Augmented Generation (RAG) при работе с внешними источниками данных. Отдельное внимание уделено проблеме галлюцинаций и необходимости проверки сформированного результата.

Ключевые слова: большие языковые модели, обработка текста, автоматизация, NLP, токенизация, BPE, WordPiece, PEFT, LoRA, RAG, галлюцинации.

В условиях стремительного роста объема цифровой информации отдельное внимание уделяется большим языковым моделям (Large Language Models, LLM), которые позволяют автоматизировать различные операции с текстом. Такие модели используются для анализа документов, определения их содержания, извлечения необходимых сведений и формирования текста на основе заданных условий. Особенность LLM заключается в том, что одна модель может использоваться для разных задач в зависимости от инструкции и переданного контекста [1].

Рост количества электронных документов усложняет их ручную обработку. Это особенно заметно при работе с обращениями пользователей, отчетами и другими неструктурированными материалами, где нужные сведения приходится искать непосредственно в тексте. Большие языковые модели позволяют перенести часть таких операций в программную систему. С их помощью можно классифицировать документы, находить заданную информацию и формировать краткое содержание.

Однако одной генерации текста для таких задач недостаточно. Результат зависит от того, какой контекст получает модель, насколько хорошо она адаптирована к конкретной предметной области и имеет ли доступ к внешним источникам. Например, при работе с внутренними документами модели может потребоваться информация из базы знаний. В таком случае важным становится не только время получения ответа, но и возможность проверить, на каких данных он основан.

1. Большие языковые модели в обработке текста.

Большие языковые модели помогают в автоматизации задач, связанных с анализом и преобразованием текста. В отличие от моделей, ориентированных на одну конкретную операцию, LLM модели способны работать сразу с несколькими типами задач, что позволяет использовать одну модель для классификации документов, поиска информации, суммаризации, извлечения сведений и генерации текста [1].

Работа с текстом начинается с его преобразования в последовательность токенов. Токен может соответствовать целому слову, его части или отдельному символу. В современных языковых моделях широко применяются алгоритмы субсловной токенизации. Например, BPE (Byte Pair Encoding) формирует словарь путем последовательного объединения часто встречающихся пар символов или субслов. WordPiece использует сходный принцип разбиения слов на части, что позволяет модели работать с ранее не встречавшимися словами и специализированной терминологией [1].

После токенизации элементы последовательности преобразуются в числовые представления, которые поступают в трансформерную модель. На основе контекста LLM определяет взаимосвязи между токенами и формирует последовательность выходных данных. Поэтому одна и та же модель может выполнять разные операции в зависимости от формулировки запроса и предоставленного контекста.

Качество результата зависит от исходных данных и условий обработки. Недостаток контекста, неоднозначные формулировки и наличие узкоспециализированных терминов могут приводить к ошибкам. В таких случаях грамматически правильный ответ модели не обязательно соответствует фактам, содержащимся в исходном документе.

2. Задачи автоматизации обработки текста.

Внедрение больших языковых моделей позволяет успешно автоматизировать рутинную работу с текстами. Современные алгоритмы универсальны: в

зависимости от настроек они способны анализировать суть документа, готовить его краткую выжимку, вычленять конкретные факты или формулировать связные ответы.

Если рассматривать задачу классификации, то LLM ушли далеко от простого поиска по ключевым словам и опираются на глубокое понимание контекста. За счет этого система может предельно точно сортировать входящий поток – например, маршрутизировать жалобы клиентов по категориям инцидентов, а корпоративную почту или служебные файлы распределять по тематике.

Отдельным востребованным сценарием выступает автоматическое реферирование длинных отчетов, статей или деловых переписок. Нейросеть сжимает объемный материал до главных тезисов. Главное техническое требование здесь - жесткий контроль фактологии, поскольку потеря одной цифры или важного условия при сокращении приведет к полному искажению смысла.

Кроме того, модели эффективно извлекают данные из неструктурированных файлов. Алгоритм может прочитать сплошной текст, найти в нем имена, реквизиты компаний, даты или адреса, а затем выгрузить их в строгом табличном формате. В современной литературе подобный подход принято называть генеративным извлечением информации (generative information extraction) [2].

Наконец, алгоритмы активно применяются для прямого написания или редактирования текстов по заданным промптам. Однако полностью исключать человека из этого контура пока нельзя: модели подвержены галлюцинациям и могут выдать грамматически безупречный, но содержательно ложный текст, в котором будут выдуманные факты, отсутствующие в исходниках.

3. Практическое применение больших языковых моделей.

Большие языковые модели применяются для автоматизации обработки документов, обращений пользователей и других текстовых данных. При этом выбор способа интеграции модели зависит от требований к системе и характера информации, с которой она должна работать.

Наиболее простым вариантом является использование Zero-shot подхода, при котором задача описывается непосредственно в запросе без изменения параметров модели. При In-context Learning в запрос дополнительно передаются несколько примеров, показывающих требуемый формат результата. Такой способ удобен для быстрого внедрения, поскольку не требует отдельного процесса обучения модели.

Если стандартного поведения модели недостаточно, может использоваться Fine-Tuning. В этом случае параметры предварительно обученной модели изменяются на наборе данных, соответствующем конкретной задаче. Для уменьшения вычислительных затрат применяются методы PEFT (Parameter-Efficient Fine-Tuning). Одним из таких методов является LoRA (Low-Rank Adaptation), при котором обучаются небольшие низкоранговые адаптеры вместо полного изменения параметров модели.

Другим вариантом является архитектура RAG (Retrieval-Augmented Generation). В этом случае перед формированием ответа выполняется поиск

подходящих фрагментов во внешней базе данных. Найденная информация передается модели вместе с запросом и используется как дополнительный контекст. Такой подход позволяет подключать к LLM корпоративные документы, инструкции и другие источники без необходимости заново обучать основную модель [3].

В электронном документообороте LLM можно использовать для предварительного анализа поступающих документов и передачи результата в информационную систему. При работе с обращениями пользователей модель может определить содержание сообщения и подготовить предварительный ответ. Если требуется использовать внутренние нормативные документы, целесообразно применять RAG, чтобы формируемый ответ опирался на найденные фрагменты базы знаний [3].

4. Проблема галлюцинаций и ограничения.

Одним из существенных ограничений больших языковых моделей являются галлюцинации. Под этим понимается формирование моделью сведений, которые выглядят правдоподобно, но не подтверждаются исходным текстом или доступными источниками. Данная проблема рассматривается в исследованиях генерации естественного языка и является одной из причин необходимости дополнительной проверки результатов работы LLM [4].

Галлюцинации могут возникать, например, при недостатке информации в запросе. Если пользователь задает вопрос по конкретному документу, но сам документ не был передан модели, она может сформировать ответ на основе имеющихся в ее параметрах языковых закономерностей. Такой ответ может выглядеть убедительно, хотя фактического подтверждения у него нет.

Использование RAG позволяет снизить вероятность подобных ошибок, поскольку модель получает дополнительный контекст из внешнего источника [3]. Однако наличие найденных документов само по себе не гарантирует правильность результата. Если поисковый механизм выбрал нерелевантный фрагмент, ошибка может перейти и в итоговый ответ.

Поэтому в прикладных системах необходимо контролировать результат работы модели. Для этого может проверяться наличие источника, соответствие ответа переданному контексту и корректность структурированных данных. При обработке важных документов целесообразно также предусматривать проверку результата человеком. Особенно это актуально для информации, содержащей даты, числовые значения и обязательные условия.

5. Преимущества, ограничения и заключение.

Внедрение LLM заметно ускоряет анализ текстов и позволяет решать целый комплекс разных задач внутри единой архитектуры. Однако инженерный подход к интеграции должен строго опираться на конкретную цель. Если методы Zero-shot и In-context Learning отлично подходят для быстрого старта готовой модели «из коробки», то алгоритмы PEFT и LoRA необходимы для точечной адаптации сети под узкую предметную область. В свою очередь, архитектура RAG закрывает потребность в динамическом поиске по внешним, постоянно обновляемым базам знаний [1–3].

Разумеется, технология имеет свои объективные ограничения. Качество ответа нейросети напрямую диктуется чистотой входных данных, точностью составления промпта и релевантностью переданного контекста. Кроме того, нельзя сбрасывать со счетов склонность алгоритмов к генерации правдоподобных, но ложных фактов (галлюцинациям). Развертывание тяжеловесных моделей также упирается в высокие требования к аппаратному обеспечению, а анализ корпоративной или юридической документации требует построения защищенных контуров для предотвращения утечек конфиденциальной информации.

Несмотря на эти нюансы, языковые модели остаются наиболее эффективным инструментом для снижения доли ручного труда при работе с текстовыми массивами. Главное правило их внедрения в критически важные процессы – обязательная валидация результатов. Сейчас вектор развития подобных систем направлен именно на улучшение механизмов локального дообучения, бесшовную интеграцию с внешними источниками и техническое сведение фактологических ошибок к минимуму [4].

Список использованных источников

1. Zhao, W. X. A Survey of Large Language Models / W. X. Zhao, K. Zhou, J. Li [et al.]. – 2023. – URL: https://arxiv.org/abs/2303.18223 (дата обращения: 17.08.2026). – Текст : электронный.

2. Xu, D. Large Language Models for Generative Information Extraction: A Survey / D. Xu, W. Chen, W. Peng [et al.] // Frontiers of Computer Science. – 2024. – Vol. 18, № 6. – Art. 186357. – Текст : непосредственный.

3. Lewis, P. Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks / P. Lewis, E. Perez, A. Piktus [et al.] // Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS). – 2020. – Vol. 33. – P. 9459–9474. – Текст : непосредственный.

4. Ji, Z. Survey of Hallucination in Natural Language Generation / Z. Ji, N. Lee, R. Frieske [et al.] // ACM Computing Surveys. – 2023. – Vol. 55, № 12. – Art. 248. – Текст : непосредственный.

APPLICATION OF LARGE LANGUAGE MODELS FOR AUTOMATING TEXT PROCESSING TASKS

M.E. Ivanov, A.V. Koretsky

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg, Russia

The article is devoted to the application of large language models (LLMs) for automating text processing tasks. The features of BPE and WordPiece tokenization, PEFT and LoRA adaptation, and the Retrieval-Augmented Generation (RAG) architecture are considered. The problem of hallucinations and the need to verify generated results are also discussed.

Key words: large language models, text processing, automation, NLP, tokenization, BPE, WordPiece, PEFT, LoRA, RAG, hallucinations.

УДК 004.89

СРАВНЕНИЕ АРХИТЕКТУР ТРАНСФОРМЕРОВ В ЗАДАЧАХ ОБРАБОТКИ ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА

М.Е. Иванов, А.В. Корецкий

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения,
г. Санкт-Петербург, Россия

В работе сопоставляются архитектуры трансформеров, применяемые в задачах обработки естественного языка. Основное внимание уделено устройству моделей, характеру работы с контекстом и областям практического применения.

Ключевые слова: BERT, GPT, обработка текста, нейронные сети.

Развитие методов искусственного интеллекта существенно расширило возможности обработки естественного языка (Natural Language Processing, NLP). Языковые модели сегодня используются при классификации документов, машинном переводе, построении диалоговых систем и автоматической генерации текста. Во всех этих случаях важен не только отдельный элемент последовательности, но и его связь с остальным контекстом.

До появления Transformer основная нагрузка при работе с последовательностями приходилась на рекуррентные сети - RNN, LSTM и GRU. Такие модели обрабатывали элементы последовательно, передавая информацию от одного шага к следующему. На длинных последовательностях это создавало ограничения по скорости обработки и сохранению дальних зависимостей.

1. Архитектура Transformer и принцип работы.

Архитектура Transformer, представленная в работе «Attention Is All You Need» в 2017 году, предложила другой принцип обработки последовательностей. Вместо обязательного прохода по элементам один за другим модель сопоставляет их между собой посредством механизма внимания. Это существенно изменило построение последующих языковых моделей.

В исходной схеме Transformer выделяются две части - Encoder и Decoder. Первая получает входную последовательность и строит её внутреннее представление; вторая использует это представление при формировании результата. Подобная организация первоначально была ориентирована, в частности, на машинный перевод, но позднее отдельные компоненты архитектуры стали использоваться самостоятельно.

Одним из центральных механизмов Transformer выступает Self-Attention. Для каждого элемента последовательности оценивается его связь с другими элементами, после чего формируется контекстное представление. Благодаря этому модель не ограничивается соседними словами и может учитывать зависимости, расположенные на значительном расстоянии друг от друга.

В Multi-Head Attention эта операция выполняется сразу в нескольких представлениях. Разные головы внимания способны фиксировать различные типы связей - от синтаксических зависимостей до смысловых соответствий. Их

результаты затем объединяются, формируя более полное описание последовательности.

Параллельная обработка сама по себе не содержит сведений о позиции слова в предложении. Поэтому Transformer использует Positional Encoding - дополнительное представление порядка элементов. Без такой информации последовательности с одинаковым набором слов, но разным расположением элементов, было бы трудно различать.

Связка Self-Attention с параллельной обработкой стала основой для нескольких направлений развития языковых моделей. В дальнейшем появились архитектуры, рассчитанные на разные режимы работы: BERT преимущественно анализирует контекст, GPT строит продолжение последовательности, а T5 сводит различные задачи к единому преобразованию «текст → текст».

2. Основные архитектуры трансформеров в задачах обработки естественного языка.

Общая архитектурная основа не означает одинакового поведения моделей. BERT, GPT и T5 используют разные части или варианты Transformer и решают разные по характеру задачи. Поэтому сравнивать их корректнее не как конкурирующие модели одного назначения, а как специализированные варианты общей архитектурной идеи.

2.1 BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers)

BERT построен вокруг Encoder и предназначен прежде всего для получения контекстных представлений текста. При обработке предложения учитывается информация с обеих сторон от рассматриваемого слова. Такой двунаправленный контекст особенно важен там, где значение элемента зависит от окружающей части предложения.

Один из ключевых этапов обучения BERT – Masked Language Modeling. Из исходного предложения скрывается часть токенов, а модель восстанавливает их, опираясь на оставшийся контекст. В результате формируется представление языка, которое затем используется в задачах классификации, анализа тональности и информационного поиска.

2.2 GPT (Generative Pre-trained Transformer)

GPT относится к моделям, построенным на Decoder-части Transformer. Генерация идёт авторегрессионно: очередной токен прогнозируется с учётом уже сформированного фрагмента. Такой режим естественным образом подходит для продолжения текста и построения развернутых последовательностей, включая ответы, программный код и статьи.

Практическое преимущество GPT связано с переносом предварительно полученных языковых представлений на разные задачи. Однако масштабирование таких моделей сопровождается ростом требований к вычислительным ресурсам, объёму памяти и времени обучения.

2.3 T5 (Text-To-Text Transfer Transformer)

T5 объединяет Encoder и Decoder и рассматривает задачу независимо от её типа как преобразование одного текста в другой. В этой схеме перевод, суммаризация, классификация и генерация имеют общий формат входа и выхода. За

счёт этого одна архитектура может обслуживать несколько направлений обработки текста.

3. Сравнение архитектур трансформеров.

При одинаковой базовой архитектуре области применения BERT, GPT и T5 заметно расходятся. BERT ориентирован на извлечение и анализ информации из текста; GPT - на авторегрессионное построение новой последовательности; T5 использует унифицированную схему «текст → текст». Поэтому выбор модели определяется не названием архитектуры, а характером конечной задачи.

Таблица 1 – Сравнение архитектур трансформеров

Модель	Архитектура	Применение	Преимущества	Ограничения
BERT	Encoder	Анализ текста	Контекстное представление	Нет генерации
GPT	Decoder	Генерация текста	Создание содержимого	Большие ресурсы
T5	Encoder-Decoder	NLP-задачи	Универсальность	Сложность обучения

Сопоставление показывает, что универсального победителя среди рассмотренных подходов нет. Для задач, где требуется получить представление и классифицировать уже существующий текст, логичен выбор моделей семейства BERT. Генеративные сценарии лучше согласуются с авторегрессионным принципом GPT. T5 представляет интерес там, где несколько разнородных операций необходимо объединить в рамках единого интерфейса.

Список использованных источников

1. Vaswani, A. Attention Is All You Need / A. Vaswani, N. Shazeer, N. Parmar, J. Uszkoreit, L. Jones, A. N. Gomez, L. Kaiser, I. Polosukhin. – 2017. – 15 с. : ил. – (Advances in Neural Information Processing Systems, Vol. 30). – Библиогр.: с. 5998–6008. – Текст: непосредственный.

2. Radford, A. Language Models are Unsupervised Multitask Learners / A. Radford, J. Wu, R. Child, D. Luan, D. Amodei, I. Sutskever; OpenAI. – 2019. – 25 с. – URL: https://openai.com/research/language-models-are-unsupervised-multitask-learners/ (дата обращения: 17.08.2026). – Текст: электронный.

3. Liu, Y. RoBERTa: A Robustly Optimized BERT Pretraining Approach / Y. Liu, M. Ott, N. Goyal, J. Du, M. Joshi, D. Chen, O. Levy, M. Lewis, L. Zettlemoyer, V. Stoyanov. – 2019. – 22 с. – URL: https://arxiv.org/abs/1907.11692 (дата обращения: 17.08.2026). – Текст: электронный.

4. GLUE Benchmark: A Multi-Task Benchmark and Analysis Platform for Natural Language Understanding [Электронный ресурс]. – URL: https://gluebenchmark.com/ (дата обращения: 17.08.2026). – Текст: электронный.

COMPARISON OF TRANSFORMER ARCHITECTURES IN NATURAL LANGUAGE PROCESSING TASKS

M.E. Ivanov, A.V. Koretsky

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg, Russia

The paper compares transformer architectures used in natural language processing, focusing on their structure, operating principles, and typical areas of application.

Key words: computer vision, industrial processes, quality control, artificial intelligence, neural networks, automation, defect detection.

УДК 159.9

ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ОБРАЗОВАНИЯ: ТЕХНОСТРЕСС И ВОВЛЕЧЕННОСТЬ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ ВУЗОВ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

В.Д. Иванова

Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации имени Главного маршала авиации А.А. Новикова, г. Санкт-Петербург, Россия

В статье рассматриваются психологические аспекты цифровой трансформации образования на примере профессорско-преподавательского состава вузов гражданской авиации. Анализируются феномены технострессa и профессионального выгорания в контексте цифровизации, а также их влияние на вовлеченность преподавателей. На основе официальных данных мониторинга высшего образования (2015–2025 гг.) выявлены устойчивые негативные тренды кадрового состава, создающие объективные предпосылки для роста психологического напряжения: критическое снижение доли молодых преподавателей и уменьшение доли преподавателей с учеными степенями. Особое внимание уделяется специфике авиационного образования. Предлагаются практические рекомендации по психологическому сопровождению преподавателей в условиях цифровой трансформации образования.

Ключевые слова: цифровизация образования, технострессс, профессиональное выгорание, вовлеченность, преподаватели вузов гражданской авиации, кадровый кризис.

Цифровая трансформация высшего образования стала не только технологическим, но и психологическим вызовом для профессорско-преподавательского состава. Для вузов гражданской авиации эта проблема приобретает особую остроту, поскольку преподаватели транслируют студентам культуру

безопасности и стрессоустойчивость, однако сами подвергаются воздействию техностресса, информационной перегрузки и проблеме нарушения профессиональных границ.

Актуальность исследования обусловлена двойным вызовом. С одной стороны, система высшего образования России переживает системный кадровый кризис: численность ППС в РФ сократилась за 7 лет на 29 тыс. человек, доля преподавателей в возрасте до 30 лет не превышает 6%, тогда как доля лиц старше 60 лет составляет более 28% [1]. С другой стороны, цифровая трансформация образования предъявляет к преподавателям принципиально новые требования: освоение цифровых платформ, гибридных форматов обучения и инструментов искусственного интеллекта.

В психологии труда и организационной психологии накоплен значительный массив исследований о выгорании педагогов [2], однако работы, учитывающие отраслевую специфику авиационного образования, практически отсутствуют. Данное исследование восполняет этот пробел, рассматривая цифровую адаптацию как сложный психологический процесс, опосредованный личностными ресурсами, возрастными особенностями и профессиональной идентичностью.

Понятие техностресса активно разрабатывается с 1980-х годов. Современные авторы определяют техностресс как негативное психологическое состояние, возникающее в результате неспособности человека справиться с требованиями, предъявляемыми цифровыми технологиями [3]. В образовательном контексте выделяются три доминирующих фактора техностресса: техно-перегрузка (необходимость работать быстрее и дольше из-за увеличения объема цифровых задач), техно-вторжение (размывание границ работы и личной жизни) и техно-сложность (усилия и время, необходимые для освоения новых цифровых инструментов).

Профессиональное выгорание, согласно классической модели К. Маслач и М. Лейтер, включает три компонента: эмоциональное истощение, деперсонализацию и редукцию профессиональных достижений [2]. В условиях цифровизации образования эти компоненты приобретают специфические черты. Преподаватели, работающие в интенсивной цифровой среде, демонстрируют более высокие показатели эмоционального истощения. Вовлеченность, определяемая как позитивное состояние, характеризующееся энергичностью, преданностью и погруженностью, в контексте цифровой трансформации также претерпевает изменения: цифровизация создает новые возможности, однако эти выгоды сопряжены с новыми стрессорами.

Профессиональная деятельность преподавателя вуза гражданской авиации имеет ряд особенностей, накладывающих отпечаток на восприятие цифровизации. Во-первых, это высокая степень ответственности за качество подготовки специалистов. Во-вторых, строгая регламентация образовательного процесса, которая в сочетании с цифровизацией может увеличивать бюрократическую нагрузку. В-третьих, возрастная структура ППС, характеризующаяся преобладанием преподавателей старшего возраста, что создает дополнительные вызовы для цифровой адаптации.

Анализ данных Мониторинга деятельности образовательных организаций высшего образования за 2015–2025 гг. по СПбГУ ГА выявляет устойчивые негативные тренды кадрового состава [4]. Численность ППС сократилась с 282 до 243 человек (на 13,8%), что является следствием сокращения контингента студентов (с 7187 до 3959 человек, или на 44,9%) в рамках нормативной нагрузки в 900 часов учебной работы в год на одного преподавателя.

Однако количественное сокращение ППС, хотя и является нормативно обоснованным, сопровождается качественными изменениями в его структуре, создающими серьезные психологические риски. Доля ППС в возрасте до 40 лет сократилась с 20,9% в 2015 г. до 13,99% в 2025 г. (CAGR –3,97%). При этом доля преподавателей старше 65 лет остается на стабильно высоком уровне − 27-29%. Это означает нарастание кадрового дисбаланса: поколение опытных наставников уходит, а их смена − молодые преподаватели − не приходит в достаточном количестве. В условиях цифровизации этот дисбаланс становится критическим, так как старшее поколение испытывает трудности с освоением новых технологий, а молодые преподаватели вынуждены брать на себя дополнительную нагрузку по цифровому сопровождению образовательного процесса.

Доля преподавателей, имеющих ученые степени, за этот же период сократилась с 60,7% до 57,2%. Снижение «остепененности» ППС на фоне цифровизации может восприниматься как профессиональная деградация, снижая у преподавателей чувство компетентности и усиливая редукцию профессиональных достижений − один из ключевых компонентов выгорания.

Таким образом, выявленные тренды создают психологические риски. Переход кадрового состава в старшую возрастную категорию ведет к углублению цифрового разрыва между поколениями и снижению самоэффективности у старших преподавателей. Недостаток молодых кадров приводит к перегрузке молодых преподавателей цифровыми задачами и повышает риск их профессионального выгорания. Снижение доли преподавателей с учеными степенями способствует утрате профессиональной идентичности и формированию ощущения снижения их статуса. Кадровая неопределенность, обусловленная жесткой привязкой кадровой политики к динамике контингента, снижает вовлеченность преподавателей и провоцирует рост тревожности и деперсонализации.

Организационная поддержка и признание цифрового труда выступают ключевыми буферами, смягчающими негативные психологические последствия цифровизации. В условиях кадрового дисбаланса особое значение приобретают программы адаптации молодых преподавателей, система наставничества и дифференцированный подход к цифровому обучению разных возрастных групп.

Список использованных источников

1. Индикаторы образования: 2024 : статистический сборник / Н.В. Бондаренко, Т.А. Варламова, Л.М. Гохберг и др.; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». – М.: ИСИЭЗ ВШЭ, 2024. – 416 с. – ISBN 978-5-7598-3010-8. URL: https://fgosvo.ru/uploadfiles/metod/Indicators_education_2024.pdf?ysclid=mtbu72cawv432152270 (дата обращения 26.08.2026)

2. Maslach C., Schaufeli W.B., Leiter M.P. Job burnout // Annual Review of Psychology. – 2021. – Vol. 72. – P. 397-422. – DOI: 10.1146/annurev-psych-072420-103105.

3. Califf C.B., Brooks S. An empirical study of techno-stress and its relationship with job burnout and organizational commitment // Computers & Education. – 2020. – Vol. 157. – P. 103971. – DOI: 10.1016/j.compedu.2020.103971.

4. Информационно-аналитические материалы по результатам проведения мониторинга эффективности деятельности образовательных организаций высшего образования 2025 года // ФГБОУ ВО СПбГУ ГА. URL: https://monitoring.miccedu.ru/iam/2025/_vpo/inst.php?id=1735 (дата обращения: 27.08.2026).

PSYCHOLOGICAL ASPECTS OF EDUCATION DIGITALIZATION: TECHNOSTRESS AND ENGAGEMENT OF TEACHERS IN CIVIL AVIATION UNIVERSITIES

V.D. Ivanova

St. Petersburg State University of Civil Aviation named after A.A. Novikov, St. Petersburg, Russia

The article examines the psychological aspects of the digital transformation of education using the example of teachers from civil aviation universities. Based on theoretical analysis and official data from the Higher Education Monitoring (2015–2025), stable negative trends in the teaching staff composition have been identified, creating objective prerequisites for increased psychological tension: a critical decline in the proportion of young teachers and a decrease in the proportion of teachers with academic degrees. Special attention is paid to the specifics of aviation education. Practical recommendations for psychological support of teachers in the context of digital transformation of education are proposed.

Keywords: digitalization of education, technostress, professional burnout, engagement, teachers of civil aviation universities, personnel crisis.

УДК 656.7

ФОРМИРОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ РУКОВОДЯЩИХ КАДРОВ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ОТРАСЛИ

В.С. Иванова

Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации имени Главного маршала авиации А.А. Новикова, г. Санкт-Петербург, Россия

В статье рассматриваются актуальные вопросы формирования цифровых компетенций у руководящих кадров гражданской авиации в условиях цифровой

трансформации отрасли. Выявлены нежелательные эффекты, препятствующие эффективной цифровизации образовательного процесса в отраслевых вузах. Обоснована необходимость интеграции цифрового аспекта в специальные профессиональные компетенции руководителей, обеспечивающих безопасность полетов. Предложены направления совершенствования системы подготовки управленческих кадров с использованием современных образовательных технологий.

Ключевые слова: цифровые компетенции, руководящие кадры, гражданская авиация, безопасность полетов, цифровой университет, подготовка управленческих кадров.

Цифровая трансформация экономики, закрепленная в Стратегии развития информационного общества до 2030 года [1], выступает ключевым драйвером изменений во всех отраслях, включая гражданскую авиацию. Данная отрасль является технологически сложной и высокорискованной, поэтому цифровизация управленческих процессов здесь приобретает особое значение. В Концепции подготовки кадров для транспортного комплекса до 2035 года [2] подчеркивается необходимость системной перестройки образовательных организаций на основе цифровых решений, включая внедрение модели «цифрового университета».

Успешность цифровой трансформации организаций воздушного транспорта напрямую зависит от осознанности и компетентности высшего руководства. Как отмечают исследователи [3], выявляется прямая связь между эффективностью внедрения цифровых технологий и пониманием руководством их влияния на развитие организации. В связи с этим к руководителям предъявляются новые требования, выходящие за рамки традиционных управленческих навыков: цифровая грамотность, способность принимать решения на основе анализа больших данных, навыки управления цифровыми платформами обеспечения безопасности. Эксперты оценивают нехватку таких «цифровых» управленцев в сотнях тысяч специалистов, что делает проблему их подготовки одной из наиболее острых кадровых задач [3].

Цель настоящего исследования - выявление проблемных зон и разработка подходов к формированию цифровых компетенций у руководящих кадров гражданской авиации в системе непрерывного профессионального образования.

Главной особенностью системы подготовки руководителей в гражданской авиации является необходимость сформированности у них компетенций, направленных на обеспечение безопасности полетов. Присутствие в авиационной отрасли «эффективных менеджеров», ориентированных исключительно на достижение экономических показателей, недопустимо, поскольку это может привести к росту авиационных инцидентов и катастроф [4]. В условиях цифровизации данная компетенция приобретает новое содержательное наполнение. Руководитель организации воздушного транспорта должен не только знать нормативные требования безопасности, но и уметь применять цифровые инструменты для их реализации: системы мониторинга и прогнозирования рисков, цифровые платформы управления безопасностью полетов, системы анализа больших данных о техническом состоянии воздушных судов и профессиональной деятельности персонала.

Исследование проблем подготовки управленческих кадров [5] выявило ряд нежелательных эффектов в системе образования, характерных для всех направлений подготовки: недостаточная системность обучения, жесткость учебных планов, доминирование пассивных методов обучения, недостаточное взаимодействие вузов с промышленностью. В ходе настоящего исследования данный перечень был дополнен специфическими проблемами, характерными для цифровой трансформации авиационного образования. К ним относятся:

– устаревание материально-технической базы – подготовка по авиационным направлениям требует серьезного обновления тренажерного и программного обеспечения, соответствующего современным цифровым системам воздушных судов и аэропортовых комплексов;

– недостаток цифровых компетенций профессорско-преподавательского состава – преподаватели, особенно старшего поколения, часто не владеют современными цифровыми инструментами и платформами, что создает разрыв между обучением и требованиями практической деятельности;

– отсутствие внедренной модели «цифрового университета» в большинстве вузов гражданской авиации, которая позволила бы создать единую цифровую среду для всех участников образовательного процесса и обеспечить индивидуальные образовательные траектории [2].

Кроме того, выявлена проблема неравномерности цифровизации в самих организациях воздушного транспорта - от продвинутого уровня, охватывающего все процессы, до зачаточного, при котором цифровые технологии применяются лишь под внешним давлением [1]. Это требует подготовки руководителей, способных эффективно действовать в любых условиях и инициировать цифровую трансформацию своих организаций.

В современной науке компетентностный подход является основой для описания деятельности управленческого персонала. Как отмечают Лазарева М.В. и Губанова Е.В. [6], ядром подготовки руководящих кадров является модель компетенций, которая должна учитывать не только профессиональные и личностные качества, но и цифровую грамотность. При этом формирование цифровых компетенций не может рассматриваться изолированно от отраслевой специфики гражданской авиации.

Предлагается интегрировать цифровой аспект в специальную профессиональную компетенцию руководителей гражданской авиации, связанную с обеспечением безопасности полетов. Данная компетенция должна включать следующие индикаторы: применение цифровых методов и инструментов для обеспечения всех видов безопасности на воздушном транспорте; использование цифровых систем мониторинга и анализа рисков для принятия управленческих решений; организация процессов деятельности с применением цифровых платформ для координации работы исполнителей.

Введение такой компетенции в образовательные программы магистратуры, ориентированные на подготовку руководящих кадров, позволит обеспечить готовность выпускников к эффективной управленческой деятельности в условиях цифровой экономики. Особое значение приобретает использование современных образовательных технологий: смешанного и заочного обучения с применением дистанционных образовательных технологий, цифровых модулей

для развития компетенций цифровой экономики, онлайн-курсов ведущих вузов и организаций отрасли. Это позволяет совмещать освоение цифровых компетенций с практической деятельностью в организациях воздушного транспорта.

Анализ контингента обучающихся в авиационных вузах показывает, что доля лиц, осваивающих программы магистратуры (ориентированные на подготовку руководящих кадров), в общей численности студентов остается невысокой - около 8–10% в ведущих отраслевых вузах [7]. Это создает возможность для более глубокой индивидуализации обучения и концентрации ресурсов на формировании передовых цифровых компетенций у этой целевой группы.

Цифровая трансформация гражданской авиации предъявляет новые требования к системе подготовки руководящих кадров. Руководители отрасли должны обладать не только традиционными управленческими компетенциями, но и способностью эффективно применять цифровые технологии для обеспечения безопасности полетов.

В ходе исследования решены следующие задачи: выявлены специфические нежелательные эффекты цифровизации в авиационном образовании; обоснована необходимость интеграции цифрового аспекта в специальные профессиональные компетенции руководителей; предложены направления совершенствования подготовки с использованием современных образовательных технологий. Полученные результаты могут быть использованы при формировании основных профессиональных образовательных программ магистратуры для подготовки руководящих кадров гражданской авиации по направлениям «Аэронавигация» и «Эксплуатация аэропортов и обеспечение полетов воздушных судов».

Список использованных источников

1. Указ Президента РФ от 09.05.2017 № 203 «О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы». – URL: https://base.garant.ru/71670570/ (дата обращения: 15.08.2026).

2. Распоряжение Правительства РФ от 06.02.2021 № 255-р «Об утверждении Концепции подготовки кадров для транспортного комплекса до 2035 года». – URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/400210182/ (дата обращения: 19.03.2026).

3. Авакова, Э. Б. Формирование цифровых компетенций при подготовке управленческих кадров / Э. Б. Авакова, А. Н. Асадов, А. А. Кузнецов // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. – 2021. – № 2(128). – С. 116-121. – EDN AYJCWB.

4. Иванова, М. О., Иванова, В. С. Особенности подготовки руководящих кадров для гражданской авиации и нежелательные эффекты в системе обучения // Лидерство и менеджмент. – 2024. – Т. 11. – № 4. – DOI 10.18334/lim.11.4.122245

5. Подяконова, А.С. Проблемы подготовки управленческих кадров / А.С. Подяконова, В.В. Лихолетов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Образование. Педагогические науки. – 2011. – № 24(241). – С. 84-89. – EDN OGCIZT.

6. Лазарева, М. В. Компетентностный подход к подготовке управленческих кадров организации: современный взгляд на проблему / М. В. Лазарева, Е. В. Губанова // Znanstvena Misel. – 2019. – № 9-2(34). – С. 65-71. – EDN EAWFKH.

7. Отчет по самообследованию ФГБОУ ВО СПбГУ ГА им. А.А. Новикова за 2023 год. – СПб., 2024.

FORMATION OF DIGITAL COMPETENCIES OF CIVIL AVIATION EXECUTIVES IN THE CONTEXT OF DIGITAL TRANSFORMATION OF THE INDUSTRY

V.S. Ivanova

Saint Petersburg State University of Civil Aviation named after Chief Marshal of Aviation A.A. Novikov, Saint Petersburg, Russia

The article deals with current issues of forming digital competencies among civil aviation executives in the context of digital transformation of the industry. Undesirable effects hindering effective digitalization of the educational process in industry-specific universities are identified. The necessity of integrating the digital aspect into special professional competencies of managers ensuring flight safety is substantiated. Directions for improving the executive training system using modern educational technologies are proposed.

Keywords: digital competencies, executives, civil aviation, flight safety, digital university, executive training.

УДК 004.896

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ ДЛЯ НАВИГАЦИИ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ

Идрисс Абдел-Азиз Идрисс, О.С. Литвинская

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, г. Пенза, Россия

В статье проводится сравнительный анализ трёх основных классов алгоритмов глубокого обучения с подкреплением (Deep Reinforcement Learning – DRL), применяемых для автономной навигации мобильных роботов: value-based (DQN, DDQN), policy-based (PPO) и actor-critic (SAC, TD3). Рассматриваются принципы работы каждого метода, их преимущества и ограничения. Особое внимание уделяется выбору алгоритма в зависимости от типа пространства действий (дискретное/непрерывное), доступных вычислительных ресурсов и требуемой способности к обобщению. На основе анализа литературных данных показано, что для статических 2D-сред с дискретными действиями оптимальным является Q-learning, тогда как для сложных 3D-задач с непрерывным управлением предпочтительны PPO и SAC. Результаты работы могут служить основой для выбора архитектуры DRL при разработке систем автономной навигации.

Ключевые слова: глубокое обучение с подкреплением, навигация мобильных роботов, DQN, PPO, SAC, Q-learning, автономная навигация, сравнительный анализ.

Автономная навигация мобильных роботов является одной из ключевых задач современной робототехники. Традиционные методы, основанные на *SLAM* навигации и планировании траектории (алгоритмы *A**, *RRT*), требуют предварительного построения карты и плохо адаптируются к динамическим средам [1]. В последние годы активно развиваются методы глубокого обучения с подкреплением – *Deep Reinforcement Learning* (*DRL*), позволяющие роботу обучаться оптимальному поведению непосредственно на основе сенсорных данных [2].

Цель данной работы – провести сравнительный анализ основных классов *DRL*-алгоритмов, применяемых для навигации мобильных роботов, и сформулировать рекомендации по их выбору в зависимости от условий задачи.

Классификация алгоритмов *DRL*:

– алгоритм *Deep Q-Network* (*DQN*), предложенный *Mnih et al*. [3], аппроксимирует функцию ценности действия $Q(s,a)$ с помощью нейронной сети. Ключевые инновации *DQN* – опыт повторного воспроизведения (*replay buffer*) и целевая сеть (*target network*), которые обеспечивают стабильность обучения. Алгоритм *Double DQN* (*DDQN*) [4] улучшает базовый алгоритм, разделяя выбор и оценку действий, что уменьшает переоценку *Q*-значений. К преимуществам можно отнести простоту реализации, хорошую сходимость для дискретных пространств действий. Недостатки: не работают с непрерывными действиями, требуют дискретизации;

– алгоритм *Proximal Policy Optimization* (*PPO*) [5] относится к семейству алгоритмов обучения с подкреплением и оптимизирует политику напрямую. Основная идея – ограничивать изменение политики с помощью *clipping* целевой функции, что предотвращает резкие ухудшения. PPO стабилен, надёжен и стал индустриальным стандартом для задач с непрерывным управлением [6]. К преимуществам относятся: работа с непрерывными действиями, высокая стабильность. Недостатки: требует больше вычислительных ресурсов, чувствителен к гиперпараметрам;

– алгоритм обучения с подкреплением для непрерывных пространств действий *Soft Actor-Critic* (*SAC*) [7] максимизирует не только ожидаемую награду, но и энтропию политики, что поощряет исследование среды. Алгоритм автоматически настраивает коэффициент энтропии и использует два критика для уменьшения переоценки *Q*-значений. TD3 (*Twin Delayed DDPG*) [8, 9] также применяет двойной критик, но в отличие от *SAC* не использует энтропийную регуляризацию. Преимуществами являются: высокая эффективность, хорошее исследование, устойчивость. Недостатки: сложная реализация, высокие требования к GPU.

Для сравнительного анализа взяты алгоритмы *DDQN, PPO, SAC, Q-learning*. В табл. 1 представлено сравнение рассмотренных алгоритмов по ключевым критериям.

Проведённый анализ показывает, что выбор алгоритма DRL для навигации мобильных роботов определяется следующими факторами:

– тип пространства действий. Для дискретных действий предпочтительны DDQN или табличный Q-learning; для непрерывных – PPO или SAC;

– доступные вычислительные ресурсы. При отсутствии GPU оптимален Q-learning;

– требования к обобщению. Алгоритмы SAC и PPO лучше справляются с новыми средами.

Таблица 1 – Сравнение алгоритмов для навигации

Алгоритм	Тип действий	Стабильность	Требования к GPU	Сложность реализации	Рекомендуемая область применения
DDQN	дискретные	средняя	нет	низкая	простые 2D-среды, задачи с дискретными командами
PPO	непрерывные	высокая	желателен	высокая	промышленная робототехника, динамические среды
SAC	непрерывные	высокая	желателен	высокая	задачи с большими пространствами состояний
Q-learning	дискретные	средняя	нет	низкая	базовый baseline, обучение на CPU

Перспективным направлением дальнейших исследований является разработка гибридных архитектур, объединяющих классическую планировку (A*) с DRL-политиками локального управления [9].

Список использованных источников

1. Kober J., Bagnell J. A., Peters J. Reinforcement learning in robotics: A survey // The International Journal of Robotics Research. 2013. Vol. 32, No. 11. P. 1238-1274.

2. Mnih V., Kavukcuoglu K., Silver D., et al. Human-level control through deep reinforcement learning // Nature. 2015. Vol. 518, No. 7540. P. 529-533. DOI: 10.1038/nature14236.

3. Van Hasselt H., Guez A., Silver D. Deep reinforcement learning with double Q-learning // Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence. 2016. Vol. 30, No. 1. P. 2094-2100.

4. Schulman J., Wolski F., Dhariwal P., Radford A., Klimov O. Proximal policy optimization algorithms // arXiv preprint. 2017. arXiv:1707.06347.

5. Haarnoja T., Zhou A., Abbeel P., Levine S. Soft actor-critic: Off-policy maximum entropy deep reinforcement learning with a stochastic actor // Proceedings of the 35th International Conference on Machine Learning (ICML). 2018. P. 1856-1865.

6. Fujimoto S., Hoof H., Meger D. Addressing function approximation error in actor-critic methods // Proceedings of the 35th International Conference on Machine Learning (ICML). 2018. P. 1582-1591.

7. Li H. Mobile robot navigation based on Deep Reinforcement Learning: A brief review // Journal of Physics: Conference Series. 2023. Vol. 2649. P. 012027.

8. Le H., Saeedvand S., Hsu C.-C. A comprehensive review of mobile robot navigation using deep reinforcement learning algorithms in crowded environments // Journal of Intelligent & Robotic Systems. 2024. Vol. 110. P. 158.

9. Kolomeytsev Y., et al. Hybrid motion planning with deep reinforcement learning for mobile robot navigation // arXiv preprint. 2025. arXiv:2512.24651.

COMPARATIVE ANALYSIS OF DEEP REINFORCEMENT LEARNING ALGORITHMS FOR MOBILE ROBOT NAVIGATION

Idriss Abdel-Aziz Idriss, O.S. Litvinskaya

Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russia

This article presents a comparative analysis of three main classes of Deep Reinforcement Learning (DRL) algorithms used for autonomous mobile robot navigation: value-based (DQN, DDQN), policy-based (PPO), and actor-critic (SAC, TD3). The principles of operation, advantages, and limitations of each method are discussed. Special attention is paid to algorithm selection based on action space type (discrete/continuous), available computational resources, and generalization capability. Based on literature analysis, it is shown that Q-learning is optimal for static 2D environments with discrete actions, while PPO and SAC are preferred for complex 3D tasks with continuous control. The results can serve as a basis for DRL architecture selection in autonomous navigation system development.

Keywords: deep reinforcement learning, mobile robot navigation, DQN, PPO, SAC, Q-learning, autonomous navigation, comparative analysis.

УДК 656.11

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ И СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

К.К. Иорганский, А.В. Скринник

Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского, г. Донецк, Россия

В статье рассматривается роль информационных технологий как основного инструмента реализации математических моделей. Анализируется трансформация подходов к моделированию под влиянием роста вычислительных мощностей и появления методов искусственного интеллекта. Показано, что высокопроизводительные вычисления и численное моделирование позволяют эффективно решать задачи гидрогазодинамики, прочности конструкций, а также прогнозировать динамику макроэкономических показателей. Особое внимание уделено интеграции технологий Big Data в социально-экономические процессы, что повышает точность прогнозов.

Ключевые слова: математическое моделирование, информационные технологии, вычислительный эксперимент, цифровая экономика, машинное обучение, численные методы, большие данные.

Математическое моделирование исторически выполняло функцию фундаментального связующего звена между абстрактной аксиоматикой теоретических построений и прагматическими запросами прикладных дисциплин. Однако практическая реализация нелинейных, многопараметрических и стохастических моделей на протяжении длительного периода сдерживалась объективным дефицитом вычислительных мощностей. Как отмечают исследователи, именно экспоненциальный прогресс в области информационных технологий позволил осуществить парадигмальный сдвиг от поиска аналитических решений к проведению полномасштабных вычислительных экспериментов, обеспечивающих численное исследование сложных систем [1].

В современной научной парадигме информационные технологии в контексте моделирования реализуют три фундаментальные функции. Во-первых, это автоматизация вычислений, где вместо трудоемких ручных расчетов используются адаптивные сеточные методы. Во-вторых, визуализация многомерных данных, позволяющая исследователю «увидеть» динамику сложных систем (например, распределение температур или финансовых потоков). В-третьих, интеграция разнородных данных, необходимая для комплексного анализа научно-технических объектов.

Особую роль в этом процессе играет концепция цифровых двойников. Согласно исследованиям, индексируемым в профильных базах данных, создание виртуальной реплики физического объекта — от отдельного узла авиационного двигателя до масштабной транспортной сети мегаполиса — невозможно без развитой ИТ-инфраструктуры. Фундаментом для функционирования цифрового двойника служат системы сбора телеметрии (*Internet of Things, IoT*), облачные хранилища данных (*Cloud Storage*) и алгоритмы машинного обучения (*Machine Learning*), предназначенные для непрерывной калибровки и адаптации математической модели к реальному поведению физического прототипа [2].

В инженерной практике и фундаментальной науке ИТ применяются для решения класса задач, аналитическое решение которых невозможно или нецелесообразно. Речь идёт о системах нелинейных уравнений в частных производных (*PDE*), описывающих процессы аэродинамики, прочности конструкций, тепломассопереноса и гидродинамики.

Современные программно-аппаратные комплексы (такие как *Ansys*, *COMSOL* или их отечественные аналоги) базируются на методе конечных элементов (*FEM*) и методе конечных объёмов (*FVM*). Согласно публикациям в Национальной электронной библиотеке (НЭБ), ключевой проблемой здесь является экспоненциальный рост вычислительной сложности: дискретизация модели на миллионы степеней свободы требует использования параллельных вычислений и эффективных решателей (Solver'ов) [3]. Технологический ответ на этот вызов обеспечивается за счёт внедрения технологий *GPGPU* (вычислений общего назначения на графических процессорах) и распределённых кластерных систем.

Например, при моделировании цунами или распространения ударной волны сеточная модель может содержать до 10^8 ячеек. Без применения

технологий распараллеливания кода (стандарты *MPI, OpenMP*) и оптимизации алгоритмов линейной алгебры расчёт подобной модели занял бы годы процессорного времени. Благодаря суперкомпьютерному моделированию инженерное сообщество получает результаты за часы, что является критически важным фактором для предотвращения техногенных катастроф и оперативного принятия управленческих решений.

Если технические науки оперируют законами физики, то социально-экономические системы характеризуются неполнотой данных и высокой стохастичностью и наличием человеческого фактора. Здесь информационные технологии выступают не столько как вычислитель, сколько как инструмент анализа данных.

Традиционные эконометрические модели сегодня уступают место гибридным архитектурам, объединяющим регрессионный анализ с нейросетевыми методами. Анализ научных работ из базы данных научной электронной библиотеки показывает, что наибольшую точность прогнозирования курсов валют или спроса на электроэнергию дают ансамблевые методы (случайный лес, градиентный бустинг) [4].

В данном контексте информационные технологии решают здесь проблему "проклятия размерности". В задаче оценки кредитного риска банка или скоринга клиентов пространство признаков может включать сотни факторов (демографические данные, уровень дохода, история транзакций, макроэкономические индексы). Информационные технологии предлагают эффективные методы снижения размерности без существенной потери информативности: от классических методов главных компонент (*PCA*) до современных нелинейных подходов с использованием автоэнкодеров. Более того, технологии потоковой обработки данных (такие как *Apache Kafka, Spark Streaming*) позволяют перейти от статического моделирования к анализу в реальном времени (*Real-time Analytics*), обеспечивая реакцию на изменение биржевых индексов или рыночных условий с задержкой в миллисекунды.

Заключение

Таким образом, информационные технологии стали не просто инструментом, а катализатором качественной эволюции математического моделирования. В научно-технических задачах они обеспечили переход от упрощенных схем к высокоточным 3D-симуляциям. В социально-экономической сфере они превратили статичные формулы в динамичные прогнозные системы, работающие с Big Data. Дальнейшее развитие будет связано с квантовыми вычислениями и нейроморфными архитектурами, что, вероятно, откроет класс задач, сегодня считающихся неподдающимися моделированию.

Список использованных источников

1. Бондарев, А. Е. Построение обобщенного вычислительного эксперимента в задачах механики сплошных сред / А. Е. Бондарев // Применение технологий виртуальной реальности и смежных информационных систем в междисциплинарных задачах FIT-M 2020 : Сборник тезисов международной научной конференции, Москва, 17–19 декабря 2020 года. – Москва: Издательство "Знание-М", 2020. – С. 51-56. – DOI 10.38006/907345-75-1.2020.51.56. – EDN RHHELN.

2. Макаров, В. Л. Разработка цифровых двойников для производственных предприятий / В. Л. Макаров, А. Р. Бахтизин, Г. Л. Бекларян // Бизнес-информатика. – 2019. – Т. 13, № 4. – С. 7-16. – DOI 10.17323/1998-0663.2019.4.7.16. – EDN NWKMEZ.

3. Мингалиев, З. З. Программный комплекс для прогнозирования смешанных временных рядов с использованием кластеризации / З. З. Мингалиев // Вестник Технологического университета. – 2025. – Т. 28, № 3. – С. 103-110. – DOI 10.55421/3034-4689_2025_28_3_103. – EDN QSBILU.

4. Горобец, А. В. Параллельные алгоритмы повышенной точности для численного моделирования задач газовой динамики и аэроакустики : специальность 05.13.18 "Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ" : диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук / Горобец Андрей Владимирович. – Москва, 2007. – 134 с. – EDN NOUPNJ.

INFORMATION TECHNOLOGIES IN MATHEMATICAL MODELING OF SCIENTIFIC, TECHNICAL AND SOCIO-ECONOMIC PROBLEMS

K.K. Iorgansky, A.V. Skrinnik

Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tuhan-Baranovsky, Donetsk, Russia

The article examines the role of information technologies as the primary tool for implementing mathematical models. The transformation of modeling approaches under the influence of growing computational power and the emergence of artificial intelligence methods is analyzed. It is shown that high-performance computing and numerical modeling make it possible to effectively solve problems in fluid and gas dynamics, structural strength, as well as to forecast the dynamics of macroeconomic indicators. Special attention is paid to the integration of Big Data technologies into socio-economic processes, which improves the accuracy of forecasts.

Keywords: mathematical modeling, information technologies, computational experiment, digital economy, machine learning, numerical methods, big data.

УДК 004.85

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ СХОДИМОСТИ ГРАДИЕНТНОГО СПУСКА ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ЛИНЕЙНОЙ РЕГРЕССИИ

Е.Ю. Казакова, Д.В. Гонштейн

Смоленский государственный университет, г. Смоленск, Россия

В статье представлен процесс сходимости градиентного спуска при обучении модели линейной регрессии на языке Python, с использованием библиотек NumPy, MatPlotlib и IPython. Рассматривается алгоритм градиентного спуска, его математическая основа и влияние различных параметров на обучение. Градиентный спуск

визуализируется засчет анимации, предоставляющей возможность наблюдать за изменением весов и уменьшении среднеквадратичной ошибки. В статье показаны результаты моделирования и таблица сходимости. В заключение, отмечается, что визуализация представляет собой мощный инструмент в исследовательных целях при изучении основ оптимизации машинного обучения.

Ключевые слова: машинное обучение, Python, градиентный спуск, линейная регрессия, анимация, сходимость, визуализация.

В задачах линейной регрессии используется множество различных алгоритмов [1, 2]. Одним из них является градиентный спуск. Он является также неотъемлемой частью машинного обучения.

Градиентный спуск – это фундаментальный алгоритм оптимизации, который применяют в машинном обучении для минимизации функции потерь [3]. Наиболее актуальной задачей градиентного спуска является наглядное интерпретирование процесса обучения, позволяющее диагностировать расхождение или затухание, а также обоснованно подбирать параметры.

В статье будет рассматриваться задача линейной регрессии, где целевая функция имеет вид: $y = \omega \cdot x + b$.

Для оценки качества рассматривается среднеквадратичная ошибка (СКО). Методом градиентного спуска осуществляется оптимизация весов ω и b, благодаря чему на каждой итерации параметры обнавляются в противоположном направлении от градиента функции потерь [4].

Программа решения задачи реализована на языке Python с использованием библиотек NumPy для вычислений [5] и Matplotlib для визуализации [6]. Данные нормированы, чтобы обеспечить устойчивость сходимости. Для генерации данных взяты истинные коэффициенты $\omega = 1{,}4$, $b = 4$ с использованием гауссова шума. Начальные значения весов равны нулю, скорость обучения составляет 0,15, а количество итераций взято равным 80.

В ходе обучения на каждом шаге сохраняются исходный масштаб значений весов и значение среднеквадратичной ошибки, что позволяет построить анимацию, в виде двух графиков: графика экспериментальных точек с прямой регрессии и графика динамики изменений ошибки (см. рисунок 1).

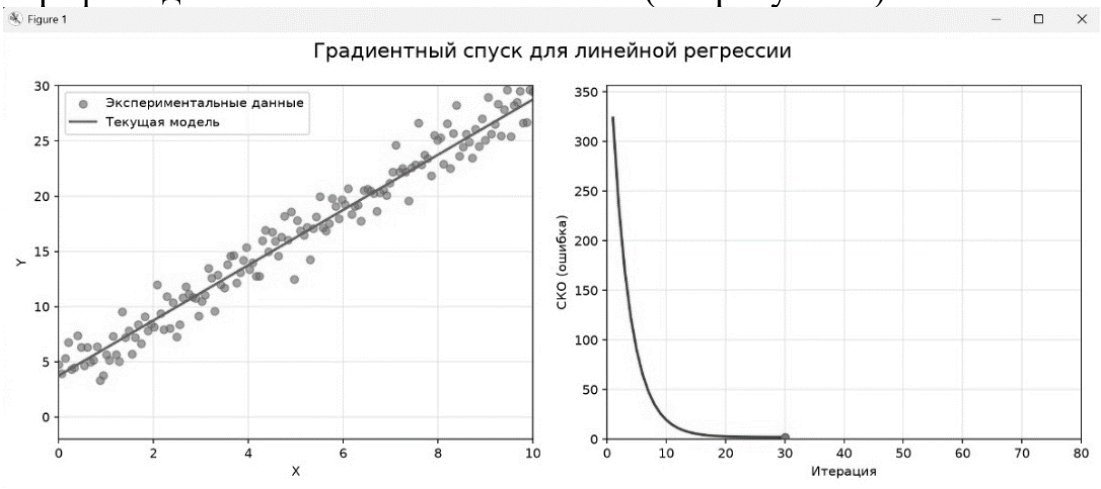


Рисунок 1 – Скриншот программы визуализации сходимости градиентного спуска

Ниже представлен фрагмент кода, реализующий основной цикл обучения и визуализацию:

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from matplotlib.animation import FuncAnimation
from IPython.display import HTML
# 1. ГЕНЕРАЦИЯ ДАННЫХ
np.random.seed(42)  # Для воспроизводимости
n_points = 150
x = np.linspace(0, 10, n_points)
true_w, true_b = 2.5, 4.0
noise = np.random.normal(0, 1.5, n_points)
y = true_w * x + true_b + noise
# Нормировка данных (для устойчивости градиентного спуска)
x_mean, x_std = np.mean(x), np.std(x)
x_norm = (x - x_mean) / x_std
# 2. ПАРАМЕТРЫ ОБУЧЕНИЯ
learning_rate = 0.15
n_iterations = 80
w, b = 0.0, 0.0  # Начальные веса
history = []
# 3. ФУНКЦИЯ ГРАДИЕНТНОГО СПУСКА
def gradient_descent(x, y, w, b, lr):
    """Один шаг градиентного спуска"""
    n = len(x)
    y_pred = w * x + b
    error = y_pred - y
  # Производные (градиенты)
    dw = (1 / n) * np.sum(error * x)
    db = (1 / n) * np.sum(error)
    # Обновление весов
    w_new = w - lr * dw
    b_new = b - lr * db
# Считаем MSE (СКО, среднеквадратичную ошибку)
    mse = np.mean(error ** 2)
return w_new, b_new, mse
# 4. ОБУЧЕНИЕ (СБОР ИСТОРИИ)
for i in range(n_iterations):
    w, b, mse = gradient_descent(x_norm, y, w, b, learning_rate)
    # Для визуализации сохраняем весы в исходном масштабе
    w_orig = w / x_std
    b_orig = b - w * x_mean / x_std
    history.append((w_orig, b_orig, mse, i + 1))
```

В данном коде проводится генерация данных путем случайных точек и их нормировки, вводится параметры обучения. Далее для функции градиентного

спуска рассматриваем каждый шаг, начиная с первого. Затем берутся производные (градиенты) функции, с помощью которых находятся значения новых весов и, в конечном счете, вычисляется СКО. В процессе обучения сохраняются весы функции в изначальном масштабе.

Как видно из таблицы, уже на тридцатой итерации значения близки к истинным, а дальнейшее обучение дает незначительное улучшение, что говорит о правильной настройке скорости обучения.

Таблица 1 – Значения коэффициентов и ошибки на этапах обучения

Номер итерации	ω	b	СКО
1	1,27	0,90	53,21
10	2,10	3,12	8,45
30	2,42	3,84	2,33
50	2,49	3,96	2,12
80	2,51	4,01	2,08

Таким образом, разработанная программа дает возможность наглядно исследовать процесс градиентного спуска, оценивая влияние параметров и выявляя проблемы расхождения и медленной сходимости. Также показано, что визуализация является мощным инструментом исследования, особенно при изучении основ оптимизации машинного обучения. Представленный подход можно легко адаптировать и для других моделей функций потерь.

Список используемых источников

1. Сныткина Д. А. Решение линейных бизнес-задач оптимизации с использованием MS Excel / Д. А. Сныткина, И. С. Харченков // Актуальные проблемы науки и образования в условиях современных вызовов: Сборник материалов XXII Международной научно-практической конференции, Москва, 11 июля 2023 года. – Москва: Печатный цех, 2023. – С. 79-87. – EDN JOSTTM.

2. Козлов С. В. Использование методов функционального анализа для принятия оптимальных решений в экономических информационных системах / С. В. Козлов // Информационные технологии в моделировании и управлении: подходы, методы, решения : V Всероссийская научная конференция с международным участием: сборник материалов, Тольятти, 20–22 апреля 2022 года / Отв. за выпуск Е.В. Панюкова. – Тольятти: Тольяттинский государственный университет, 2022. – С. 444-453. – EDN DJQWXT.

3. Иванов Д. А. Об адаптивных методах градиентного спуска / Д. А. Иванов М. К. Прошляков // Неделя науки Санкт-Петербургского государственного морского технического университета. – 2023. – Т. 1, № 1. – С. 364-371. – EDN HNMQOL.

4. Саетова Л. Г. Нейронная сеть и регрессия: описание линейной регрессии в нейронных сетях / Л. Г. Саетова, М. М. Горохов // Информационные технологии в науке, промышленности и образовании: Сборник трудов научно-технической конференции в рамках Всероссийского молодежного научного форума

«Общение студентов и аспирантов в научной и профессиональной сферах», Ижевск, 26 мая 2021 года. – Ижевск: Издательство УИР Ижевского государственного технического университета имни М. Т. Калашникова, 2021. – С. 15-21. – EDN QRGOWW.

5. Гречкин В. А. Введение в numpy / В. А. Гречкин // Актуальные проблемы гуманитарных и общественных наук: Сборник статей X Всероссийской научно-практической конференции, Пенза, 18–19 сентября 2024 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2024. – С. 62-65. – EDN MWIZOI.

6. Семенова В. Д. Использование Python - библиотеки Matplotlib для построения графиков математических функций / В. Д. Семенова, Е. Д. Паршина // Математические модели техники, технологий и экономики: Материалы Всероссийской студенческой научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 15 мая 2024 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, 2024. – С. 375-378. – EDN HRFQWN.

VISUALIZING GRADIENT DESCENT CONVERGENCE IN SOLVING A LINEAR REGRESSION PROBLEM

E.Yu. Kazakova, D.V. Hohnshtein

Smolensk State University,
Smolensk, Russia

This article presents the gradient descent convergence process for training a linear regression model in Python using the NumPy, MatPlotlib, and IPython libraries. It discusses the gradient descent algorithm, its mathematical basis, and the impact of various parameters on training. Gradient descent is visualized using animation, allowing one to observe changes in weights and the reduction in mean squared error. The article presents the simulation results and a convergence table. In conclusion, it is noted that visualization is a powerful tool for research purposes when studying the fundamentals of machine learning optimization.

Keywords: machine learning, Python, gradient descent, linear regression, animation, convergence, visualization.

УДК 339.138

УПРАВЛЕНИЕ ЦЕПОЧКАМИ ПОСТАВОК В ЭЛЕКТРОННОЙ КОММЕРЦИИ НА ПРИМЕРЕ WILDBERRIES

Э.М. Калимуллина, А.С. Юсупова

Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Россия

Статья посвящена исследованию управления цепочками поставок в сфере электронной коммерции на примере российского маркетплейса Wildberries. Актуальность темы обусловлена ростом рынка онлайн-торговли и роли логистики

как основного фактора конкурентоспособности маркетплейсов. В условиях, когда количество продавцов и товарных позиций на платформе растёт, традиционные подходы к управлению запасами и доставкой перестают в полной мере эффективно функционировать. Целью работы является выявление особенностей организации цепочек поставок в Wildberries, анализ применяемых моделей фулфилмента и оценка влияния цифровых технологий на эффективность логистических процессов. Методологическую основу исследования составил анализ, включающий изучение сведений о компании, отраслевых обзоров, а также научных публикаций по логистике маркетплейсов. В работе использованы элементы сравнительного и контент-анализа. Результаты исследования показали, что Wildberries успешно применяет три основные модели управления поставками. Выявлено, что основным фактором масштабируемости логистики выступает цифровизация, включая систему КИЗ для трекинга товаров, интернет вещей для мониторинга грузов и алгоритмы искусственного интеллекта для прогнозирования спроса. Сделан вывод о том, что дальнейшее развитие управления цепочками поставок в Wildberries должно идти по пути гибридизации моделей и углубления интеграции прогнозной аналитики в операционные процессы.

Ключевые слова: управление цепочками поставок, электронная коммерция, маркетплейс, Wildberries, модели фулфилмента, цифровизация логистики.

Текущий этап развития экономики характеризуется цифровизацией торговли, так6 объём российского рынка электронной коммерции в 2025 году достиг 13,4 трлн рублей, при этом на долю маркетплейсов приходится около 62% всех онлайн-продаж [1]. В этой связи управление цепочками поставок (Supply Chain Management, SCM) перестаёт быть технической функцией и превращается в стратегический ресурс. Компания Wildberries, являясь лидером рынка, представляет собой уникальный объект для изучения.

Цель работы проанализировать организацию цепочек поставок в Wildberries, выявить используемые модели и оценить роль цифровых технологий.

Теоретической основой выступает концепция Логистики 4.0, которая предполагает внедрение интернета вещей, больших данных и искусственного интеллекта в процессы хранения и доставки [2]. В сфере электронной коммерции управление цепочками поставок включает в себя не только транспортировку, но и интеграцию с ИТ-системами маркетплейса, так, согласно работе [3, с. 125], эффективность SCM напрямую зависит от выбора модели распределения ответственности между владельцем товара и оператором площадки. Методология основана на анализе открытых данных, а также обзоре публикаций в профильных изданиях, включая материалы о цифровизации логистических процессов [4, с. 330].

В современной практике управления цепочками поставок на маркетплейсах сформировано несколько моделей взаимодействия между оператором площадки и продавцом, и выбор конкретной схемы определяет распределение операционных расходов, уровень контроля над товарными запасами и скорость

обработки заказа. На примере Wildberries можно выделить три модели, которые различаются по степени участия маркетплейса в логистических процессах.

Первая модель получила название FBO (Fulfillment by Operator) или на площадке Wildberries FBW (Fulfillment by Wildberries), и её сущность заключается в полном аутсорсинге логистических функций. Продавец доставляет товар на склад маркетплейса, после чего вся ответственность за хранение, комплектацию, упаковку, маркировку и доставку конечному покупателю переходит к Wildberries. Эта модель обеспечивает максимальную скорость обработки заказа, поскольку товар уже находится в распределительном центре, но она требует от продавца заморозки оборотных средств в объёме складских запасов и предполагает наиболее высокий уровень комиссионного вознаграждения.

Вторая модель обозначается как FBS (Fulfillment by Seller), продавец самостоятельно хранит товар на собственном или арендованном складе, а также занимается его упаковкой и подготовкой к отправке. Wildberries в этом случае выполняет функции сортировки и доставки так называемой «последней мили» от своего сортировочного центра до пункта выдачи или курьером до покупателя [5]. Эта схема стала популярной после того, как маркетплейс разрешил использовать «третьи» адреса для хранения крупногабаритных товаров [4, с. 331]. Комиссия при FBS ниже, чем при FBO, но продавец несёт ответственность за своевременную отгрузку заказа на сортировочный центр.

Третья модель известна как DBS (Delivery by Seller, и её сущность сводится к тому, что маркетплейс выступает исключительно витриной для размещения товарных предложений. Wildberries не участвует в логистике ни на одном из этапов, а продавец самостоятельно хранит, упаковывает и доставляет заказ покупателю любыми доступными способами. Эта модель применяется достаточно редко, и она востребована при торговле скоропортящимися продуктами, при реализации уникальных штучных товаров с длительным циклом производства, а также в период тестирования новых категорий, когда продавец ещё не готов инвестировать в складские запасы на площадке.

При схеме дропшиппинга продавец выступает посредником между оптовым поставщиком и маркетплейсом. Продавец не касается товара физически, а передаёт заказ поставщику, который отправляет товар напрямую покупателю [5], при этом, комиссия маркетплейса при дропшиппинге минимальна, но и уровень контроля за качеством доставки со стороны продавца практически отсутствует. Выбор модели, как правило, определяется товарной категорией, оборачиваемостью запасов и опытом работы продавца на маркетплейсе.

Таким образом, анализ показывает, что FBO ориентирована на стандартизацию и скорость, FBS даёт баланс между контролем и издержками, а DBS и дропшиппинг предоставляют максимальную гибкость при минимальном участии маркетплейса. Сравнительный анализ моделей управления поставками в Wildberries приведён в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительный анализ моделей управления поставками в Wildberries

Параметр	Модель FBO	Модель FBS	Модель DBS
Место хранения товара	Склад Wildberries	Склад продавца или партнёрский склад	Склад продавца
Ответственность за упаковку и маркировку	Оператор маркетплейса	Продавец	Продавец
Логистика последней мили	Оператор маркетплейса	Оператор маркетплейса от сортировочного центра	Продавец самостоятельно
Уровень комиссии	Высокий	Средний	Низкий
Рекомендуемая сфера применения	Массовые товары, старт продаж	Крупногабарит, низкооборачиваемая продукция	Скоропортящиеся товары, тестовые позиции

Наиболее распространённой является модель FBO, при которой продавец только поставляет товар на склад, а всё остальное берёт на себя Wildberries [6]. Это идеальный вариант для новичков, но для крупных селлеров с уникальным ассортиментом выгоднее модель FBS, где продавец использует собственные складские мощности. С недавнего времени Wildberries разрешил использовать «третьи» адреса для хранения, что является прямым следствием развития концепции гибридной логистики.

Основным элементом, обеспечивающим работу перечисленных моделей, выступает сквозная цифровизация, так, Wildberries внедрила систему КИЗ (Контроль идентификации загрузки), которая позволяет отслеживать каждый товар с помощью уникального кода на всех этапах логистической цепочки [6]. Это значительно сокращает время приёмки и минимизирует человеческие ошибки, и параллельно используются алгоритмы искусственного интеллекта для автоматизации планирования поставок. Согласно [7], современные нейросети способны прогнозировать спрос на миллионы товарных единиц с высокой точностью, что позволяет оптимизировать товарные запасы на распределительных центрах и избегать кассовых разрывов у продавцов.

Полученные результаты показывают, что стратегия Wildberries в управлении цепочками поставок смещается от централизации к построению экосистемы, где продавец может выбирать степень своего участия в логистике. Тем не менее, существуют и проблемные зоны, так, интерфейс для планирования поставок по модели FBS остаётся недостаточно интуитивным, а штрафные санкции за опоздания воспринимаются партнёрами как избыточные [8]. Сравнение с конкурентами показывает, что Wildberries лидирует по скорости базовой доставки, но уступает в гибкости аналитических отчётов для продавцов. Дальнейшее развитие SCM в компании, вероятно, будет связано с углублением интеграции

современных информационных технологий не только для прогнозирования, но и для маршрутизации доставки в режиме реального времени.

Управление цепочками поставок в Wildberries строится на гибридном подходе, сочетающем полный фулфилмент для массовых товаров и децентрализованное хранение для нишевых позиций. Эффективность этих моделей зависит от уровня цифровизации. Направлением совершенствования остаётся улучшение пользовательского интерфейса для продавцов и снижение регуляторных рисков.

Список использованных источников

1. Интернет-торговля в России 2026: маркетинговое исследование. – URL: https://datainsight.ru/DI_eCommerce_2026 (дата обращения: 12.06.2026).

2. Будущее логистики – как преодолеть ограничения и ожидания с помощью логистики 4.0. – URL: https://logists.by/blog/buduschee-logistiki (дата обращения: 12.06.2026).

3. Петрова, В. С. Логистика как фактор развития экономики региона / В. С. Петрова // Инновационное развитие экономики: тенденции и перспективы. – 2023. – Т. 1. – С. 122-132. – EDN DHHJUX

4. Волкова, М. А. Эффективная работа с маркетплейсом Wildberries: основные направления оптимизации издержек / М. А. Волкова // Аллея науки. – 2023. – Т. 1, № 7(82). – С. 328-332. – EDN ZPMKUS

5. Логистика Wildberries: как выбрать подходящую форму. – URL: https://marketguru.io/secrets/wb-dlya-novichkov/logistika-wildberries (дата обращения: 12.06.2026).

6. Что такое КИЗ и маркировка товаров. – URL: https://pro.wildberries.ru/insight/chto_takoe_kiz_i_markirovka_tovarov (дата обращения: 12.06.2026).

7. Автоматизация планирования поставок на WB с помощью искусственного интеллекта. – URL: https://legasoft.ru/about/blog/marketpleysy/avtomatizatsiya-planirovaniya-postavok-s-pomoshchyu-iskusstvennogo-intellekta (дата обращения: 12.06.2026).

8. У Wildberries & Russ замедлились темпы роста оборота и прибыли. – URL: https://www.kommersant.ru/doc/8552234 (дата обращения: 12.06.2026).

SUPPLY CHAIN MANAGEMENT IN E-COMMERCE: A CASE STUDY OF WILDBERRIES

E.M. Kalimullina, A.S. Yusupova

Kazan State Power Engineering University,
Kazan, Russia

This article examines supply chain management in e-commerce using Wildberries, Russia's largest marketplace, as an example. The topic is relevant given the rapid growth of the online retail market and the increasing role of logistics as a key factor in marketplace competitiveness. With the number of sellers and product SKUs on the platform growing, traditional approaches to inventory and delivery management are becoming increasingly ineffective. The aim of this study is to identify the specifics of

supply chain management at Wildberries, analyze the fulfillment models used, and assess the impact of digital technologies on the efficiency of logistics processes. The methodological basis of the study includes an analysis of company financial statements, industry reviews, and scientific publications on marketplace logistics. The study utilizes elements of comparative and content analysis. The study's results showed that Wildberries successfully implements three main supply chain management models. Digitalization, including a KIZ system for product tracking, the Internet of Things for cargo monitoring, and artificial intelligence algorithms for demand forecasting, was identified as a key factor in logistics scalability. It was concluded that further development of supply chain management at Wildberries should focus on hybridization of models and deeper integration of predictive analytics into operational processes.

Key words: supply chain management, e-commerce, marketplace, Wildberries, fulfillment models, logistics digitalization

УДК 004.8+331

ВЛИЯНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ТРУДА И ТРАНСФОРМАЦИЮ РЫНКА ЗАНЯТОСТИ

Н.И. Кириякова, Е.Д. Медякова

Уральский государственный экономический университет, г. Екатеринбург, Россия

В статье рассматривается влияние технологий искусственного интеллекта на производительность труда и трансформацию занятости на российском рынке труда. Рассматривается взаимосвязь уровня занятости и численности работников в сфере IT и в сфере применения ИИ. Особое внимание уделяется количественным показателям эффективности внедрения ИИ и структурным сдвигам в требованиях к компетенциям сотрудников.

Ключевые слова: искусственный интеллект; рынок труда; производительность; автоматизация; аугментация, ключевые аспекты внедрения ИИ.

Влияние искусственного интеллекта на рабочие процессы представляет собой не просто ускорение выполнения существующих задач, а переход к модели аугментации - целенаправленному дополнению и усилению человеческих способностей с помощью технологических инструментов.

Наибольшему воздействию процессов автоматизации подвержены профессиональные роли, связанные с обработкой структурированных данных и выполнением действий по чётко заданным алгоритмам[4].

Появляются не только новые функции, но и новые профессии: архитектор ИИ- систем, менеджер ИИ- проектов, специалист по оценке моделей.

ИИ проникает и в другие сферы: финансы, медицину, маркетинг, логистику. Поэтому спрос на « смешанные» компетенции растет и за пределами «чистого» IT. Внедрение ИИ реализуется в нескольких ключевых аспектах:

1. Сокращение затрат умственных усилий на выполнение типовых операций.

2. Устранение барьеров на пути освоения профессиональных навыков.

3. Высокопроизводительная алгоритмическая аналитика[6].

Но спрос на продвинутых ИИ – специалистов растет быстрее, чем система образования успевает готовить такие кадры[5].

Таким образом, с одной стороны появляются новые вакансии и возможности, с другой, с другой стороны часть линейных позиций трансформируется или сокращается, поэтому массовых увольнений из-за применения ИИ пока не происходит.

Влияние искусственного интеллекта в российской экономике можно проследить по динамике производительности труда в РФ, и изменению численности специалистов IT и специалистов в сфере использования искусственного интеллекта[2].

Таблица 1 показывает динамику производительности труда в экономике РФ в период с 2021-2026г.г. Это время после пандемии, начала специальной военной операции и огромного количества введенных санкций против России.

Принятые государственные программы регулирования экономики и поддержки бизнеса приводят к росту производительности труда в российской экономике, несмотря на внешние вызовы.

Таблица 1 – Динамика производительности труда в РФ

	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Изменения в производительности труда (в % к предыдущему году)	103,7	100,1	101,8	103,4	102,9	104,6

Составлено автором по [1]

Как можно увидеть в таблице 1, в 2021г рост на 3,7% производительности труда отражает рост общей производственной активности после пандемии.

В 2022г. экономика РФ продолжает ощущать влияние внешних шоков, в том числе многочисленных введенных санкций, что в первую очередь

сказывается на сфере услуг и торговле. В результате происходит снижение производительности труда на 3,6%.

В 2023г. за счет роста производства в обрабатывающей промышленности, оптимизации процессов, внедрения новых решений повышается производительность труда на 1,7%.

В 2024г. производительность труда в различных секторах экономики изменяется по-разному. Более быстрыми темпами развиваются фармацевтика, автомобильная промышленность, химическая отрасль, производство композитных материалов. В тоже время, в других сферах: жилищно-коммунальное хозяйство, транспортировка и хранение, торговля - рост был слабым или отсутствовал совсем. За счет быстро развивающихся отраслей рост составил 1,6%.

В 2025г. зафиксировано небольшое снижение производительности труда на 0,5%. Начинает сказываться дефицит кадров (при очень низком уровне безработицы) и структурные сдвиги в экономике.

В 2026г. происходит рост на 1,7% .

Таким образом, динамика производительности труда в России в 2021-2026годах была очень неровной: периоды роста сменялись замедлением, спадом. В разных отраслях экономики эффект проявлялся по-разному. Внешние шоки создавали перепады, после шоков следовали периоды восстановления.

Неравномерность развития производительности труда в РФ отражает и рис.1.

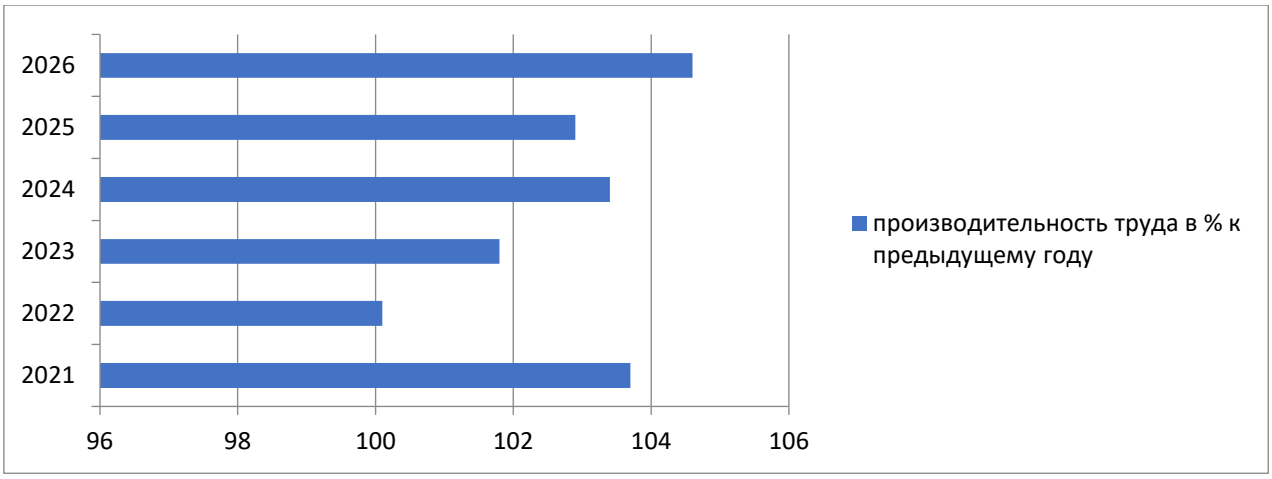


Рисунок 1 – Производительность труда в РФ период 2021-2026г.г. (в % к предыдущему году)

Составлено автором на основе данных таблицы 1.

Таблица 2 показывает взаимосвязь изменений в уровне занятости, росте числа специалистов в IT сфере и сфере применения искусственного интеллекта в период с 2021-2026г.г. в российской экономике. На фоне роста количества занятых на российском рынке труда, увеличивается и численность IT специалистов и специалистов в сфере применения ИИ[3].

Таблица 2 – Динамика занятости, числа специалистов в IT сфере и в сфере применения искусственного интеллекта (ИИ) в РФ

	2021	2022	2023	2024	2025	2026 (прогноз)
Количество занятых на рынке труда (в млн.чел.)	72,3	72,9	73,6	74,2	74,8	74,7
Численность IT специалистов (млн. чел.)	1,65	1,7	1,85	1,55	1,88	2,4
Численность специалистов в сфере применения ИИ (млн. чел.)[1]	0,0101	0,0198	0,0483	0,0574	0,0747	0,089

Составлено автором по [9]

Данные таблицы 2 отражают рост числа IT специалистов в РФ в период с 2021-2026г.г. Но одновременно с этим растет спрос на специалистов с компетенциями в сфере ИИ, что показывает и рисунок 2.

Рисунок 2 показывает взаимосвязь численности IT специалистов и специалистов в сфере применения ИИ в РФ в рассматриваемый период.

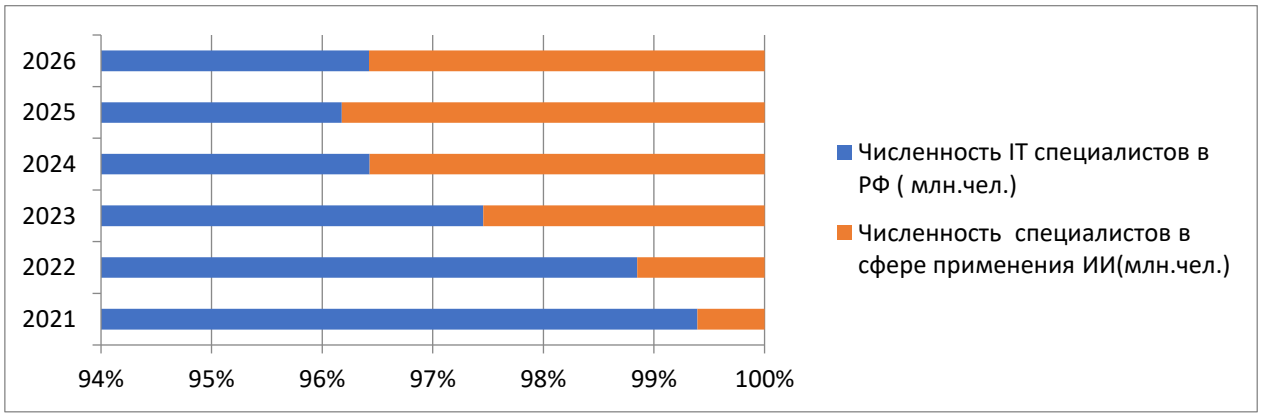


Рисунок 2 – Взаимосвязь изменения численности IT специалистов и специалистов в сфере применения ИИ в РФ в период с 2021-2026г.г.

Составлено автором по таблице 2.

2021 г. становится стартовым - на это повлияла пандемия и переход компаний на удаленную работу, что сформировало потребность в технологиях, которые оптимизируют все процессы в этих условиях и обеспечивают

[1] Данные НИУ ВШЭ (учитывались разработчики и архитекторы ИИ)

безопасность деятельности. Это отразилось на вакансиях с прямым упоминанием терминов « искусственный интеллект».

В 2022г. темпы прироста снижаются, но растет потребность в специалистах, которые умеют работать с запросами к ИИ системам - это промпт- инженеры.

В 2023г. возрастает потребность в сотрудниках, которые умеют работать с конкретными инструментами –GPT моделями. Так, по данным Коммерсанта, количество таких вакансий возросло в 6 раз, по сравнению с 2022г.[3]. Появились новые профильные роли-тренеры ИИ, специалисты по разметке данных.

В 2024г. – продолжается расширение сфер применения. ИИ выходит за рамки IT.Его внедряют в медицину, робототехнику, биотехнологии, финтех, ретейл, госсектор[7,8]. Число вакансий с упоминанием ИИ увеличивается.

В 2025г.рост продолжается, но возникает несоответствие между спросом и предложением .Спрос растет быстрее, чем предложение.

В 2026г. спрос растет, но теперь компаниям требуется внедрение и интеграция ИИ в реальный бизнес. Требуются эксперты, понимающие предметную область ,которые могут формулировать бизнес - задачи для ИИ, специалисты по безопасному использованию технологий.

При этом спрос на специалистов в сфере ИИ дифференцируется. Это спрос на ML-инженеров, дата- сайентистов, инженеров по внедрению ИИ, промптов-инженеров, AI-тренеров.

То есть, искусственный интеллект не просто создает отдельные вакансии - он меняет профиль многих IT ролей. Так ,разработчик теперь должен уметь интегрировать модели в общую IT систему, аналитик- интерпретировать результаты с помощью нейросетей. DevOps-инженер- автоматизировать процессы с помощью ИИ- инструментов.

Связь эта двусторонняя: ИИ трансформирует IT-занятость, а потребности рынка, в свою очередь, стимулируют появление новых ИИ- профессий.

ИИ трансформирует рынок труда: часть задач уходит машинам, но одновременно растут спрос на гибридные роли (человек + ИИ) .Появляются новые сферы деятельности. Успех в таких условиях будет зависеть от способности хозяйственных субъектов (как работников, так и компаний) постоянно учиться и адаптироваться.

Список использованных источников

1. Индекс производительности труда/ Эффективность экономики России/Официальная статистика/Статистика//Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. -URL:https://rosstat.gov.ru/folder/11186 (дата обращения: 31.07.2026).

2. Индикаторы цифровой экономики 2025 // Ведомости. - 2025. - URL: https://www.vedomosti.ru/press_releases/2025/03/20/indikatori-tsifrovoi-ekonomiki-2025-novii-statsbornik-isiez-niu-vshe (дата обращения: 31.07.2026).

3. Искусственный интеллект: последние новости//Коммерсантъ.- https://www.kommersant.ru/theme/2912 (дата обращения: 31.07.2026).

4. Кириякова Н.И.Модели развития современного информационного общества и их особенности в России//В сборнике: Управление экономикой, системами, процессами. Сборник статей IX Международной научно-практической конференции. Пенза, 2025. С. 834-838.

5. Контакт-центр будущего: как достичь синергии искусственного интеллекта и человека // Forbes.-2024.-URL: https://www.forbes.ru/brandvoice/551978-kontakt-centr-budusego-kak-dostic-sinergii-iskusstvennogo-intellekta-i-celoveka(дата обращения: 31.07.2026).

6. Корсакова Е.А.Теоретические основы исследования конкурентоспособности предприятия и ее факторов//В сборнике: Менеджмент и предпринимательство в парадигме устойчивого развития. Материалы VII Международной научно-практической конференции. Екатеринбург, 2024. С. 84-87.

7. О чем говорят IT- и ИИ-проекты // Банковское обозрение. -2025. -20 августа. -URL: https://bosfera.ru/bo/o-chem-govoryat-it-i-ib-proekty(дата обращения: 31.07.2026).

8. Применение ИИ и анализ данных в финансовой сфере РФ // Финансовый университет при Правительстве РФ. -2025.- 18 декабря. -URL: https://www.fa.ru/university/structure/university/uso/press-service/press-releases/primenenie-ii-i-analiz-dannykh-v-finansovoy-sfere-rf(дата обращения: 31.07.2026).

9. Серия информационно-аналитических материалов «Искусственный интеллект»2024-2026г.г.//Институт статистических исследований и экономики знаний НИУ ВШЭ [Электронный ресурс]/-URL:https://issek.hse.ru/ai(дата обращения: 31.07.2026).

THE IMPACT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE ON LABOR PRODUCTIVITY AND THE TRANSFORMATION OF THE EMPLOYMENT MARKET

N.I. Kiriyakova, E.D. Medyakova

Ural State University of Economics,
Yekaterinburg, Russia

The article examines the impact of artificial intelligence technologies on labor productivity and the transformation of employment in the Russian labor market. It explores the relationship between the level of employment and the number of employees in the IT sector and the field of AI applications. Special attention is given to quantitative indicators of the effectiveness of AI implementation and structural changes in the requirements for employee competencies.

Keywords: artificial intelligence; labor market; productivity; automation; augmentation; key aspects of AI implementation.

УДК 51-74

АЛГОРИТМ ВЫБОРА МАРШРУТА МИНИМАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ С УЧЁТОМ СВЕТОФОРНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

А.А. Клейменов, В.В. Кузина

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, г. Пенза, Россия

В статье рассматривается алгоритм выбора маршрута минимального времени в городской дорожной сети при свободном движении. Для поиска возможных маршрутов используется алгоритм обхода графа в глубину. Каждый найденный маршрут оценивается по времени прохождения с учётом длины участков, поворотов, разгона, торможения, времени отправления и фаз светофорного регулирования. Проверка алгоритма выполнена на участке городской дорожной сети.

Ключевые слова: транспортная сеть, ориентированный граф, маршрут минимального времени, алгоритм DFS, светофорное регулирование, время прибытия.

В городской дорожной сети выбор минимального по времени маршрута не всегда зависит только от расстояния. Даже при свободной дороге время движения зависит от локальных особенностей пути: длины участков, поворотов, разгона, торможения и попадания автомобиля в фазы светофорного цикла.

На практике более короткий маршрут может оказаться менее выгодным по времени. Автомобиль может попасть на несколько запрещающих сигналов светофора, потерять скорость на поворотах или не успеть разогнаться до максимально допустимой скорости на коротких участках. Поэтому в статье рассматривается алгоритм, который сравнивает маршруты по итоговому времени прибытия, а не только по длине пути.

Разработанная модель предназначена для условий свободного движения. Пробки, плотность транспортного потока, аварийные ситуации и перераспределение автомобилей по сети в расчёт не включаются. Основное внимание уделено светофорным задержкам и локальным параметрам движения автомобиля.

Дорожная сеть представляется в виде ориентированного графа $G = (V, E)$, где V – множество вершин, соответствующих перекрёсткам, светофорам и другим узлам дорожной сети, E – множество дуг, задающих направления движения между этими узлами. После построения графа формируется матрица смежности $A = [a_{ij}]$, $i, j = 0, \ldots, n-1$, $n = |V|$ – количество вершин графа. Если между вершинами существует направленный участок дороги, соответствующий элемент матрицы принимает значение, указывающее на наличие связи. Если переход невозможен, связь между вершинами отсутствует [1, 2].

Для поиска возможных маршрутов используется алгоритм обхода графа в глубину – *DFS*. В нашем случае он применяется для формирования множества всех допустимых маршрутов между начальной (s) и конечной (t) вершинами. Повторное прохождение вершины в пределах одного маршрута не допускается, что позволяет исключить циклы. Каждый найденный маршрут представляется как

последовательность вершин $P = (v_0, v_1, \ldots, v_m)$, где $v_0 = s$, $v_m = t$, а каждая пара вершин (v_i, v_{i+1}) соответствует одному участку дорожной сети. Расчёт выполняется не для графа в целом, а отдельно для каждого маршрута P.

Для каждого маршрута сначала определяются углы поворотов в промежуточных вершинах. Если рассматриваются три последовательные вершины (v_{i-1}, v_i, v_{i+1}), то направление движения на предыдущем участке задаётся вектором $\vec{u}$, а направление следующего участка вектором $\vec{v}$: $\vec{u} = (u_x, u_y),\ \vec{v} = (v_x, v_y)$.

Угол между соседними участками определяется, как $\theta = \vec{u}\vec{v}/(|\vec{u}||\vec{v}|)$, и используется для расчёта скорости прохождения поворота:

$$V_{turn} = \theta k V_{\max},$$

где k – коэффициент влияния угла на снижение скорости, $V_{\max}$ –максимальная скорость движения.

Затем для каждого участка рассчитывается время движения автомобиля. Расчёт времени прохождения участка основан на известных кинематических зависимостях движения с постоянным ускорением и торможением [3, 4]. В модели учитываются: максимальная скорость, ускорение, замедление, длина участка и необходимость снижения скорости перед поворотом. Если перед следующим участком требуется торможение, дистанция торможения определяется по формуле $S_{dec} = (V_{\max}^2 - V_{turn}^2)/2b$ и проверяется условие $S_{acc} + S_{dec} < S_d$?

Здесь b – замедление (или торможение, отрицательное ускорение), S_{acc} и S_{dec} – дистанции, соответственно, разгона и торможения, S_d – длина текущего участка.

Если условие выполняется, движение участка делится на три фазы: разгон, движение с постоянной скоростью и торможение. Если длины участка недостаточно, автомобиль разгоняется только до пиковой скорости, после чего тормозит до скорости прохождения поворота. При этом, если угол поворота меньше 30°, снижение скорости не учитывается, и фаза торможения исключается из расчёта.

После расчёта времени прибытия к следующей вершине проверяется наличие светофора. Положение момента прибытия внутри светофорного цикла определяется по формуле

$$t_{light} = (t_1 - t_{start}) \bmod (T_g + T_r),$$

где t_1 – момент прибытия к светофору, t_{start} – момент начала цикла, T_g и T_r – длительность зелёной и красной фаз светофора соответственно. Если выполняется условие $t_{\text{light}} < T_{\text{g}}$, то автомобиль проходит перекрёсток без задержки, иначе автомобиль попадает на запрещающий сигнал, скорость принимается равной нулю, а время прибытия увеличивается на время ожидания до следующей разрешающей фазы.

Расчёт выполняется последовательно по всему маршруту. Скорость и время, полученные в конце одного участка, передаются как исходные данные для следующего. За счёт этого учитывается влияние времени отправления: один и тот же маршрут может давать разное время прибытия при попадании автомобиля в разные фазы светофоров.

Разработанный алгоритм позволяет выбирать маршрут минимального времени в городской дорожной сети при свободном движении. В отличие от поиска

кратчайшего пути по расстоянию, предложенный подход учитывает длины участков, повороты, параметры движения автомобиля, время отправления и фазы светофорного регулирования [5, 6].

Проверка на фрагменте дорожной сети показала, что кратчайший по расстоянию маршрут не всегда является наиболее выгодным по времени. При свободной дороге на итоговое время прибытия могут влиять светофорные задержки, момент прибытия к регулируемым перекрёсткам и снижение скорости при поворотах.

Область применения модели ограничена условиями свободного движения. Алгоритм не учитывает пробки и плотность транспортного потока, но позволяет оценить влияние локальных инфраструктурных факторов, которые сохраняют значение даже при отсутствии заторов.

Список использованных источников

1. Кузина, В.В. Алгоритм маршрутизации транспортных средств в дорожной сети с учетом инфраструктурных ограничений / В.В. Кузина, А.А. Клейменов // Научно-технический вестник Поволжья. – 2026. – № 4. – С. 32-34. – EDN: ICHUDO.

2. Кузина, В.В., Кошев А.Н. Сети и графы в теории информационных систем: учеб. пособ. / В.В. Кузина, А.Н. Кошев. – Пенза: Изд-во ПГУАС, 2023. – 132 с.

3. Бахвалов, С.В. Сборник задач по аналитической геометрии. 5-е изд. / С.В. Бахвалов, П.С. Моденов, А.С. Пархоменко. – СПб. : Лань, 2009. – 384 с. – EDN: QJVHPL.

4. Мещерский И. В. Сборник задач по теоретической механике : учебное пособие. 36-е изд., стер. СПб. : Лань, 2005. 448 с.

5. Кузина, В.В. Создание приложения на языке C# для моделирования максимального потока в транспортной сети // В.В. Кузина, А.А. Клейменов // Инженерный вестник Дона. – 2025. – № 12 (132). – EDN: MKDAKV.

6. Клейменов, А.А. Применение алгоритма Форда – Фалкерсона при моделировании транспортных потоков / А.А. Клейменов, В.В. Кузина // Информационно-вычислительные технологии и их приложения: Сборник статей XXVIII Междунар. научно-технической конференции. Пенза, 2024. С. 115-120. – EDN: KKMPZF.

ALGORITHM FOR SELECTING THE MINIMUM TIME ROUTE TAKING INTO ACCOUNT TRAFFIC LIGHT REGULATION

A.A. Kleimenov, V.V. Kuzina

Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russia

The paper considers an algorithm for selecting the minimum time route in an urban road network under free-flow traffic conditions. The depth-first search algorithm is used to generate possible routes. Each route is evaluated by travel time, taking into account road section length, turns, acceleration, braking, departure time and traffic light phases. The algorithm is tested on a fragment of an urban road network.

Keywords: transport network, directed graph, minimum time route, DFS algorithm, traffic light regulation, arrival time.

УДК 550.845

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА PHREEQC ДЛЯ ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ГЕОЛОГИИ: АЛГОРИТМ ВЕРИФИКАЦИИ ПО ЛАБОРАТОРНЫМ ДАННЫМ

Д.С. Климов

Институт проблем нефти и газа Российской академии наук, г. Москва, Россия

В работе рассмотрены методологические и прикладные аспекты гидрогеохимического компьютерного моделирования физико-химических процессов, сопровождающих разработку месторождений углеводородов. Показано, что методы математического моделирования, в частности программный комплекс PHREEQC, позволяют количественно оценивать взаимодействие пластовых вод, растворённых газов и минеральных комплексов, что важно для дальнейшего прогнозирования изменения коллекторских свойств пород (пористости, проницаемости) и оптимизации технологических режимов закачки флюидов. Описана поэтапная методика настройки модели, включающая верификацию ионного состава растворов, учёт термобарических условий, дегазацию проб и корректировку минеральных индексов насыщения для адаптации кинетических реакций. Разработанный алгоритм обеспечивает корректное сопоставление расчётных и экспериментальных данных, что обосновывает применимость PHREEQC для решения задач повышения нефтеотдачи и подземного хранения диоксида углерода.

Ключевые слова: гидрогеохимическое моделирование, PHREEQC, взаимодействие воды с породами и диоксидом углерода, образцы керна, индексы насыщения, повышение нефтеотдачи, подземная закачка CO2.

В сфере прикладной геологии и минералогии, особенно в контексте разработки углеводородных месторождений, всё более востребованными становятся подходы, основанные на математическом моделировании физико-химических явлений в коллекторах. Среди многообразия расчётных методик выделяется гидрогеохимическое моделирование, ориентированное на анализ сложных равновесий между пластовыми водами с варьирующей минерализацией, газовой фазой (в том числе CO2, N2, O2) и минеральными ассоциациями. Подобные исследования обладают высокой значимостью не только для фундаментальной геологической науки, но и для практики нефтегазодобычи. Цифровая реализация таких вычислительных экспериментов открывает перспективы для одновременного решения нескольких приоритетных научно-инженерных задач [1, 2].

На поздних стадиях освоения нефтегазовых месторождений, когда классические методы извлечения углеводородов перестают быть экономически оправданными, закачка диоксида углерода в виде компактной оторочки или в растворённом в воде состоянии становится эффективным инструментом мобилизации остаточных запасов нефти и газа, обеспечивая дополнительный приток значительных объёмов ранее недоступных углеводородов. Посредством

моделирования гидрогеохимических превращений, опосредованных контактом породообразующих минералов с многофазными флюидами, появляется возможность количественной оценки влияния этих процессов на продуктивность скважин и на реализацию проектов подземного захоронения газов, будь то создание подземных резервуаров с долговременной консервацией или утилизация CO2 и хранение водорода [1, 2]. Использование аппарата математического моделирования открывает путь к обоснованному выбору оптимальных параметров нагнетания и отбора рабочих агентов, что в итоге напрямую отражается на росте экономической эффективности и технической рентабельности всего проекта.

Основная значимость геохимического моделирования состоит в том, что оно даёт возможность предвидеть, каким образом будет протекать химическое взаимодействие пластовых вод, газообразной фазы и минерального состава вмещающих горных пород. Результатом подобных физико-химических преобразований может стать как выпадение вторичных минеральных новообразований, так и разрушение исходных минеральных компонентов. Это, в свою очередь, закономерно ведёт к трансформации ёмкостно-фильтрационных характеристик коллектора (в частности, пористости, проницаемости и иных показателей). Умение прогнозировать данные реакции обеспечивает более глубокое осмысление глубинных пластовых явлений, которые невозможно наблюдать напрямую из-за их физической недоступности, а также формирует фундамент для принятия взвешенных решений в процессе разработки месторождения [3].

Для более детального анализа, систематизации и последующего исследования процессов физико-химического взаимодействия пластовой воды, содержащей растворённый CO2, с минеральными компонентами кернового материала, зафиксированных в ходе лабораторных опытов, целесообразным инструментом гидрогеохимического моделирования представляется применение программного комплекса PHREEQC. Свободно распространяемый программный комплекс PHREEQC является инструментом гидрогеохимического моделирования, с помощью которого выполняется расчёт как гомогенных реакций в водных растворах, так и гетерогенных взаимодействий на поверхности минералов, охватывающих растворение и осаждение минеральных фаз, процессы минерализации, а также электрохимические и гидротермальные явления. В основе методологии программы лежит термодинамический подход, опирающийся на представление о химическом равновесии: распределение всех молей элементов между жидкой, газообразной и минеральной фазами, твёрдыми растворами, обменными позициями и поверхностными центрами вычисляется до момента установления равновесного состояния системы [4, 5].

Интегрированная база данных программного комплекса аккумулирует термодинамические параметры (включая энергию Гиббса, энтальпию и энтропию), равновесные константы, характеристики реакций, фазовых переходов и окислительно-восстановительных потенциалов для обширного перечня химических соединений, начиная от растворённых катионов металлов и анионов и заканчивая типовыми минералами и базовыми процессами, такими как диссоциация воды и редокс-превращения. Вычислительная схема PHREEQC оперирует исходными концентрациями реагентов, их стехиометрией и термодинамическими

характеристиками, одновременно соблюдая фундаментальные принципы сохранения массы и электронейтральности; на этой основе строится расчётная модель, включающая совокупность компонентов и фаз, после чего для заданных граничных условий определяются равновесные положения и векторы протекания реакций, причём решение соответствующих уравнений достигается итеративными процедурами (в частности, методом Ньютона–Рафсона либо путём минимизации свободной энергии). Отличительной чертой пакета выступает гибкость в регулировке pH, температурного режима и давления, что даёт исследователю возможность вариации входных данных для изучения химических превращений в широком спектре внешних факторов и обеспечивает высокую точность прогнозирования их конечных результатов [4, 5].

В ходе выполнения научно-методической работы была проведена компьютерная интерпретация последовательности экспериментальных контактов породных образцов с водой, насыщенной углекислым газом, и одновременно разработана пошаговая процедура адаптации вычислительной модели к эмпирическим данным с детализацией условий, определяющих ход регистрируемых геохимических превращений. Следовательно, основное назначение гидрогеохимического моделирования сводилось к воспроизведению и содержательной трактовке экспериментальных результатов в контексте физико-химических явлений, характерных для пластовой обстановки. В качестве эталонных показателей при калибровке модели привлекались данные лабораторных определений ионного состава водной фазы и минералогического состава пород [6].

Особенности компьютерного моделирования реальных физических экспериментов с керновыми образцами для корректного учета всей цепочки взаимодействий заключались в разработке последовательного алгоритма в виде набора ключевых слов и вводных данных (ионный состав воды, минеральный состав керновых образцов, давления и температуры), состоящего из нескольких шагов (этапов).

Первоначальный этап вычислительного эксперимента заключался в импорте в интерфейс гидрогеохимического симулятора PHREEQC исходных данных о компонентном составе пластового раствора с указанием количественного содержания отдельных ионов и величиной pH. На этом шаге осуществлялась модельная верификация раствора на предмет достижения равновесного состояния, корректности заданного значения pH, а также согласованности электрохимических потенциалов ионов.

На втором шаге моделирования воспроизводилось физико-химическое взаимодействие подготовленного водного раствора с углекислым газом в условиях заданных температур и давления. Для обеспечения корректного сопоставления расчётного состава CO_2-насыщенного раствора с экспериментальными данными, полученными при атмосферном давлении, завершающей операцией данного шага выступало моделирование дегазации – приведение системы к нормальному давлению с удалением растворённых газовых компонентов. Компонентный состав насыщенного раствора, полученный в начале второго шага, приводился в модельный контакт с воздухом при атмосферном давлении. Далее проводилось

сравнение и проверка соответствия дегазированного модельного раствора результатам лабораторного анализа насыщенной воды при давлении 1 атм.

Третий этап моделирования был посвящён вычислительной оценке контакта воды, насыщенной CO_2 (полученной на предыдущем шаге), с минералогическим составом кернового материала, использованного в лабораторных опытах. Параметры модельного взаимодействия задавались в соответствии с реальными условиями экспериментов. Мольные пропорции минеральных фаз в расчётной системе определялись на основе данных лабораторного анализа процентного содержания и молекулярных масс минералов, однако вносились определённые поправки, направленные на адаптацию модели к наблюдаемым изменениям ионного состава водной фазы и трансформации минерального комплекса породы по завершении эксперимента. Указанные коррективы касались главным образом уточнения мольных долей минеральных компонентов и соответствующих им индексов насыщения. Верификация модели осуществлялась посредством сравнения итогового расчётного ионного состава раствора с эмпирическими данными анализа жидкой фазы после её взаимодействия с керном. Учитывая, что в основе моделирования лежало предположение о равновесном характере геохимических процессов, в ряде случаев требовалось искусственное ограничение участия тех минералов, для которых характерны значительные временные масштабы гидрогеохимических реакций. Поэтому в качестве адекватного воспроизведения кинетических изменений некоторым минералом задавались начальные индексы насыщения, которые ограничивали их скорость растворения или осаждения (с учётом итогового компонентного состава ионов из лабораторных результатов водного раствора).

Далее для сравнения с лабораторным анализом воды моделировалась её дегазация при отборе проб на анализ. Полученный состав воды сравнивался с данными лабораторного анализа, и на основании полученных результатов модель дополнительно корректировалась на предыдущих шагах. Такой характерный алгоритм моделирования позволяло корректно сравнивать результаты модельных прогнозов с лабораторными анализами минерального состава образцов.

На основе вычислительных экспериментов, реализованных в среде программного комплекса PHREEQC применительно к моделированию гидрогеохимических превращений в системе «вода – углекислый газ – порода», в ходе интерпретации и обобщения лабораторных данных был сформулирован ряд принципиальных заключений относительно потенциала и полезности подобных информационных технологий в контексте решения задач увеличения нефтеотдачи пластов и организации подземного захоронения диоксида углерода.

Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания ИПНГ РАН по теме № 125020501405-1 «Создание новых технологий эффективного экологически чистого извлечения углеводородов в сложных горно-геологических условиях на основе системного подхода к изучению и моделированию полного жизненного цикла нефтегазовых месторождений».

Список использованных источников

1. Kalam S., Olayiwola T., Al-Rubaii M.M., Amaechi B.I., Jamal M.S., Awotunde A.A. Carbon dioxide sequestration in underground formations: review of experimental, modeling, and field studies // Journal of Petroleum Exploration and Production Technology. – 2021. – 11. – pp. 303–325.

2. Shao Q., Matthai S., Driesner T. et al. Predicting plume spreading during CO2 geo-sequestration: benchmarking a new hybrid finite element-finite volume compositional simulator with asynchronous time marching // Comput. Geosci. – 2021. – №25. – с. 299-323.

3. Климов Д.С., Индрупский И.М., Гарифуллина Ч.А., Ибрагимов И.И., Лутфуллин А.А., Закиев Б.Ф., Ахметзянов Ф.М. Моделирование гидрогеохимических процессов взаимодействия диоксида углерода с пластовой водой и минералами породы при повышении нефтеотдачи и подземном захоронении // Георесурсы. – 2024. – 26(2). – с. 114–123. – EDN: VKLJJP.

4. Parkhurst D.L., Appelo C.A.J. Description of input and examples for PHREEQC version 3 – A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations // Geological Survey Techniques and Methods. – 2013. – №6. – №A43. – 497 с.

5. Charlton S.R., Parkhurst D.L. Modules based on the geochemical model PHREEQC for use in scripting and programming languages // Computers & Geosciences. – 2011. – № 37(10). – 11 с.

6. Garifullina Ch.A., Indrupskiy I.M., Klimov D.S., Ibragimov I.I., Lutfullin A.A., Zakiev B.F., Akhmetzyanov F.M. Experimental and simulation study of geochemical processes during interaction of carbonated formation water with terrigenous and carbonate rocks // Petroleum Science. – 2025. – Vol. 22. – Issue 12. – pp. 4954-4974. – EDN MIPJLL

APPLICATION OF THE PHREEQC SOFTWARE PACKAGE FOR HYDROGEOCHEMICAL MODELING IN PETROLEUM GEOLOGY: AN ALGORITHM FOR LABORATORY DATA VERIFICATION

D.S. Klimov

Oil and Gas Research Institute Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

This study addresses the methodological and applied aspects of computer-based hydrogeochemical modeling of physicochemical processes associated with hydrocarbon field development. It is demonstrated that mathematical modeling techniques, particularly the PHREEQC software package, enable quantitative assessment of interactions among formation waters, dissolved gases, and mineral assemblages, which is essential for predicting alterations in reservoir rock properties (porosity, permeability) and optimizing fluid injection regimes. A stepwise model calibration procedure is described, encompassing verification of the ionic composition of solutions, consideration of thermobaric conditions, degassing of samples, and adjustment of mineral saturation indices to accommodate kinetic reaction constraints. The developed algorithm ensures

reliable correlation between computational predictions and experimental data, thereby substantiating the applicability of PHREEQC for enhanced oil recovery and underground CO_2 storage applications.

Keywords: hydrogeochemical modeling, PHREEQC, water–rock–CO_2 interaction, core samples, saturation indices, enhanced oil recovery, underground CO_2 injection.

УДК 004.021

ОСОБЕННОСТИ ЦИФРОВИЗАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ

А.Ю. Клюшин, А.Ю. Смирнов

Тверской государственный технический университет, г. Тверь, Россия

Роль транспорта в социально-экономическом развитии страны определяется рядом объемных, стоимостных и качественных характеристик уровня транспортного обслуживания. Внедрение нейросетевых технологий – это комплексный подход, включающий обеспечение качества данных, развитие вычислительной инфраструктуры в сфере интеллектуального транспорта.

Ключевые слова: интеллектуальная информационная система, нейронные сети, транспортная система.

В транспортной системе (ТС) России основное количество транспортных средств приходится на автомобильный транспорт. Доступ к безопасным и качественным транспортным услугам определяет эффективность работы и развития производства, бизнеса и социальной сферы. Транспорт представляет собой самостоятельную отрасль материального производства, обеспечивающую нормальную деятельность экономической системы в целом. Совершенно очевидно, что без транспорта невозможно организовать и поддерживать эти взаимосвязи и обеспечивать функционирование экономики [1].

Городская ТС может успешно функционировать только в условиях тесной координации с другими городскими системами. ТС является уникальным примером системы с коллективным поведением ее субъектов. В связи с этим коллективное поведение является мощным фактором, формирующим закономерности функционирования транспортной системы. Причем процессы самоорганизации приводят к образованию нескольких уровней устойчивого функционирования системы, образующих иерархическую структуру коллективной адаптации с различной временной стабильностью.

Транспортные процессы организуют, чтобы установить функциональные связи для всех видов движения в системе. Вероятностный характер функционирования транспортной системы (заторы, простои и т. п.) приводит к необходимости адаптации участников движения. Адаптация повышает надежность

функционирования всех элементов системы, т. е. способствует живучести организации транспортных процессов.

Также для повышения безопасности дорожного движения, снижения транспортных заторов и улучшения качества транспортного обслуживания активно внедряются интеллектуальные транспортные системы (ИТС). А удешевление, например, на основе цифровизации с использованием нейронных сетей в транспортной отрасли для пассажирского сообщения имеет не только большое социальное, но и экономическое значение. Таким образом, существенное значение имеют информационные системы, так как только с их помощью можно обеспечить координацию управления в едином информационном пространстве множества субъектов [2].

В настоящее время ИТС активно внедряются во многих странах мира, которые позволяют в режиме реального времени анализировать состояние дорожной сети и автоматически изменять режимы работы светофорных объектов. В Российской Федерации внедрение ИТС осуществляется в рамках национальных проектов по развитию транспортной инфраструктуры и цифровой экономики. Современные элементы ИТС используются в Москве, Санкт-Петербурге, Казани, Екатеринбурге и других крупных городах. К ним относятся системы адаптивного управления светофорными объектами, комплексы автоматической фиксации нарушений правил дорожного движения, системы мониторинга общественного транспорта и интеллектуальные системы информирования участников дорожного движения.

Развитие ИТС является одним из ключевых направлений модернизации транспортной отрасли и создаёт технологическую основу для дальнейшего внедрения технологий искусственного интеллекта и нейронных сетей.

Одним из ключевых элементов цифровой транспортной среды являются технологии Big Data. Анализ больших данных позволяет выявлять закономерности в транспортных потоках, прогнозировать возникновение заторов, оптимизировать маршруты движения и повышать эффективность управления транспортной инфраструктурой.

Важную роль в цифровизации транспорта играет и концепция Интернета вещей (IoT – Internet of Things). В рамках данной концепции различные объекты транспортной инфраструктуры оснащаются интеллектуальными датчиками и устройствами связи. Такие устройства способны автоматически собирать информацию о скорости движения транспортных средств, интенсивности потока, состоянии дорожного покрытия, погодных условиях и других параметрах. Собранная информация передаётся в центры обработки данных, где используется для мониторинга транспортной ситуации и принятия управленческих решений. Использование IoT позволяет получать актуальные сведения о состоянии транспортной сети в режиме реального времени.

Перспективным направлением является развитие технологий V2X (Vehicle-to-Everything), обеспечивающих обмен информацией между транспортными средствами и окружающей инфраструктурой. Использование технологий V2X позволяет предупреждать водителей об опасных ситуациях, координировать движение ТС и повышать безопасность дорожного движения.

В последние годы развитие искусственного интеллекта привело к активному внедрению нейронных сетей в транспортную отрасль. Различные архитектуры нейронных сетей позволяют решать широкий круг задач, начиная от распознавания дорожных объектов и заканчивая прогнозированием транспортных потоков и управлением движением.

Одним из наиболее распространённых типов являются сверточные нейронные сети (CNN, Convolutional Neural Networks). Данный класс сетей предназначен для обработки изображений и видеопотоков. В транспортной сфере CNN используются для распознавания дорожных знаков, обнаружения транспортных средств, определения полос движения, выявления нарушений правил дорожного движения и анализа дорожной обстановки.

Для анализа временных рядов широко применяются рекуррентные нейронные сети (RNN, Recurrent Neural Networks). Особое распространение получили их усовершенствованные версии – сети долгой краткосрочной памяти (LSTM). Они позволяют учитывать последовательность событий во времени и используются для прогнозирования интенсивности движения, оценки загруженности дорог и моделирования транспортных потоков. После обучения модель способна предсказывать интенсивность движения на несколько минут или часов вперёд. Полученные прогнозы используются в автоматизированных системах управления дорожным движением для предотвращения возникновения заторов и оптимизации работы ТС.

Отдельный интерес представляют графовые нейронные сети (GNN, Graph Neural Networks). Транспортная сеть по своей структуре представляет граф, где вершинами являются перекрёстки, станции или логистические узлы, а рёбра – дороги и маршруты. GNN позволяют учитывать взаимосвязи между элементами сети и использовать их для оптимизации маршрутизации и прогнозирования состояния дорожной инфраструктуры.

Для решения задачи организации работы светофорных объектов применяются методы обучения с подкреплением (Reinforcement Learning). В процессе работы система получает информацию о количестве автомобилей на подъездах к перекрёстку и выбирает оптимальную стратегию переключения сигналов. При уменьшении длины очередей и времени ожидания, система получает положительное подкрепление.

Таким образом, одной из основных проблем является необходимость использования больших объёмов качественных данных для обучения моделей. Эффективность работы нейронной сети зависит от количества и качества обучающей выборки. Недостаточность данных или наличие ошибок при сборе информации может привести к снижению точности прогнозов и неправильным управленческим решениям. Также серьёзным ограничением являются высокие вычислительные требования нейросетевых моделей, что может потребовать существенных финансовых затрат на создание и обслуживание.

Отдельной проблемой является сложность интерпретации результатов работы нейронных сетей. Большинство современных моделей так называемые «чёрные ящики», когда пользователь получает результат работы алгоритма, но не всегда может определить причины принятия того или иного решения.

Полученные теоретические материалы и результаты будут использованы в дальнейшей работе по совершенствованию цифровизации транспорта, которое формирует единое информационное пространство, объединяющее транспортные средства, инфраструктуру и пользователей транспортных услуг.

Список использованных источников

1. Горев, А.Э. Основы теории транспортных систем: учеб. пособие / А.Э. Горев; СПбГАСУ. – СПб., 2010. – 214 с.

2. Сафиуллин Р, Симонова Л. Комплексные подходы внедрения интегрированных интеллектуальных технологий в транспортные системы. – М.: Директ-Медиа, 2024. – 500 с.

FEATURES OF DIGITALIZATION USING NEURAL NETWORKS IN TRANSPORT SYSTEMS

A. Yu. Klyushin, A. Yu. Smirnov

Tver State Technical University,
Tver, Russia

The role of transport in a country's socioeconomic development is determined by a number of volumetric, cost, and quality characteristics of the level of transport service. The implementation of neural network technologies is a comprehensive approach that includes ensuring data quality and developing computing infrastructure for intelligent transport.

Keywords: intelligent information system, neural networks, transport system.

УДК 004.056

МЕХАНИЗМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЦЕЛОСТНОСТИ ПОТОКА УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ УКАЗАТЕЛЕЙ: КОМПЛЕКСНЫЙ ОБЗОР

Д.Ю. Ковалев

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
г. Москва, Россия

В статье представлен обзор современных аппаратных и программных механизмов обеспечения целостности потока управления (CFI) и защиты указателей: посадочных площадок, теневых стеков, аутентификации указателей, схем шифрования указателей и capability-архитектуры. Механизмы рассматриваются с точки зрения принципа действия, охвата, гранулярности различения и стойкости к подделке указателя за одну попытку. Показано, что точное различение контекстов и высокая стойкость к подделке в существующих механизмах не совмещаются.

Ключевые слова: целостность потока управления, аутентификация указателей, шифрование указателей, ARM PAC, теневой стек, атаки повторного использования кода, безопасность памяти.

Перехват потока управления через порчу указателей на код и критичных к безопасности указателей на данные (например, адресов возврата, указателей на функции и на таблицы виртуальных методов) остаётся одной из основных техник эксплуатации уязвимостей. По данным проекта Chromium, около 70% критических ошибок безопасности связаны с нарушениями безопасности памяти, эксплуатирующимися, как правило, через порчу указателей [1]. Аналогичную статистику приводит Microsoft [2]. Средства, ограничивающие передачу управления легитимными целями, объединяются термином «целостность потока управления» (control-flow integrity, CFI) [3]. Среди характеризующих CFI свойств рассмотрим три напрямую влияющих на уровень предоставляемой защиты: гранулярность, охват и стойкость к подделке. По гранулярности выделяют точные (fine-grained) схемы, различающие указатели по контексту использования, и грубые (coarse-grained), оставляющие широкие множества целей взаимозаменяемыми. По охвату выделяют обратный (backward-edge) CFI, защищающий от подмены адресов возврата, и прямой (forward-edge) CFI, защищающий от подмены адресов непрямого перехода (некоторые механизмы включают в покрытие прямого CFI так же определённые виды чувствительных указателей на данные). Стойкость к подделке выражается вероятностью того, что одиночная подмена указателя передаст управление по выбранному атакующим адресу без аварийного завершения программы. Цель работы – обзор существующих механизмов CFI и защиты указателей по этим свойствам и по принципу действия.

Модель нарушителя

Используется модель нарушителя, типичная для работ по защите указателей. Нарушитель обладает возможностью произвольного чтения и записи памяти процесса (исключая память, в которой хранится исполняемый код): может заменить любой защищённый указатель произвольным значением или скопировать его между участками памяти. Нарушителю известны двоичный образ программы и полная раскладка (layout) памяти, в том числе предполагается обход средств рандомизации в виде ASLR. Нарушитель действует с привилегиями пользователя; физический доступ и побочные каналы исключены. Предполагается политика W^X (write-xor-execute), являющаяся типичной мерой защиты в современных ОС: без неё произвольная запись позволяла бы модифицировать код напрямую, обходя любую защиту указателей. Каждая обнаруженная подмена (исключение при проверке или использовании указателя) безусловно завершает процесс. Цель нарушителя – подмена легитимного указателя в памяти на значение, успешно перенаправляющее исполнение программы по выбранному адресу. Повторное использование ранее наблюдавшегося корректного значения составляет отдельный класс атак и далее не рассматривается.

Посадочные площадки и теневые стеки

Механизмы посадочных площадок – Intel CET-IBT [6], ARM BTI [4], RISC-V Zicfilp [7] – требуют, чтобы непрямые переходы попадали на специальные инструкции-маркеры: CET-IBT помечает все допустимые цели одинаково, BTI различает несколько видов целей, Zicfilp добавляет программно-выбираемые метки. Охват ограничен только прямым CFI и только указателями на код с принципиальной невозможностью покрытия даже ограниченного подмножества

чувствительных указателей на данные. Механизмы теневого стека – Intel CET Shadow Stack [6], ARM GCS [4], RISC-V Zicfiss [7] – хранят защищённую копию каждого адреса возврата, обеспечивая гарантированную защиту от их подмены, но охватывают только обратный CFI и дополняют, а не заменяют механизмы прямого CFI.

Аутентификация указателей ARM PAC

Аутентификация указателей ARM Pointer Authentication (PAC) – широко развёрнутый аппаратный механизм CFI, реализованный, в частности, в процессорах Apple Silicon [5]. ARM PAC встраивает имитовставку, вычисляемую от значения указателя, секретного ключа и контекстного модификатора, в неиспользуемые старшие биты 64-битного указателя. Перед использованием имитовставка сверяется, и дополнительное расширение FEAT_FPAC вызывает немедленное исключение при несовпадении [4]. Модификаторы вычисляются из информации о контексте на уровне языка программирования (например, из сигнатур функций и иерархий классов), что даёт точное различение указателей по контекстам. Охват включает указатели на код и определённые подмножество чувствительных с точки зрения угрозы безопасности при подмене указателей на данные, например, указатели на таблицы виртуальных методов. Стойкость к подделке ограничена длиной L поля имитовставки, зависящей от эффективной ширины виртуального адреса [4]: подмена оказывается успешна с вероятностью 2^{-L}. В применяемых на практике конфигурациях современных операционных систем, поддерживающих ARM PAC (macOS, Linux, Windows) значение L не превышает 16 бит. Существующие атаки, такие как PACMAN, показывают практическую возможность полного перебора таких коротких имитовставок методом «грубой силы» (brute force) [8]. Архитектурный максимум L – 47 бит, однако увеличение ширины имитовставки требует снижения эффективной ширины виртуальных адресов, не позволяя применять широкие значения L с современным нетривиальным программным обеспечением, зачастую потребляющим значительный объем оперативной памяти.

Схемы шифрования указателей

Альтернативой имитовставке является шифрование самого значения указателя. PointGuard [9] выполняет побитовую операцию XOR для хранимых в памяти указателей с секретом процесса. Одна наблюдаемая пара «открытый текст – шифртекст» раскрывает ключ, эффективная стойкость равна нулю, гранулярность различения указателей в разных контекстах грубая.

Intel C3 [10] шифрует 24 из 64 бит указателя с модификаторами, вычисляемыми из информации об аллокациях памяти, и шифрует данные аллокаций потоком, выводимым из зашифрованного указателя. Целью механизма является не традиционный CFI, а безопасность памяти в куче (heap). Из 24 шифруемых бит, для прицельной подделки адреса достаточно подобрать лишь 20 (остальные 4 используются для т.н. версии и не играют роли в проверке). Таким образом, эффективная стойкость к подмене указателя ограничена 220. Используемые в шифровании модификаторы различают не контексты использования, а разные аллокации памяти.

Morpheus [11] – моделируемая 64-битная архитектура RISC-V. Аппаратные теги выделяют код, указатели на код и указатели на данные; защищаемые слова складываются по модулю 2 (XOR) с 64-битной маской, вычисляемой шифром QARMA-64 из физического адреса слова и ключа категории. Ключи и случайные смещения внутреннего представления указателей периодически меняются (churn). Известная для участка памяти пара «открытый текст – шифртекст» позволяет детерминированно подделывать значения в этом участке до смены ключа, но ничего не сообщает о других участках. Morpheus II [12] – реализованная на ПЛИС 32-битная переработка Morpheus: защита указателей на данные исключена, указатели на код шифруются непосредственно блочным шифром Simon и остаются зашифрованными в памяти, кэшах и регистрах; ключи меняются при загрузке и при событиях нарушения безопасности. Шифрование полной ширины указателя дает стойкость 232 на прототипе (264 для гипотетической 64-битной реализации), но различение грубое: один ключ для всех указателей на код в пределах эпохи.

Capability-архитектуры

CHERI [13] заменяет указатели на так называемые capabilities – 128-битные «широкие» указатели с аппаратно-контролируемыми границами, правами доступа и внеполосным битом достоверности, обеспечивая полную пространственную и временную безопасность памяти. Этот подход протестирован в рамках системы Arm Morello. CHERI является архитектурой безопасности памяти в целом, а не механизмом CFI; её цена – удвоение ширины указателей и сопутствующие изменения раскладки (layout) памяти и ABI.

Сопоставление рассмотренных механизмов

Механизмы без секрета либо дают лишь грубое различение (посадочные площадки), либо узки по охвату (теневые стеки – только адреса возврата). Среди вероятностных механизмов лишь PAC обеспечивает точное поконтекстное различение указателей на код и некоторых указателей на данные, но его стойкость структурно ограничена свободными битами указателя (не более 16 на практике). Схемы шифрования упорядочиваются по стойкости к подделке: PointGuard – ноль эффективных бит; C3 – 20 бит с различением по выделениям памяти; Morpheus – до 64 бит, но 0 бит для участка с известной парой «открытый текст – шифртекст»; Morpheus II – 32 бита на прототипе (64 для 64-битной реализации) при одном ключе на эпоху. Ни одна из них не различает контексты использования указателей. CHERI достигает сильных гарантий безопасности памяти, но ценой этого является удвоение ширины указателя.

Заключение

ARM PAC – единственный из широко распространенных механизмов, предоставляющий точный (fine-grained) CFI с поконтекстным различением указателей, однако защита от подмены указателя ограничена шириной имитовставки: на практике не более 16 бит. Подходы с шифрованием полной ширины указателя (Morpheus, Morpheus II) позволяют добиться существенно большего уровня защиты от подмены – вплоть до 64 бит на попытку, – однако предоставляют лишь грубый (coarse-grained) CFI: их ключи и маски привязаны к категориям, эпохам и местам хранения, а не к контекстам использования указателей.

Это ставит вопрос о комбинации подходов – о методе точного CFI, использующем шифрование полной ширины указателя с параметрами, выводимыми из контекста использования. Шифрование полной ширины не занимает свободные биты указателя и потому не конфликтует с точным поконтекстным различением; фундаментальных препятствий комбинации подходов в ходе анализа обнаружено не было. Разработка и аналитическая оценка такого метода составляют направление дальнейших исследований.

Список использованных источников

1. Memory Safety // The Chromium Projects : [сайт]. – 2024. – URL: https://www.chromium.org/Home/chromium-security/memory-safety/ (дата обращения: 20.07.2026). – Текст: электронный.

2. Miller, M. Trends, Challenges, and Strategic Shifts in the Software Vulnerability Mitigation Landscape / M. Miller // BlueHat IL. – Тель-Авив, 2019.

3. Control-Flow Integrity Principles, Implementations, and Applications / M. Abadi, M. Budiu, U. Erlingsson, J. Ligatti // ACM Transactions on Information and System Security. – 2009. – Т. 13, № 1. – С. 1–40.

4. Arm Architecture Reference Manual for A-profile Architecture : ARM DDI 0487, version M.b / Arm Limited. – 2026.

5. Apple Platform Security / Apple Inc. – 2026. – URL: https://help.apple.com/pdf/security/en_US/apple-platform-security-guide.pdf (дата обращения: 20.07.2026). – Текст: электронный.

6. Control-flow Enforcement Technology Specification : Document 334525-004, revision 4.0 / Intel Corporation. – Санта-Клара, 2023.

7. The RISC-V Instruction Set Manual. Volume I: Unprivileged Architecture : Version 20260120 / RISC-V International. – 2026.

8. PACMAN: Attacking ARM Pointer Authentication with Speculative Execution / J. Ravichandran, W. T. Na, J. Lang, M. Yan // Proceedings of the 49th Annual International Symposium on Computer Architecture (ISCA). – Нью-Йорк, 2002. – С. 685–698.

9. PointGuard: Protecting Pointers from Buffer Overflow Vulnerabilities / C. Cowan, S. Beattie, J. Johansen, P. Wagle // Proceedings of the 12th USENIX Security Symposium. – Вашингтон, 2003. – С. 91–104.

10. Cryptographic Capability Computing / M. LeMay, J. Rakshit, S. Deutsch [и др.] // Proceedings of the 54th Annual IEEE/ACM International Symposium on Microarchitecture (MICRO). – 2021. – С. 253–267.

11. Morpheus: A Vulnerability-Tolerant Secure Architecture Based on Ensembles of Moving Target Defenses with Churn / M. Gallagher, L. Biernacki, S. Chen [и др.] // Proceedings of the 24th International Conference on Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems (ASPLOS). – 2019. – С. 469–484.

12. Morpheus II: A RISC-V Security Extension for Protecting Vulnerable Software and Hardware / A. Harris, T. Verma, S. Wei [и др.] // Proceedings of the 2021 IEEE International Symposium on Hardware Oriented Security and Trust (HOST). – 2021. – С. 226–238.

13. CHERI: A Hybrid Capability-System Architecture for Scalable Software Compartmentalization / R. N. M. Watson, J. Woodruff, P. G. Neumann [и др.] // Proceedings of the 2015 IEEE Symposium on Security and Privacy. – 2015. – С. 20–37.

CONTROL-FLOW INTEGRITY AND POINTER PROTECTION MECHANISMS: A COMPREHENSIVE OVERVIEW

D.Yu. Kovalev

National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia

This article provides an overview of modern hardware and software control-flow integrity (CFI) and pointer protection mechanisms: landing pads, shadow stacks, ARM Pointer Authentication (PAC), pointer encryption schemes (PointGuard, Intel C3, Morpheus, Morpheus II), and capability architectureы. The mechanisms are examined in terms of the underlying technique, coverage, discrimination granularity, and per-attempt forgery resistance. It is shown that fine-grained context discrimination and high forgery resistance are not combined in existing mechanisms.

Keywords: control-flow integrity, pointer authentication, pointer encryption, ARM PAC, shadow stack, code-reuse attacks, memory safety.

УДК 519.17:004.65

РЕЛЯЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПОСТРОЕНИЯ ГАМИЛЬТОНОВЫХ ЦИКЛОВ: ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ РЕДУКЦИЯ И ВСТРЕЧНЫЙ АЛГОРИТМ

С.В. Козлов, С.А. Морозов

Смоленский государственный университет, г. Смоленск, Россия

В статье предложен оптимизированный метод поиска всех гамильтоновых циклов в ориентированном графе, формализованный в понятиях реляционной алгебры. Снижение вычислительной сложности относительно оригинального метода достигается за счет применения топологической редукции и адаптации встречной стратегии (Meet-in-the-Middle). Доказана корректность и полнота построений. Описанный подход позволяет масштабировать вычисления на распределенную сеть СУБД в силу естественного параллелизма алгоритма. Оценка эффективности показывает существенное сокращение пространства поиска за счет уменьшения глубины рекурсии и использования индексации, что делает метод перспективным для разреженных графов.

Ключевые слова: гамильтоновы циклы, реляционная алгебра, теория графов, топологическая редукция, встречный алгоритм.

Поиск гамильтоновых циклов является одной из важнейших задач на графах и определяется широким применением в различных прикладных областях: логистика, маршрутизация, биоинформатика, комбинаторная оптимизация и другие [1-3]. Этому свидетельствуют многочисленные попытки получения эффективного алгоритма ее решения. Большое количество алгоритмов относятся к эвристическим [4]. Такие подходы позволяют выполнить поиск за полиномиальное время, но требуют обоснования точности используемых приближений или отсечений. Кроме того, их реализация на параллельных вычислительных системах может потребовать серьезной подготовки и быть ограничена в масштабировании. Таким образом, в настоящей работе предлагается метод построения гамильтоновых циклов в ориентированном графе, который позволяет найти все требуемые пути и обладает естественным параллелизмом.

Оригинальный алгоритм, описанный в [5], позволяет производить построение всех простых путей в графе. В рассматриваемой задаче такое решение является избыточным. Следовательно, необходима адаптация алгоритма построения всех маршрутов в графе для выполнения поиска гамильтоновых циклов.

Исходными данными алгоритма является реляционное отношение R_E со схемой $S_E = \{i{:}\,V, j{:}\,V, r_e{:}\,\mathbb{N}\}$, которое описывает множество ребер графа $G = (V, E)$. Атрибуты i и j отражают номера вершин, объединённых ребром, а r_e – битовая маска, задаваемая натуральным числом 2^j.

Простые пути (маршруты), которые формируются в процессе действия алгоритма, описываются отношениями $R_{fwd}^k \equiv R\left(S_{fwd}^k\right)$, где $S_{fwd}^k = \left\{i_1{:}\,V, i_2{:}\,V, \dots, i_k{:}\,V, r_{fwd}{:}\,\mathbb{N}\right\}$ при $k = \overline{2, |V|}$. Начальное пространство поиска определяется R_{fwd}^2, которое задает классы эквивалентности на множестве всех маршрутов [6]. Прямое построение простых путей, проходящих по k вершинам, реализуется с помощью выборки с условием Q_k над результатом естественного соединения R_{fwd}^{k-1} и переименованного по правилу φ_k отношения R_E, где фильтрация задается предикатом $Q_{fwd}^k{:}\left\{\left(i_1, \dots, i_k, r_{fwd}^{k-1} | r_e\right) | r_{fwd}^{k-1} \& r_e = 0\right\}$, а $\varphi_{fwd}^k{:}\{i, j\} \to \{i_{k-1}, i_k\}$ – функция замены имен атрибутов второго операнда. В рамках операций реляционной алгебры данное выражение записывается следующим образом:

$$R_{fwd}^k = \sigma\langle Q_k\rangle\left(R_{fwd}^{k-1} \bowtie \rho\langle\varphi_k\rangle(R_E)\right) \forall k > 2 \qquad (1)$$

Приведенное выше описание формализует реляционную модель решения прямой задачи (по направлению ребер). Далее в работе используется встречный алгоритм, для которого требуется введение обратного построения (против направления ребер).

Пусть отношения R_{bwd}^m задаются схемой $S_{bwd}^m = \{i_n{:}\,V, \dots, i_{n-m+1}{:}\,V, r_{bwd}{:}\,\mathbb{N}\}$. Атрибут r_e для R_E в данном случае определяется значением 2^i. Пусть в выражениях он обозначается $\overline{r_e}$. Функция, задающая переименование имен атрибутов, принимает следующий формат: $\varphi_{bwd}^m{:}\{i, j\} \to \{i_{n-m+1}, i_{n-m+2}\}$. Условие фильтрации результата естественного соединения, в таком случае, определяется как $Q_{bwd}^m{:}\left\{\left(i_n, \dots, i_{n-m+1}, r_{fwd}^{m-1} | \overline{r_e}\right) | r_{bwd}^{m-1} \& \overline{r_e} = 0\right\}$.

Следовательно, выражение в реляционных операциях для реализации построения маршрутов в обратном направлении в общем случае имеет следующий вид:

$$R_{bwd}^{m} = \sigma\langle Q_{bwd}^{m}\rangle\left(R_{bwd}^{m-1} \bowtie \rho\langle\varphi_{bwd}^{m}\rangle(R_E)\right)\forall m = \overline{3,n} \qquad (2)$$

В оригинальном алгоритме [5] R_{fwd}^{2} определяется набором кортежей, состоящих из всех ребер, заданных в E. При таком подходе полученное решение для каждого найденного гамильтонова цикла будет содержать множество его инвариант относительно начальной вершины. Для избежания избыточных построений предлагается использовать прием сведения задачи поиска гамильтоновых циклов к задаче поиска гамильтоновых путей.

Так как по определению гамильтонова цикла каждая вершина должна быть включена единожды, то в качестве начального пространства поиска достаточно использовать набор ребер, инцидентных любой выбранной вершине. Пусть для заданного ориентированного графа $G = (V, E)$ выбрана некоторая $v_s \in V$. Через данную вершину должен проходить любой гамильтонов цикл, определенный в G. Следовательно, фиксированная v_s считается посещенной и может быть исключена из дальнейшего построения.

Из E известны множества вершин, которые являются начальными $In(v_s)$ и конечными $Out(v_s)$ для ребер, инцидентных v_s, где $In(v_s) = \{v \in V | \exists(v, v_s) \in E\}$, а $Out(v_s) = \{v \in V | \exists(v_s, v) \in E\}$. В следствии исключения v_s задача сводится к нахождению всех гамильтоновых маршрутов, между парами вершин, образованных декартовым произведением $Out(v_s) \times In(v_s)$ в индуцированном $G' = (V', E')$.

Стоит заметить, что инцидентный граф, образующийся при исключении v_s, может содержать вершины, полустепень захода d_{in} и исхода d_{out} [7] которых равны единице. Подобная ситуация может встречаться и в исходном графе, например, если он разреженный или моделирует транспортные или биологические сети. В силу свойств гамильтонова маршрута такие вершины могут быть стянуты. Данный процесс может производиться с помощью рекурсивного или жадного алгоритмов.

Обратная ситуация возникает в плотных графах. Здесь возможно наличие так называемых универсальных вершин, то есть вершин, степень которых равна $n - 1$. В таком случае, множество всех гамильтоновых маршрутов разбивается на классы инвариант относительно позиции универсальной вершины. Следовательно, построение может производиться в индуцированном графе с дальнейшим восстановлением маршрутов путем подстановки исключенных вершин на произвольные позиции.

По итогу описанных модификаций формируется граф $G'' = (V'', E'')$. В силу того, что количество итераций в алгоритме построения линейно зависит от мощности множества вершин, метод стягивания и метод исключения универсальных вершин позволяют сократить последовательность применений операции (1) на число исключенных вершин. Пусть оно обозначается τ. Следовательно, после проведения обозначенных преобразований значение глубины алгоритма равняется $n - 2 - \tau$ при $\tau \geq 0$.

Каждая пара $(ov; iv) \in Out(v_s) \times In(v_s)$ определяет все возможные комбинации начальных и конечных вершин для искомых гамильтоновых маршрутов. Обозначенные семейства формируют структуры простых путей: начинаются в ov, проходят по $n'' = n - 3 - \tau$ вершинам и заканчиваются в iv. Получение решения для каждого семейства производится путем применения встречного алгоритма построения, который основывается на подходе «Meet-in-the-Middle» [8].

Для каждой ov выполняется прямая задача построения до R_{fwd}^{k}, где $k = \left[\frac{n''}{2}\right] + 1$. Данный процесс реализуется итеративным применением выражения (1). Пространство поиска, в таком случае, определяется на основании $E''_{Out(ov)} = \{(ov, v) \in E'' | v \in Out(ov)\}$. Отсюда глубина прямого построения при встречной адаптации алгоритма ограничивается $\left[\frac{n''-2}{2}\right]$.

Аналогичная ситуация и для обратной задачи. С помощью итеративного применения выражения (2) для каждого iv из начального пространства поиска, заданного множеством $E''_{In(iv)} = \{(v, iv) \in E'' | v \in In(iv)\}$, производится построение до R_{bwd}^{m}, где $m = \left[\frac{n''}{2}\right]$ при n'' четном или $m = \left[\frac{n''}{2}\right] + 1$ при нечетном.

Пересечение схем итоговых отношений R_{fwd}^{k} и R_{bwd}^{m} проходит по единственному атрибуту, который и является основанием для выполнения операции естественного соединения. Соответственно, чтобы получить все гамильтоновы маршруты, относящиеся к семейству $(ov; iv)$, необходимо произвести $\sigma\langle P\rangle\left(R_{fwd}^{k} \bowtie R_{fwd}^{m}\right)$, где P: $(i_k = i_m) \wedge \left(r_{fwd} \& r_{bwd} = 2^{i_k}\right)$ при 2^{i_k} – маска номера вершины, находящейся на пересечении объединяемых кортежей, R_{fwd}^{k} получено прямым построением от ov, а R_{fwd}^{m} получено обратным построением от iv.

Важным для распределенных вычислений является замечание, что прямые задачи для каждого ov и обратные задачи для каждого iv могут выполняться независимо. При этом, на основании существования классов эквивалентности, определяемых на начальном пространстве поиска, сами выделенные задачи могут быть распараллелены путем применения принципа симметрично-горизонтального распределения [9]. Тот же случай и при формировании итоговых гамильтоновых маршрутов: для каждого семейства естественное соединение может выполняться независимо и при этом может производиться фрагментарно.

Лемма 1. О корректности предиката слияния. Если кортежи $t_{fwd} \in R_{fwd}^{k}$ и $t_{bwd} \in R_{bwd}^{m}$ удовлетворяют предикату P, то результат их естественного соединения образует последовательность номеров вершин, эквивалентных маршруту.

Условие $i_k = i_m$ гарантирует связность соединяемых подмаршрутов, что задается схемами соответствующих отношений. Значения $r_{fwd} = 2^{i_1}|2^{i_2}|\ldots|2^{i_k}$ и $r_{bwd} = 2^{i_n}|2^{i_{n-1}}|\ldots|2^{i_m}$ означают, что в процессе построения каждая вершина была включена лишь единожды, что гарантируется предикатами Q_{fwd}^{k} и Q_{fwd}^{k}. Следовательно, условие P, что $r_{fwd} \& r_{bwd} = 2^{i_k}$ означает, что пересечение масок происходит ровно по тому элементу, который является общим при пересечении

схем. Таким образом, кортежи t_{fwd} и t_{bwd}, описывающие простые подмаршруты, при соединении с выполнением P являются маршрутом.

Лемма 2. О полноте встречной реляционной модели. В отношении $\sigma\langle P\rangle\left(R_{fwd}^{k} \bowtie R_{fwd}^{m}\right)$ содержатся все маршруты, начинающиеся в ov и заканчивающиеся в iv.

Пусть задан произвольный маршрут $W^{*} = (v_1, v_2, \dots, v_{n-1}, v_n)$, где $v_1 = ov$, а $v_n = iv$. Его можно разбить на два подмаршрута $W_{fwd}^{*} = \left(v_1, v_2, \dots, v_{p+1}\right)$ и $W_{bwd}^{*} = \left(v_n, v_{n-1}, \dots, v_{p+1}\right)$. W_{fwd}^{*} с маской $r_{fwd} = 2^{v_1}|2^{v_2}|\dots|2^{v_{p+1}}$ будет содержаться в R_{fwd}^{k} построенном от ov, на основании полноты прямого построения. W_{bwd}^{*} с маской $r_{fwd} = 2^{v_n}|2^{v_{n-1}}|\dots|2^{v_{p+1}}$ будет содержаться в R_{bwd}^{m}, при построении от iv, на основании полноты обратного построения. На пересечении W_{fwd}^{*} и W_{bwd}^{*} находится единственная вершина v_{p+1}. Следовательно, в предикате соединения выполняется равенство v_{p+1} и верно, что $r_{fwd}\&r_{fwd}2^{v_{p+1}}$.

На основании лемм 1 и 2 встречный алгоритм построения позволяет для каждого семейства $(ov; iv)$ получить полный набор гамильтоновых маршрутов. Остается произвести оценку вычислительной сложности приведенного встречного алгоритма. В реляционных СУБД производительность вычислений основывается на объеме потребляемой оперативной памяти, нагрузке на операции чтения и записи на дисковом пространстве и характеристиках процессора. Следовательно, в качестве критерия оценки эффективности стоит рассматривать количество генерируемых в процессе построения кортежей (записей в таблицах), так как на время получения одной записи оказывают комплексное влияние все обозначенные технические характеристики.

В качестве оперируемых количественных единиц в итоговой формуле выступают: $d_{eff} = \frac{|E''|}{|V''|}$ – коэффициент ветвления в графе G'', при этом $d_{eff} < d_{avg} = \frac{|E|}{|V|}$; $T_{merge} = d_{out}(v_s) \cdot d_{in}(v_s) \cdot O\left(\left|R_{fwd}^{n/2}\right| + \left|R_{bwd}^{n/2}\right|\right)$ – оценка времени на выполнение соединения всех итоговых отношений; $\frac{n-2-\tau}{2} - 1$ –количество итераций (1) или (2); C_{node} – количество вычислительных узлов; C_{core} – количество вычислительных потоков на каждом узле. Таким образом, итоговая оценка вычислительной сложности описанного встречного алгоритма представлена в следующей формуле: $O\left(\frac{d_{out}(v_s)+d_{in}(v_s)}{C_{node} \cdot C_{core}} \cdot d_{eff}^{\frac{n-2-\tau}{2}-1} + \frac{T_{merge}}{C_{node} \cdot C_{core}}\right)$.

В данной работе предложен вариант алгоритма построения всех маршрутов в графе, оптимизированный для случая поиска гамильтоновых циклов. Описанный подход основывается на методах топологической редукции, наследуемых от определения гамильтонова цикла, и организован по принципу «Meet-in-the-Middle». В данном алгоритме параллелизм возникает как на уровне задач, так и на уровне данных, что означает возможность эффективной реализации на масштабируемом вычислительном кластере. Формализация в понятиях

реляционной алгебры позволяет использовать различные оптимизации, свойственные СУБД.

Список использованных источников

1. Модель решения задачи маршрутизации в интеллектуальной геоинформационной системе / С. Л. Беляков, Я. А. Коломийцев, И. Н. Розенберг, М. Н. Савельева // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 5(118). – С. 113-119. – EDN NTZLVP.

2. Марголис Б. И. Синтез магистральных телекоммуникационных сетей / Б. И. Марголис, М. М. Музанна // Программные продукты и системы. – 2014. – № 1. – С. 162-168. – EDN TFCUKN.

3. Спивак С. И. Теоретико-графовый метод определения маршрутов сложных химических реакций / С. И. Спивак, А. С. Исмагилова, И. А. Хамитова // Доклады Академии наук. – 2010. – Т. 434, № 4. – С. 499-501. – EDN NBSZRP.

4. Чертков А. А. Автоматизация поиска кратчайшего замкнутого пути в транспортной сети средствами MATLAB / А. А. Чертков, В. Г. Никифоров // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2024. – Т. 16, № 6. – С. 992-1002. – DOI 10.21821/2309-5180-2024-16-6-992-1002. – EDN PRIFMN.

5. Морозов С. А. Экспериментальный анализ многомерно-матричного подхода к построению маршрутов в графе / С. А. Морозов, В. И. Мунерман, В. А. Симаков // Известия высших учебных заведений. Электроника. – 2022. – Т. 27, № 5. – С. 676-686. – DOI 10.24151/1561-5405-2022-27-5-676-686. – EDN EXAWHR.

6. Морозов С. А. Разработка программно-аппаратного комплекса реализации метода построения всех маршрутов в графе средствами баз данных / С. А. Морозов // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2024. – Т. 20. – № 4.

7. Козлов С. В. Интерпретация инвариантов теории графов в контексте применения соответствия Галуа при создании и сопровождении информационных систем / С. В. Козлов // International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4, № 7. – С. 38-44. – EDN WCMIYL.

8. Бабенко Л. К. Криптографическая защита информации: симметричное шифрование / Л. К. Бабенко, Е. А. Ищукова. – Таганрог: Южный федеральный университет, 2015. – 219 с. – EDN VIUWIP.

9. Мунерман, В. И. Параллельная реализация симметричного горизонтального распределения данных на основе сетевых технологий / В. И. Мунерман, Д. В. Мунерман // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2017. – Т. 13, № 3. – С. 38-43. – DOI 10.25559/SITITO.2017.3.521. – EDN ZWJSAZ.

RELATIONAL MODEL OF HAMILTONIAN CYCLE CONSTRUCTION: TOPOLOGICAL REDUCTION AND FALLING ALGORITHM

S.V. Kozlov, S.A. Morozov

Smolensk State University,
Smolensk, Russia

The article proposes an optimized method for searching for all Hamiltonian cycles in a directed graph, formalized in terms of relational algebra. The reduction of computational complexity relative to the original method is achieved through the use of topological reduction and adaptation of the counter strategy (Meet-in-the-Middle). The correctness and completeness of the constructions are proved. The described approach allows scaling calculations to a distributed database network due to the natural parallelism of the algorithm. The efficiency evaluation shows a significant reduction in the search space by reducing the depth of recursion and using indexing, which makes the method promising for sparse graphs.

Keywords: hamiltonian cycles, relational algebra, graph theory, topological reduction, counter algorithm.

УДК 004

ОБЗОР РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОНСТРУКТОРОВ HIWONDER ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ РОБОТОТЕХНИКЕ ШКОЛЬНИКОВ

Е.Ю. Константинович

Омский государственный педагогический университет, филиал в г. Таре,
г. Тара, Россия

В статье рассматриваются робототехнические конструкторы Hiwonder с целью определения их характеристик и функциональных возможностей.

Ключевые слова: Hiwonder; Jetson Nano; Raspberry Pi; micro:bit; Arduino.

Конструкторы от компании Hiwonder заслуживают особого внимания ввиду их уникальных характеристик и направленности на внедрение передовых технологий искусственного интеллекта в образовательный процесс. Основанная в 2015 году, компания Hiwonder быстро заняла лидирующие позиции в области образовательной робототехники.

Продукция Hiwonder отличается не только высоким качеством сборки и материалов, но и уникальной функциональностью. Одним из ключевых аспектов является простота и интуитивно понятное программирование, которое подходит как для новичков, так и для опытных пользователей. Платформы программирования, предлагаемые компанией, включают графические среды разработки, подобные Scratch, а также поддерживают популярные языки программирования,

такие как Python и Arduino IDE. Это создает условия для плавного перехода от базовых концепций к более сложным задачам.

В ассортименте Hiwonder представлены роботы, функционирующие на базе различных платформ, включая Jetson Nano, Raspberry Pi, micro:bit и Arduino.

Jetson Nano занимает важное место среди платформ, используемых в моделях Hiwonder, и на её основе было создано значительное число роботов. Например, JetArm – это роботизированная рука с искусственным интеллектом, специально спроектированная для образовательных проектов с применением ROS. Этот робот-манипулятор, управляемый NVIDIA Jetson Nano, оснащен 3D-камерой глубины, интеллектуальной системой сервоприводов и другими высокопроизводительными компонентами, что позволяет ему выполнять сложные задачи захвата и транспортировки объектов в трёхмерном пространстве. Корпус манипулятора изготовлен из цельнометаллической стали с анодированным покрытием, что придаёт ему долговечность и красивый внешний вид. В основании использованы промышленные подшипники, способные выдерживать значительные нагрузки и обеспечивать стабильность при выполнении сложных операций.

Для улучшения пользовательского опыта и расширения функционала JetArm оборудован круглой микрофонной решеткой и динамиком, позволяющими реализовать голосовое взаимодействие на большом расстоянии. Это открывает возможности для управления роботом с помощью голоса, включая команды на захват и транспортировку объектов. Кроме того, JetArm поддерживает различные методы управления, такие как приложение WonderAi для iOS и Android, беспроводная ручка, операционная система робота (ROS) и клавиатура, что обеспечивает гибкость в выборе способа взаимодействия с устройством [1].

Микрокомпьютеры Raspberry Pi обеспечивает высокую вычислительную мощность, необходимую для выполнения сложных задач, что делает их отличной основой для создания роботов.

Одним из ярких примеров таких роботов является гуманоид Tony Pi, который представляет собой мощный инструмент для научных исследований и разработок в области искусственного интеллекта, машинного зрения и робототехники. Tony Pi оснащён широкоугольной HD-камерой, использующей библиотеку OpenCV для обработки изображений, что позволяет роботу эффективно распознавать объекты, отслеживать их перемещение и точно определять их местоположение. Интегрированные сервоприводы Bus Servo обеспечивают точное выполнение движений, необходимых для реализации различных сценариев взаимодействия с окружающей средой. Встроенная поддержка дополнительных электронных модулей позволяет адаптировать робота под конкретные исследовательские задачи, включая интеграцию датчиков, исполнительных механизмов и других компонентов.

Дистанционное управление Tony Pi возможно через приложение для мобильных устройств (Android/iOS), а также через ПК. Применение робота-гуманоида охватывает широкий спектр задач благодаря интеграции современных технологий. Так, использование методов компьютерного зрения позволяет ему автоматически обнаруживать и отслеживать движущиеся объекты, что особенно полезно в контексте робосоревнований, таких как робофутбол, где необходимо

непрерывно контролировать перемещение мяча. Автономная навигация обеспечивается за счёт встроенных сенсоров и системы управления, что даёт роботу способность безопасно передвигаться в окружающем пространстве, избегая столкновений с препятствиями. Функции визуального определения расстояний и перемещения объектов открывают новые горизонты для применения робота в логистике. Наконец, наличие датчика IMU способствует поддержанию баланса и коррекции положения робота в реальном времени, что повышает его устойчивость и эффективность выполнения задач [3].

Платформы на базе микроконтроллеров, такие как micro:bit, также находят широкое применение в образовательной среде, предлагая уникальные возможности для изучения робототехники, программирования и искусственного интеллекта.

uHandbit – это программируемая роботизированная рука, созданная для обучения искусственному интеллекту (AI) с использованием платформы micro:bit. Эта система интегрирует различные электронные модули, такие как датчик звука, температуры, цвета, акселерометр, светодиодная точечная матрица и программируемые кнопки, что позволяет устройству выполнять широкий спектр функций, включая измерение расстояний, распознавание цветов и подсчёт пальцев. Антиблокирующая функция сервопривода LFD-01 защищает систему от перегрева при столкновениях и движении, увеличивая срок службы устройства. Разработанный для образовательных целей, uHandbit служит эффективным инструментом для изучения основ робототехники, программирования и искусственного интеллекта в интерактивной и доступной форме. Система поддерживает управление через персональный компьютер, приложение micro:bit и мобильные устройства, а также использует методы графического программирования, делая процесс обучения простым и наглядным [4].

Рассматривая роботов, функционирующих на платформе Arduino, следует обратить внимание на MechDog – компактного робота в форме собаки. Данный робот оснащён контроллером ESP32 и 8 высокоскоростными бесколлекторными сервоприводами, что обеспечивает ему превосходную манёвренность и точность движений. Конструкция с 8 степенями свободы позволяет точно копировать движения четвероногих животных, а встроенный IMU-датчик обеспечивает устойчивость и самобалансировку при передвижениях. Для удобства пользователей роботом-собакой можно управлять через приложение с 16 предустановленными действиями. Одной из интересных функций является передача видео в реальном времени через модуль ESP32 S3, что позволяет следить за действиями робота и управлять им удалённо. MechDog поддерживает программирование на нескольких языках, включая Python, Scratch и Arduino. Кроме того, в MechDog предусмотрены разъёмы для подключения различных датчиков, что значительно расширяет его функциональность [2].

Роботы компании Hiwonder представляют собой эффективные образовательные ресурсы, предоставляющие школьникам широкие возможности для освоения основ робототехники и совершенствования навыков программирования. Их внедрение в учебный процесс способствует созданию благоприятной среды для развития технических компетенций и углубленного понимания современных технологий.

Список использованных источников

1. Hiwonder JetArm ROS1/ROS2 3D Vision Robot Arm, with Multimodal AI Model (ChatGPT), AI Voice Interaction and Vision Recognition, Tracking & Sorting. – Текст : электронный // Hiwonder : [сайт]. – URL: https://www.hiwonder.com/products/jetarm?variant=41317227888727 (дата обращения: 18.08.2026).

2. Hiwonder MechDog Open Source AI Robot Dog with AI Vision & Voice Interaction, Programmable with Scratch, Arduino, and Python. – Текст : электронный // Hiwonder : [сайт]. – URL: https://www.hiwonder.com/products/mechdog?variant=41158973161559 (дата обращения: 18.08.2026).

3. Hiwonder TonyPi AI Humanoid Robot Powered by Raspberry Pi 5 with Multimodal Model (ChatGPT) Integration, AI Vision, and Voice Interaction. – Текст : электронный // Hiwonder : [сайт]. – URL: https://www.hiwonder.com/products/tonypi?variant=31753114681431 (дата обращения: 18.08.2026).

4. uHandbit Hiwonder micro:bit Programmable Robotic Hand for AI Learning. – Текст : электронный // Hiwonder : [сайт]. – URL: https://www.hiwonder.com/products/uhandbit?variant=17593529335859 (дата обращения: 18.08.2026).

REVIEW OF HIWONDER CONSTRUCTORS FOR TEACHING ROBOTICS TO SCHOOL STUDENTS

E.YU. Konstantinovich

Omsk State Pedagogical University, branch in Tara, Tara, Russia

The article examines Hiwonder robotics kits in order to determine their characteristics and functional capabilities.

Keywords: Hiwonder; Jetson Nano; Raspberry Pi; micro:bit; Arduino.

УДК 004.9; 005.5

ВЫБОР И ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМ БИЗНЕС - АНАЛИТИКИ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ В РФ В УСЛОВИЯХ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ

Н.М. Королёв[1]

Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, Краснодарский филиал, г. Краснодар, Россия

В статье рассматривается задача выбора и внедрения BI-систем на российских предприятиях в условиях импортозамещения. Предложена модель интегральной оценки BI-платформ, основанная на системе критериев, весовых

[1] Научный руководитель: Е.Н. Калайдин, профессор кафедры "Математика и информатика"

коэффициентах и балльной оценке альтернатив. На примере Yandex DataLens, Visiology, Modus BI и Loginom показано, что итоговый выбор зависит от приоритетов предприятия: функциональности, интеграции, масштабируемости, стоимости владения, удобства использования и информационной безопасности. Обосновано, что BI-системы не повышают эффективность предприятия автоматически, а создают информационную основу для более быстрых и обоснованных управленческих решений.

Ключевые слова: бизнес-аналитика, BI-системы, импортозамещение, DataLens, Visiology, Loginom, интегральная оценка, управленческие решения, TCO.

ВВЕДЕНИЕ

В условиях цифровизации экономики предприятия все чаще сталкиваются с необходимостью рационально использовать данные при принятии управленческих решений. Рост объемов информации, усложнение бизнес-процессов и повышение скорости изменений внешней среды требуют применения систем бизнес-аналитики (Business Intelligence, BI). Такие системы позволяют собирать, обрабатывать, визуализировать и интерпретировать данные, превращая их в аналитическую информацию для стратегического и оперативного управления.

После 2022 года российский рынок BI существенно изменился: доступность многих зарубежных решений сократилась, а предприятия стали активнее переходить на отечественные платформы. Импортозамещение в данном контексте рассматривается как фактор, изменивший условия выбора BI-систем. Организации вынуждены сравнивать решения не только по функциональности, но и по интеграционным возможностям, стоимости владения, удобству внедрения и требованиям информационной безопасности [1; 2; 3].

Актуальность исследования связана с необходимостью разработки прозрачного алгоритма выбора BI-платформы. Под формализацией выбора в работе понимается перевод качественных характеристик программных продуктов в систему количественных оценок по заданным критериям. Такой подход позволяет не ограничиваться общим описанием программных продуктов, а обосновывать выбор платформы с учетом приоритетов конкретного предприятия.

Объект исследования - процесс выбора и внедрения BI-платформ на российских предприятиях. Предмет исследования - критерии, методология и экономические аспекты выбора BI-систем в условиях импортозамещения. Цель исследования - разработка и апробация формализованного подхода к выбору BI-платформы на основе интегральной оценки, а также определение условий, при которых внедрение BI-систем может способствовать повышению качества управленческих решений.

Для достижения цели решаются следующие задачи: провести анализ российского рынка BI-систем; выполнить сравнительный анализ функциональных возможностей выбранных BI-решений; предложить метрику сравнения и проверить ее применимость; провести экономический анализ целесообразности внедрения с учетом совокупной стоимости владения; определить основные риски внедрения и способы их снижения.

Информационную основу исследования составляют материалы eLIBRARY, отраслевые обзоры российского рынка BI, публикации CNews и TAdviser, а также официальные материалы рассматриваемых платформ [1-8]. Методическая часть работы опирается на подходы многокритериального анализа и метод взвешенных критериев. В исследовании применялись сравнительный анализ, экспертная оценка, анализ совокупной стоимости владения и сценарный анализ.

1. АНАЛИЗ РЫНКА BI-СИСТЕМ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Российский рынок BI-систем продолжает развиваться. В научных публикациях последних лет отмечается, что спрос на российские BI-платформы растет под влиянием импортозамещения, необходимости работы с большими массивами данных и потребности организаций в более наглядной управленческой аналитике [1; 2]. По данным TAdviser, по итогам 2024 года рынок бизнес-аналитики перешел к более зрелому этапу, а в 2025 году сохранились консолидация ведущих игроков и постепенная миграция на российские платформы [3].

Актуальность темы подтверждается материалами CNews: по оценке участников рынка, в 2025 году спрос на BI в России вырос на 15-17%. При этом заказчики продолжают сталкиваться со сложностью выбора зрелых и функциональных решений, особенно если требуется интеграция с корпоративными системами, хранилищами данных и существующей ИТ-инфраструктурой [4].

К ключевым факторам роста рынка BI относятся импортозамещение программного обеспечения, цифровая трансформация бизнес-процессов, рост требований к качеству данных и расширение функциональных возможностей российских платформ. Следовательно, выбор BI-системы становится не только технической, но и управленческой задачей. Ошибка при выборе платформы может привести к росту затрат на интеграцию, низкой вовлеченности пользователей и недостаточной отдаче от проекта.

2. КРИТЕРИИ ВЫБОРА BI-СИСТЕМ

Для корректного сравнения BI-платформ нужна система критериев оценки. При выборе критериев важно учитывать не только функциональность продукта, но и совместимость с корпоративной инфраструктурой, требования информационной безопасности, стоимость владения и удобство использования. На основе анализа отраслевых обзоров и официальных материалов платформ сформирован перечень критериев, представленный в таблице 1 [3-8].

Таблица 1 – Критерии оценки BI-систем

Критерий	Содержание критерия
Функциональность	Инструменты визуализации, отчетности, дашбордов, аналитических витрин, прогнозирования и элементов ML
Интегр.	Совместимость с CRM, ERP, 1С, СУБД, файловыми источниками и корпоративными хранилищами данных

Критерий	Содержание критерия
Масштаб.	Возможность расширения системы при росте числа пользователей, источников данных и объема аналитики
Совокупная стоимость владения (TCO)	Затраты на лицензии, внедрение, инфраструктуру, обучение, сопровождение и развитие системы
UX	Качество интерфейса, скорость освоения, self-service аналитика, доступность для бизнес-пользователей
Информационная безопасность	Соответствие требованиям законодательства РФ, разграничение прав доступа, возможность локального развертывания

Оценка по каждому критерию проводится по пятибалльной шкале: 1 балл означает минимальный уровень реализации критерия, 2 балла - ограниченный уровень, 3 балла - базовый уровень, 4 балла - высокий уровень, 5 баллов - развитый уровень, соответствующий требованиям крупных предприятий и сложных аналитических контуров.

Отдельного внимания требует совокупная стоимость владения. В отличие от цены лицензии, TCO отражает полный объем затрат, которые предприятие несет в течение жизненного цикла BI-системы. В общем виде TCO может быть представлена формулой: TCO = Cl + Ci + Cinf + Cob + Cs, где Cl - стоимость лицензий или подписки; Ci - внедрение и интеграция; Cinf - инфраструктура; Cob - обучение сотрудников; Cs - сопровождение и развитие системы. Поэтому экономический выбор BI-платформы должен учитывать не только первоначальные затраты, но и последующие расходы на эксплуатацию.

3. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ BI-ПЛАТФОРМ

Для апробации модели рассмотрены четыре решения: Yandex DataLens, Visiology, Modus BI и Loginom. Yandex DataLens позиционируется как инструмент бизнес-аналитики для визуализации данных, построения дашбордов, отчетов и совместного использования аналитических материалов [5]. Modus BI является российской BI-платформой, ориентированной на сбор, подготовку и визуализацию данных, а также на работу в браузере и интеграцию с корпоративной инфраструктурой [6].

Visiology рассматривается как корпоративная BI-платформа для построения дашбордов, анализа данных и поддержки data-driven управления [7]. Loginom в рамках исследования рассматривается не как классическая BI-платформа визуализации, а как аналитическая low-code платформа для интеграции, подготовки, моделирования и анализа данных [8]. Поэтому сравнение Loginom с BI-системами проводится с учетом его роли в BI-экосистеме, а не как прямого аналога средств визуализации.

Оценка выполнена по пятибалльной шкале с учетом функциональных возможностей, интеграционного потенциала, масштабируемости, стоимости владения, удобства использования и информационной безопасности. Для расчета интегральной оценки использованы веса критериев, отражающие приоритеты

предприятия, ориентированного на расширенную аналитику, надежную интеграцию и возможность масштабирования.

Таблица 2 – Сравнительная оценка BI-платформ и веса критериев

Крит.	Вес	DL	Vis	Mod	Log
Функц.	0,25	4	5	4	5
Интегр.	0,20	4	5	4	5
Масш.	0,20	4	5	4	5
TCO	0,15	5	3	4	4
UX	0,10	5	4	4	3
Безоп.	0,10	4	5	4	5
E	1,00	4,25	4,65	4,20	4,60

Примечание: DL - Yandex DataLens, Vis - Visiology, Mod - Modus BI, Log - Loginom. Таблица составлена автором на основе открытых материалов платформ и экспертной оценки по пятибалльной шкале.

Как видно из таблицы 2, при заданных весах наибольшую интегральную оценку получает Visiology - 4,65. Близкий результат показывает Loginom - 4,60, однако его следует рассматривать прежде всего как инструмент подготовки, обработки и моделирования данных. Yandex DataLens получает 4,25 и выглядит привлекательным вариантом для организаций, для которых важны более низкая стоимость владения и простота освоения. Modus BI занимает промежуточную позицию и может рассматриваться как сбалансированное решение.

4. МЕТОДОЛОГИЯ ВЫБОРА BI-ПЛАТФОРМЫ

Для формализации процесса выбора BI-платформы предлагается использовать модель интегральной оценки, основанную на методе взвешенных критериев: E = сумма wi * xi, где E - интегральная оценка платформы; wi - весовой коэффициент i-го критерия; xi - балльная оценка платформы по i-му критерию; сумма весов равна 1.

Расчет для Yandex DataLens при заданных весах имеет вид: E = 4*0,25 + 4*0,20 + 4*0,20 + 5*0,15 + 5*0,10 + 4*0,10 = 4,25. Для Visiology: E = 5*0,25 + 5*0,20 + 5*0,20 + 3*0,15 + 4*0,10 + 5*0,10 = 4,65. Следовательно, если предприятие ориентировано на функциональность, интеграцию и масштабирование, Visiology выглядит предпочтительным выбором.

При этом модель не является жестким рейтингом. Она зависит от весов, которые определяются стратегическими приоритетами конкретного предприятия. Если повысить вес критерия стоимости до 0,30 и снизить веса функциональности или масштабируемости, итоговый выбор может сместиться в сторону Yandex DataLens. Это особенно важно для малых и средних предприятий, для которых бюджет проекта и скорость внедрения могут иметь большее значение, чем расширенные корпоративные функции.

Таким образом, предложенная модель позволяет использовать сценарный подход. Для малого бизнеса главным приоритетом могут быть стоимость и простота освоения; для среднего бизнеса - баланс цены, интеграции и

масштабирования; для крупного предприятия - безопасность, устойчивость архитектуры и интеграция с ERP, CRM и корпоративным хранилищем данных; для организаций с развитой аналитикой - возможности подготовки данных, моделирования и применения ML-инструментов.

5. ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВНЕДРЕНИЯ BI-СИСТЕМ

Выбор BI-платформы является необходимым, но недостаточным условием успешной цифровой трансформации. BI-система не повышает эффективность предприятия автоматически. Она создает информационную основу для более качественных управленческих решений, однако реальный эффект зависит от качества данных, готовности пользователей, корректности постановки задач и уровня интеграции с существующими системами.

Внедрение BI-системы целесообразно рассматривать как поэтапный процесс: аудит текущих источников данных; определение бизнес-требований и ключевых показателей эффективности; выбор платформы на основе интегральной модели; пилотное внедрение; интеграция с CRM, ERP, 1С, СУБД и другими корпоративными системами; обучение пользователей; оценка эффективности внедрения и последующее масштабирование.

На практике наибольшие сложности связаны не только с технической установкой продукта, но и с организационными изменениями. Низкое качество исходных данных приводит к ошибкам в отчетах и снижению доверия к аналитике; сопротивление персонала снижает вовлеченность пользователей; сложная интеграция с унаследованными системами увеличивает сроки и стоимость проекта; завышенные ожидания от BI могут привести к разочарованию в результатах; зависимость от поставщика затрудняет последующую миграцию.

Для снижения указанных рисков необходимы аудит данных, очистка справочников, обучение сотрудников, поддержка руководства, пилотный проект, техническое обследование, поэтапная интеграция, определение реалистичных KPI и проверка возможностей экспорта данных. Только при наличии качественных данных, подготовленных пользователей и понятных управленческих регламентов BI-платформа способна заметно повысить скорость и обоснованность принимаемых решений.

6. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ BI-СИСТЕМ

Одним из ключевых вопросов при внедрении систем бизнес-аналитики является оценка их эффективности. BI-платформы оказывают влияние не только на операционные процессы, но и на качество управленческих решений, что усложняет количественную оценку эффекта. Поэтому целесообразно использовать несколько подходов: финансовый, операционный и управленческий.

Финансовый подход основан на оценке экономического эффекта через показатели инвестиционной эффективности. Наиболее простыми показателями являются коэффициент годовой отдачи инвестиций и срок окупаемости: R = годовой эффект / затраты, PP = затраты / годовой эффект. Если предприятие внедрило BI-систему с затратами 5 млн руб., а ежегодный экономический эффект составил 2 млн руб., то R = 2 / 5 = 0,40, или 40%, а PP = 5 / 2 = 2,5 года.

Если необходимо рассчитать классический ROI за период проекта, следует учитывать накопленный эффект за весь период. Например, за три года при

ежегодном эффекте 2 млн руб. ROI составит: ROI = ((2 * 3) - 5) / 5 = 0,20, или 20%. Такое разделение устраняет методическую ошибку, при которой годовой эффект ошибочно подставляется в формулу ROI за весь проектный период.

Операционный подход оценивает влияние BI-системы на бизнес-процессы: сокращение времени подготовки отчетности, снижение количества ошибок при обработке данных, ускорение согласования управленческих решений и повышение доступности аналитики. Управленческий подход оценивает повышение прозрачности бизнеса, улучшение контроля KPI, точность прогнозирования, снижение неопределенности при планировании и переход к data-driven управлению.

Для комплексной оценки эффективности внедрения BI-системы предлагается объединить финансовый, операционный и управленческий подходы в единую модель: Evn = a * Efin + b * Eoper + g * Eman, где Efin - финансовая эффективность; Eoper - операционная эффективность; Eman - управленческая эффективность; a, b, g - весовые коэффициенты, сумма которых равна 1. Например, при весах 0,40, 0,35 и 0,25 и экспертных значениях Efin = 0,40, Eoper = 0,70 и Eman = 0,80 итоговая оценка составит Evn = 0,61.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В условиях импортозамещения и цифровой трансформации российские предприятия сталкиваются с необходимостью выбора BI-систем, способных обеспечить аналитическую поддержку управленческих решений. BI-платформы не являются самостоятельным источником роста эффективности предприятия, однако они позволяют повысить прозрачность бизнес-процессов, сократить время подготовки отчетности и повысить обоснованность принимаемых управленческих решений.

В работе предложена модель интегральной оценки BI-платформ на основе метода взвешенных критериев. Проведенная апробация показала, что при приоритете функциональности, интеграции и масштабируемости наибольшую оценку получает Visiology. При изменении весовых коэффициентов, в частности при росте значимости стоимости владения, предпочтительный выбор может смещаться в сторону Yandex DataLens.

Разработанная трехкомпонентная модель оценки эффективности внедрения BI-систем дополняет модель выбора платформы, поскольку позволяет учитывать финансовые, операционные и управленческие результаты проекта. Такой подход дает возможность оценивать не только техническую пригодность платформы, но и фактический эффект от ее использования. К ограничениям исследования относятся экспертный характер оценок, анализ ограниченного числа платформ и отсутствие расчетов на основе данных конкретного предприятия.

Список использованных источников

1. Дудченко А.И. Особенности выбора и внедрения BI-систем [Электронный ресурс] // eLIBRARY.RU. - 2024. - URL: https://elibrary.ru/item.asp?id =71487975 (дата обращения: 05.05.2026). - EDN IBULZC.

2. Боборыкин К.А. Обзор и сравнение российских BI-систем [Электронный ресурс] // eLIBRARY.RU. - 2023. - URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=54094785 (дата обращения: 05.05.2026). - EDN MBLAMC.

3. TAdviser. Business Intelligence (рынок России) [Электронный ресурс]. - URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Business_Intelligence_(рынок_России) (дата обращения: 05.05.2026).

4. CNews. Navicon: спрос на BI в России вырос на 15-17% в 2025 году [Электронный ресурс]. - URL: https://www.cnews.ru/news/line/2026-02-18_navicon_spros_na_bi_v_rossii_vyros (дата обращения: 05.05.2026).

5. Yandex Cloud. Yandex DataLens. Documentation [Электронный ресурс]. - URL: https://yandex.cloud/ru/docs/datalens/ (дата обращения: 05.05.2026).

6. Modus BI. Российская система бизнес-аналитики [Электронный ресурс]. - URL: https://modusbi.ru/ (дата обращения: 05.05.2026).

7. Visiology. BI-платформа Visiology [Электронный ресурс]. - URL: https://ru.visiology.su/ (дата обращения: 05.05.2026).

8. Loginom. Аналитическая low-code платформа Loginom [Электронный ресурс]. - URL: https://loginom.ru/platform (дата обращения: 05.05.2026).

THE SELECTION AND IMPLEMENTATION OF BUSINESS ANALYTICS SYSTEMS AS A FACTOR IN IMPROVING THE EFFICIENCY OF ENTERPRISES IN THE RUSSIAN FEDERATION IN THE CONTEXT OF IMPORT SUBSTITUTION

N.M. Korolev[1]

Financial University under the Government of the Russian Federation,
Krasnodar Branch,
Krasnodar, Russia

The article examines the selection and implementation of BI systems at Russian enterprises under import substitution conditions. An integral evaluation model is proposed based on criteria, weighting coefficients and score assessment of alternatives. Using Yandex DataLens, Visiology, Modus BI and Loginom as examples, the article shows that the final choice depends on enterprise priorities: functionality, integration, scalability, total cost of ownership, usability and information security. It is substantiated that BI systems do not automatically increase enterprise efficiency, but provide an information basis for faster and better grounded managerial decisions.

Keywords: business intelligence, BI systems, import substitution, DataLens, Visiology, Loginom, integral evaluation, managerial decisions, TCO.

[1] Scientific supervisor: E.N. Kalaydin, Professor at the Department of Mathematics and Computer Science.

УДК 004.056.55

МЕТОДЫ МАСКИРОВКИ И МЕХАНИЗМЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ВРЕДОНОСНЫХ ПРОГРАММ В ФОРМАТАХ МЕДИА ФАЙЛОВ

К.Э. Костин, И.Д. Нурмухамедов

Смоленский государственный университет,
г. Смоленск, Россия

Статья представляет собой исследование методов маскировки и функционирование вредоносных программ в форматах медиа-файлов. В статье рассматривается сценарий обмана пользователя при помощи визуального подмена расширения исполняемого файла на графический с помощью элементов Юникода. Подчеркивается высокая эффективность подобных методов обмана пользователя, использующих социальную инженерию и недостаточный визуальный контроль со стороны пользователя. В заключении отмечается, что понимание работы таких замаскированных угроз служит основой для цифровой грамотности пользователей

Ключевые слова: вредоносные программы, информационная безопасность, маскировка файлов, уязвимость Unicode, медиафайлы.

В условиях цифровизации общества актуальность поддержки информационной безопасности получает особую значимость [1]. На сегодняшний день зарегистрировано около 55 тысяч компьютерных вирусов. Их число постоянно растет, появляются совершенно новые, ранее неизвестные типы [2]. Каждый день многие пользователи обмениваются информацией в сети через мессенджеры, облачные хранилища электронную почту, которые в свою очередь создают условия для распространения вредоносных программ. Статистика в сфере кибербезопасности показывает, что большая часть кибератак начинается с отправки пользователю вредоносного кода в виде безвредных файлов, которые пользователь открывает, не подозревая об опасности [3].

Особенно угрозу представляют вредоносные программы, представленные в виде медиафайлов-изображений, аудио- и видеозаписях. Пользователь психологически склонен открывать такие файлы. Злоумышленники с большим интересом пользуются наивностью пользователя, применяя различные виды обхода визуального контроля и систем защиты [4, 5]. Одной из самых распространенных схем в реализации является использование специальных символов стандарта Unicode.

Актуальность исследования обусловлена несколькими факторами. Во-первых, методы на основе символов Unicode не требуют широких знаний и могут быть использованы любыми злоумышленниками. Во-вторых, пользователи не обладают высокими знаниями цифровой грамотности, чтобы увидеть признаки маскировки при изучении файла.

Одной из наиболее распространенных схем обмана пользователя является маскировка файлов под безобидные медиафайлы в виде формата JPEG. Пользователи привыкли открывать файлы, полученные через мессенджеры или

электронную почту, не подозревая об опасности. Злоумышленники пользуются доверием пользователей, применяя уязвимости в отображении текста операционными системами [6, 7]. Ключевую роль в этом играют стандарты кодировки Unicode, которые поддерживают специальные управляющие символы.

Среди множества специальных символов Unicode внимание привлекают символы управления направлением текста. Символ U+202E (Right-to-Left Override, RLO), который предназначен для отображения текста справа налево. Этот символ был создан для корректного отображения языков с направлением письма справа налево. Однако в контексте имен файлов в операционной системе Windows он может быть использован в пагубных целях.

Рассмотрим механизм атаки на конкретном примере. Злоумышленник создает исполняемый файл и переименовывает его, используя следующую последовательность символов: lgpj.exe, где после l ставиться символ U+202E. В это время пользователь в окне проводника видит файл с именем «lexe.jpg» со стандартной иконкой изображения. При этом реальное расширение файла остается .exe, что подтверждается в окне свойств файла. Операционная система корректно обрабатывает такое имя, так как символы Unicode являются допустимыми в файловой системе NTFS.

После открытия замаскированного файла программа начинает выполнять заложенный в нее код (рис. 1). Механизмы атаки таких программ могут быть разными от кражи конфиденциальных данных и установки бэкдоров до проведения Dos атак [8, 9]. Для демонстрации работы вредоносного кода, направленного на нарушение работы системы, рассмотрим реализацию программы на Python, которая нагружает оперативную память компьютера.

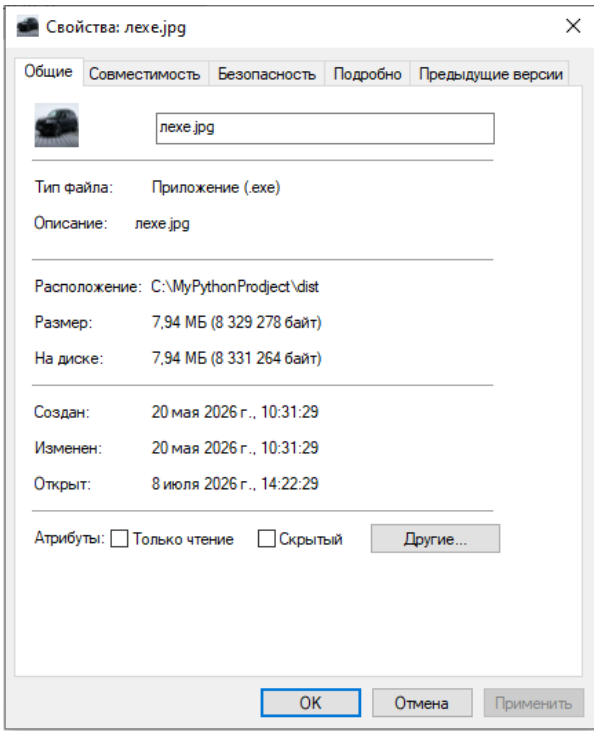


Рисунок 1– Свойства файлов

```
import time
def load_4gb():
    size_gb = 4
    size_bytes = size_gb * 1024 * 1024 * 1024  # 4 ГБ в байтах
    print(f" Выделяю {size_gb} ГБ оперативной памяти...")
    try:
        data = bytearray(size_bytes)

        print("4 ГБ успешно выделены и удерживаются.")
        print(" Для безопасного завершения нажмите Ctrl+C (или закройте терминал).")
        while True:
            time.sleep(1)

    except MemoryError:
        print(" Ошибка: системе не удалось выделить 4 ГБ. Недостаточно свободной RAM/swap.")
    except KeyboardInterrupt:
        print("\n Завершение работы. Память возвращается системе...")
        try:
            del data
        except UnboundLocalError:
            pass

if __name__ == "__main__":
    load_4gb()
```

Рассмотрим алгоритм работы данной программы. В функции load_4gb() происходит вычисление необходимого объёма памяти. Для выделения памяти используется встроенный тип данных bytearray. Выбор этого типа обусловлен особенностями управления памятью в языке программирования Python. Также, этот тип данных запрашивает, обнуляет и резервирует непрерывный блок памяти у операционной системы. Это предотвращает выделение памяти, при котором операционная система выделяет виртуальные адреса, но не предоставляет страницы памяти до первого обращения к ним. Использование bytearray гарантирует, что 4 ГБ будут изъяты из свободного пространства оперативной памяти [8].

После выделения памяти программа входит в цикл while True, внутри которого выполняется функция time.sleep(1). Этот цикл необходим для удержания функции load_4gb() в активном состоянии. Если функция завершится, то переменная data выйдет из области видимости и сборщик мусора (garbage collector) Python освободит занятую память. Таким образом, цикл выступает в роли удержания ресурсов.

Также программа предусматривает обработку исключительных ситуаций. Блок except MemoryError перехватывает ошибку, которая возникает, когда в системе недостаточно объёма свободной оперативной памяти и файла подкачки (swap) для выделения запрошенного объёма (рис. 2). Блок except

KeyboarsInterrupt обрабатывает прерывание программы пользователем, обеспечивая корректное завершение работы и удаление переменной data для ускорения возврата памяти системе.

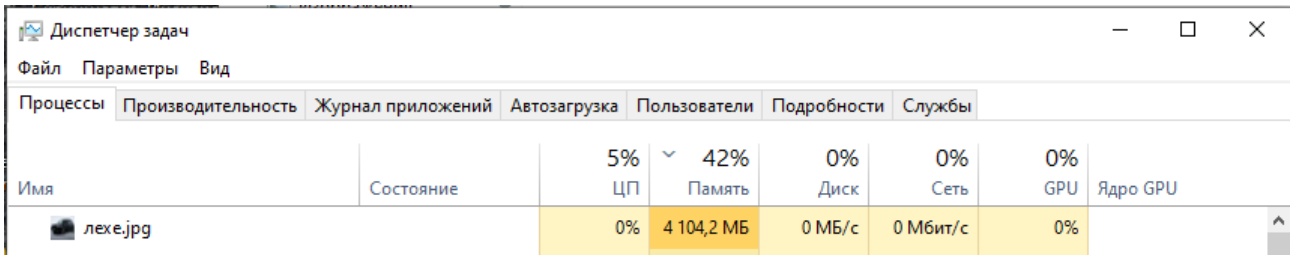


Рисунок 2 – Отображение работы программы в диспетчере задач

Запуск подобной программы может быть критичен с таким объёмом памяти. Когда операционная система сталкивается с нехваткой физической памяти, она начинает активно использовать файл подкачки на жестком диске. Менеджер памяти завершает другие процессы. Такие, как системные службы, что приводит к зависанию и перезагрузке.

В заключение можно отметить, что методы маскировки вредоносных программ с использованием юникода представляют угрозу информационной безопасности. Важно понимать, что методы, используемые злоумышленниками, могут и должны служить основой для разработки более сложных и совершенных систем защиты. Повышение цифровой грамотности пользователей и настройка операционных систем на отображение реальных расширений файлов остаются базовыми, но важными мерами противодействия таким угрозам.

Список использованных источников

1. Козлов С. В. Особенности использования методов интеллектуального анализа данных в обучающих информационных системах / С. В. Козлов // International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – Т. 8, № 7. – С. 29-39. – EDN DXGOFF.

2. Косимов И. Л. Основы информатики и компьютерных технологий / И. Л. Косимов, Р. Н. Одинаев, С. Х. Мирзоев. – Душанбе: Таджикский государственный национальный университет, 2006. – 187 с. – EDN HKQGGR.

3. Казанцев В. В. Эволюция вирусов и их степень опасности / В. В. Казанцев // Индустрия 1С: Сборник статей II региональной научно-практической конференции, Брянск, 28 ноября 2023 года. – Брянск: Брянский государственный инженерно-технологический университет, 2023. – С. 201-206. – EDN IDWPJS.

4. Козлов С. В. Реализация аутентификации пользователя в web-приложении с использованием стандарта JWT / С. В. Козлов, М. С. Воробьев // Системы компьютерной математики и их приложения. – 2022. – № 23. – С. 362-366. – EDN EILXZE.

5. Козлов С. В. Реализация авторизации пользователя в web-приложении с использованием стандарта JWT / С. В. Козлов, М. С. Воробьев // Развитие

научно-технического творчества детей и молодежи: сборник материалов VI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Смоленск, 22 апреля 2022 года. Том Вып. 6. – Киров: Межрегиональный центр инновационных технологий в образовании, 2022. – С. 34-38. – EDN LFOPSZ.

6. Назарян А. К. Современные кибератаки: классификация и способы защиты / А. К. Назарян, И. Н. Карцан // Информатика. Экономика. Управление. – 2025. – Т. 4, № 1. – С. 1001-1007. – DOI 10.47813/2782-5280-2025-4-1-1001-1007. – EDN DVSBRU.

7. Иванов П. А. Реализация асимметричной криптографии с помощью алгоритма RSA / П. А. Иванов// Диалог культур. Материалы XVI Международной научно-практической конференции на английском языке. В 3-х частях. Под общей редакцией В.В. Кирилловой. – Санкт-Петербург, 2023. – С. 123-129. EDN: YPRJSG

8. Казанцев В. В. Разработка системы удаленного доступа и управления персональным компьютером / В. В. Казанцев, С. В. Козлов // Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии: Материалы XI Всероссийской конференции, Оренбург, 16 ноября 2023 года. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2023. – С. 225-229. – EDN IGFCMY.

9. Коряков, А. С. Применение Blockchain-технологий в современном программировании / А. С. Коряков // Развитие научно-технического творчества детей и молодежи : Сборник материалов VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Смоленск, 21 апреля 2023 года. Выпуск 7. – Киров: Межрегиональный центр инновационных технологий в образовании, 2023. – С. 23-28. – EDN TZKCXV.

METHODS OF MASKING AND MECHANISMS OF FUNCTIONING OF MALICIOUS PROGRAMS IN MEDIA FILE FORMATS

K.E. Kostin, I.D. Nurmukhamedov

Smolensk State University,
Smolensk, Russia

The article is a study of masking methods and the functioning of malware in media file formats. This article discusses a scenario of deceiving a user by visually swapping an executable file extension for a graphic file using Unicode elements. The high efficiency of such methods of deceiving the user, using social engineering and insufficient visual control by the user, is emphasized. In conclusion, it is noted that understanding the work of such disguised threats serves as the basis for digital literacy of users

Keywords: malware, information security, file masking, Unicode vulnerability, media files.

УДК 519.6

УДЕЛЬНАЯ РЕАКЦИОННАЯ ПОВЕРХНОСТЬ УГЛЕГРАФИТОВЫХ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ, КАК РАСПРЕДЕЛЕННЫЙ ПАРАМЕТР ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ В ПРОТОЧНЫХ ТРЕХМЕРНЫХ ЭЛЕКТРОДАХ

В.В. Кузина, А.Д. Рыжов, А.Н. Кошев

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, г. Пенза, Россия

Приводятся исследования влияния оптимального распределения удельной реакционной поверхности углеграфитовых волокнистых материалов на равномерность распределения процесса металлизации композиционных материалов в проточных трехмерных электродах (ПТЭ). Показано, что применение составных катодов с различным профилем электрической проводимости позволяет повысить эффективность процесса нанесения металлического покрытия за счет правильного выбора распределенной реакционной поверхности. Система моделирующих уравнений позволяет рассчитывать распределенные по толщине ПТЭ неизвестные электрохимические функции: потенциал, плотность тока, концентрацию, – при заданных функциях удельной реакционной поверхности и удельной электропроводности. Показано хорошее согласование результатов расчетов и экспериментальных данных.

Ключевые слова: математическое моделирование, металлизация композиционных материалов, трехмерный проточный электрод, углеродные волокнистые материалы (УВМ), свойства УВМ

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-21-00135, https://rscf.ru/project/25-21-00135/

Опубликованные в открытой печати экспериментальные данные о значениях параметров нетканых и тканых углеграфитовых материалов (УВМ) [1–4] показывают разнообразие свойств УВМ различных марок, что позволяет ставить и решать задачи, связанные с металлизацией УВМ при удовлетворении различных требований, предъявляемых к свойствам образующихся материалов. Для обоснования возможности повышения эффективности процесса нанесения металлического покрытия на пористые углеродные материалы за счет правильного выбора распределенной реакционной поверхности нами были рассмотрены составные катоды с различным профилем электрической проводимости: 1 – убывающим (ВНГ-50; НТМ-200; ВИНН250; АНМ; КНМ), 2 – возрастающим (КНМ; АНМ; НТМ-100; ВИНН-250-2; ВНГ-50), 3 – параболическим (ветви вверх) (ВНГ-50; ВИНН-250; АНМ; ВИНН-250; ВНГ-50) и 4 – параболическим (ветви вниз) (АНМ; ВИНН-250; ВНГ-50; ВИНН-250; АНМ). Приведены проводимости по толщине составного проточного трехмерного электрода (ПТЭ) – $\kappa_T(x)$, обусловленные таким выбором составов, распределения реакционной поверхности ПТЭ – $S_V(x)$, и показатели равномерности распределения потенциала в каждом из

рассмотренных случаев. Результаты получены для случая плотности тока, подаваемого на проточный трехмерный электрод i = 150 А/м^2; и скорости протока электролита m_V = 0,1 мл/(с·см^2), а также при i = 250 А/м^2, m_V = 0,1 мл/(с·см^2). Результаты анализа данных и расчетов показывают существенную чувствительность к распределенным $\kappa_T(x)$ и $S_V(x)$ показателям распределения процесса металлизации ПТЭ по толщине электрода. Лучший, с точки зрения равномерности распределения процесса, обеспечивает вариант распределения исходной проводимости ПТЭ, когда $\kappa_T(x)$ представляет собой возрастающую кривую (от тыльной стороны электрода к фронтальной), а $S_V(x)$ – обратную параболу. Худшие варианты характеризуются, кроме прочего, тем, что распределение удельной реакционной поверхности в этих случаях несистемно – кривая представляет собой некоторую «пилу». Можно также утверждать, что без дополнительных теоретических и экспериментальных исследований влияния функций $S_V(x)$ и $\kappa_T(x)$ на показатели процесса металлизации сделать однозначное заключение о преимуществах того или иного распределения проводимости и реакционной поверхности проблематично. Интересным представляется еще один вывод из анализа рассмотренных данных, касающийся изменения свойств ПТЭ в процессе его металлизации и свидетельствующий о том, что величина габаритного тока, подаваемого на электрод, может существенно влиять, в том числе, и на распределение процесса по толщине ПТЭ, что связано, видимо, с существенным «зарастанием» УВМ осаждающимся металлом и, как следствие, с изменением основных свойств ПТЭ.

Нами определено, что наиболее значимыми факторами влияния на величину удельной реакционной поверхности Sv в ПТЭ являются радиус волокон r и пористость материала ε. На основании проведенных расчетов были определены коэффициенты регрессионной модели, при этом показано, что слагаемое при квадратичном члене в регрессионном уравнении является гораздо менее значимым, в сравнении коэффициентами при линейных членах уравнения. Следовательно, зависимость реакционной поверхности S_v, как функции от параметров r и ε, в первом приближении можно принять линейной. Следует отметить, что построенная регрессионная модель может использоваться для оценки удельной поверхности, если известны радиус волокон и пористость УВМ в пределах $4{,}5 \le r \le 6{,}1$ (мкм) и $92 \le \varepsilon \le 98$ (%), поэтому их нельзя экстраполировать для r и ε, сильно выходящих за границы означенных интервалов. По этой же причине они могут оказаться малопригодными для определения удельной поверхности ПТЭ при электроосаждении металла, внутри пористого пространства, когда r и ε изменяются значительно. Показано, что в случае, когда радиус волокна УВМ, пористость материала и, как следствие, его удельная реакционная поверхность значительно меняются в процессе осаждения металла, это свидетельствует о необходимости учитывать эти изменения при математическом моделировании процесса электролиза.

Для расчета, оценки и корректировки значений электрической проводимости и удельной поверхности УВМ при осаждении на волокна металлического осадка нами построена математическая модель в виде алгебраических уравнений и соотношений. Результаты исследования позволили сделать вывод о том, что

удельная реакционная поверхность ПТЭ должна рассматриваться как один из параметров, подлежащих оптимизации процессов в ПТЭ. Более того, возможность подбирать материалы для формирования ПТЭ позволяет рассматривать катоды с распределенной по толщине ТПЭ удельной реакционной поверхностью. Отметим также, что изменить значение S_v возможно за счет сжатия или растяжения выбранного материала катода.

Математическая модель, описывающая электрохимические процессы в ПТЭ при электролизе металлов из поликомпонентных электролитов с учетом распределенных величин удельной проводимости и реакционной поверхности и изменений состояния ПТЭ в процессе электроосаждения металлов на углеграфитовые волокна получена исходя из электрохимической теории распределения потока заряженных частиц i-го сорта N_i в многокомпонентном электролите под действием градиента потенциала электрического поля и протока электролита со скоростью v с учетом псевдогомогенности электрохимических процессов в ПТЭ [5] и представляет собой систему нестационарных дифференциальных уравнений и граничных условий. Полученные дифференциальные уравнения, в отличие от ранее используемых дифференциальных моделей, содержат в себе распределенную по толщине электрода величину удельной реакционной поверхности $S(x)$ и удельной электропроводности $\kappa_T(x)$. Система моделирующих уравнений позволяет рассчитывать распределенные по толщине ПТЭ неизвестные электрохимические функции: потенциал, плотность тока, концентрацию при заданных функциях $S_v(x)$ и $\kappa_T(x)$.

Для численной реализации математической модели был разработан вычислительный алгоритм, основанный на методе Рунге – Кутты четвертого порядка при неравномерном распределении узлов интегрирования [5]. При этом применен «метод стрельбы», позволяющий свести интегрирование системы к последовательному решению задач Коши, когда недостающее начальное условие для функции потенциала электрода $E(0)$ задается из физических соображений и затем уточняется до достижения заданного на конце интервала интегрирования L, условия на производную с необходимой точностью. Алгоритм, включает в себя этапы инициализация и ввод данных, дискретизация пространственной области, численное решение краевой задачи, оценка равномерности распределения электрохимических процессов по толщине ПТЭ в соответствии с выбранным критерием равномерности, оптимизация параметров $S_v(x)$ для параметрического семейства квадратичного приближения $S_v(x)$, визуализация и вывод результатов. Для реализации алгоритма разработан программный комплекс, который позволяет моделировать и изучать процесс электрохимического осаждения металлов из растворов на электрод из УВМ в проточном режиме.

В качестве примера реализации описанного алгоритма рассмотрена задача по расчету оптимального распределения удельной реакционной поверхности по толщине проточного объемно пористого электрода, как задача оптимального математического управления электрохимическим процессом за счет выбора оптимального управляющего воздействия $u(x) = S_v(x)$, обеспечивающего выполнение критерия наилучшей при данных условиях равномерности распределения плотности поляризующего тока или потенциала по толщине ПТЭ. Сформулированы

критерии равномерности распределения функций плотности тока и потенциала по толщине электрода. Для решения задачи оптимального математического управления использовался принцип максимума Л.С. Понтрягина – минимизация функции Гамильтона, построенной в соответствии с принципом максимума.

На основании произведенных вычислений получены результаты расчетного и экспериментального распределения осадка меди в ПТЭ толщиной 6 мм при использовании в качестве материала катода УВМ марок АМН и ВНГ-50, величины удельной реакционной поверхности которых значительно различаются: 180 $см^{-1}$ и 265 $см^{-1}$, соответственно. Состав электролита для рассматриваемой электрохимической системы (г/л): $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ – 170, H_2SO_4 – 25, $(NH_4)_2SO_4$ – 80; удельная электропроводность 0,101 См/см; концентрация ионов меди 0,16 ± 0,03 г/л. Осаждение меди осуществлялось при габаритной плотности тока 500 $А/м^2$. Показано хорошее согласование результатов расчетов и экспериментальных данных. Результаты расчетов демонстрируют показатели равномерности распределения меди по толщине ПТЭ для рассмотренных условий. На основании анализа результатов расчетов получены наиболее эффективные распределения удельной реакционной поверхности по толщине ПТЭ, в том числе, в зависимости от соотношения электропроводностей твердой и жидкой фаз электрохимической системы – κ_T и κ_G.

Список использованных источников

1. Варенцов В.К. Электроосаждение металлов и их оксидов на электрохимически модифицированные трехмерные углеродные материалы. / В.К. Варенцов, В.И. Варенцова // Физикохимия поверхности и защита материалов. – 2017. – Т. 53. – № 6. – С. 616–622. – EDN: ZREPHB. – DOI: 10.7868/S0044185617060237.

2. Варенцов В.К. Электросорбция диоксида марганца на электрохимически модифицированные нетканые углеродные материалы / В.К. Варенцов, В.И. Варенцова, И.А. Батаев // Журнал прикладной химии. – 2012. – Т. 85. – № 8. – С. 1282-1287. – EDN: XGWWVQ.

3. Романенко, А.В. Углеродные материалы и их физико-химические свойства / А.В. Романенко, П.А. Симонов; под общ. ред. д.т.н., проф. А.С. Носкова. – Москва: Калвис, 2007. – 109, [2] с. ил.; 22. – (Промышленный катализ в лекциях, Коллекция Издательства KVS); ISBN 978-5-89530-015-2, 5-89530-004-9.

4. Филимонова, М.А. Углеродные материалы на основе пенографита / Филимонова М.А., Филимонов С.В., Копицына М.Н. // Тенденции развития науки и образования. – 2024. – № 111-4. – С. 213-218. – EDN: LYXHAK . – DOI: 10.18411/trnio-07-2024-224.

5. Кошев А.Н., Кузина В.В. Распределенная реакционная поверхность углеграфитовых объемно пористых катодов как параметр оптимизации процесса металлизации композиционных и нанокомпозиционных материалов. Нанотехнологии в строительстве. 2025;17(2):119–131. https://doi.org/10.15828/2075-8545-2025-17-2-119-131. – EDN: XWDYCA.

SPECIFIC REACTIVE SURFACE AREA OF CARBON-GRAPHITE FIBROUS MATERIALS AS A DISTRIBUTED PARAMETER FOR PROCESS OPTIMIZATION IN FLOW-THROUGH THREE-DIMENSIONAL ELECTRODES

V.V. Kuzina, A.D. Ryzhov, A.N. Koshev

Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russia

This paper presents a study on how the optimal distribution of the specific reactive surface area of carbon-graphite fibrous materials affects the uniformity of the metallization process for composite materials in flow-through three-dimensional electrodes (FTEs). It is demonstrated that the use of composite cathodes with varying electrical conductivity profiles enhances the efficiency of the metal coating process through the appropriate selection of the distributed reactive surface area. The system of modeling equations enables the calculation of unknown electrochemical functions – potential, current density, and concentration, – distributed across the thickness of a flow-through porous electrode, given specific functions for the specific reactive surface area and specific electrical conductivity. Good agreement is demonstrated between the calculation results and experimental data.

Keywords: mathematical modeling, metallization of composite materials, three-dimensional flow-through electrode, carbon fiber materials (CFM), CFM properties.

Acknowledgments. The study was supported by the Russian Science Foundation grant No. 25-21-00135, https://rscf.ru/project/25-21-00135/

УДК 378.004

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ РАСЧЁТА КАЛОРИЙ И ИХ ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ В АВТОНОМНОМ МОБИЛЬНОМ ПРИЛОЖЕНИИ

Е.Ю. Кулагина

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, г. Пенза, Россия

Рассмотрены задачи автоматизации персонального контроля питания на базе мобильных технологий. Проведен аналитический и экспериментальный анализ трех классических математических моделей расчета базового метаболизма (BMR): Харриса – Бенедикта, Миффлина – Сан Жеора и Кэтча – МакАрдла. На основе эксперимента на выборке из 30 добровольцев обоснована точность метода Миффлина – Сан Жеора. Описана архитектура разработанного на языке Java нативного мобильного приложения «Foody+», функционирующего в автономном режиме с использованием СУБД SQLite. Предложена структура

каскадной валидации входных данных, снижающая риск критических сбоев в рантайме до 0%.

Ключевые слова: мобильное приложение; Java, Android Studio; расчет калорий; метод Миффлина – Сан Жеора; каскадная валидация; SQLite.

Введение. Автоматизация контроля рациона питания становится востребованным научно-практическим направлением. Доля граждан РФ, соблюдающих принципы ЗОЖ, стабильно удерживается на отметке 11,5–11,6%, что формирует спрос на отечественное программное обеспечение для трекинга нутриентов. Большинство существующих мобильных аналогов обладают избыточной архитектурой, жесткой зависимостью от удаленных серверов и не гарантируют конфиденциальность личных данных [9]. Целью данного исследования является проектирование, реализация и оценка эффективности автономного нативного мобильного приложения для контроля питания с научно обоснованным выбором вычислительного алгоритма и обеспечением отказоустойчивости системы [1, 3].

Обзор литературы. Математическое моделирование энергетических потребностей человека развивается параллельно с изменением антропометрических показателей популяции [6]. Основой современных подходов к расчету калорийности являются алгоритмы вычисления базового метаболизма (*BMR*). Исторически первой моделью стал метод Харриса – Бенедикта (1919 г.), базирующийся на антропометрии начала XX века. Современные метаанализы указывают, что данная формула систематически завышает показатели базового обмена веществ в среднем на 5–6% (до 100 ккал/сут). Это обусловлено изменением состава тела человека, ростом доли сидячего труда и снижением физической активности.

Для устранения систематической погрешности в 1990 году была предложена модель Миффлина – Сан Жеора, разработанная на основе анализа современных медицинских карт. По докладам ВОЗ, данный метод признан наиболее адекватным для широких слоев населения, так как демонстрирует клиническую точность (погрешность ≤10%) у 82% современных пользователей. Альтернативная модель Кэтча – МакАрдла учитывает исключительно массу безжирового тела (*LBM*), что делает её точной для спортсменов. Однако её применимость в массовом софте ограничена: для корректных расчетов требуются верифицированные данные клинического оборудования, а субъективная оценка процента жира «на глаз» в рантайме приложений приводит к критическим выбросам и росту погрешности.

В области мобильной инженерии подчеркивается важность перехода от веб-платформ к автономным нативным приложениям. Это обусловлено требованиями к конфиденциальности персональных данных и необходимостью обеспечения непрерывного операционного цикла офлайн. Для реализации данного подхода стандартами индустрии рассматриваются объектно-ориентированный язык *Java*, архитектурный паттерн функционального разделения [2] и встроенные СУБД, такие как *SQLite*, изолирующие вычислительные потоки от главного графического потока ОС *Android*.

Методология. Для оценки точности математических моделей базового метаболизма на первом этапе сформированы 4 антропометрических профиля (П-1

– П-4), отражающих основные половозрастные группы целевой аудитории (мужчины и женщины от 25 до 45 лет с разным соотношением мышечной и жировой ткани). Для каждого профиля производился расчет девиаций по трем классическим формулам. На втором этапе выводы проверялись в ходе эксперимента на выборке из 30 добровольцев (15 мужчин и 15 женщин) в возрасте от 20 до 50 лет.

В качестве эталона для каждого участника рассчитывался суточный расход энергии (*TEE*) на основе анализа семидневных дневников питания, антропометрического скрининга и метода непрямой калориметрии. Полученные медицинские эталоны сопоставлялись с результатами вычислений трех исследуемых формул. Математическая оценка точности производилась по критериям средней абсолютной погрешности (Δ, ккал/сут), средней относительной погрешности (δ, %) и доли участников, у которых итоговое значение уложилось в клинически безопасный лимит точности (≤ 10%).

Программная реализация вычислительного ядра и интерфейса выполнена на языке *Java* [4] в среде *Android Studio Koala*. Архитектура приложения спроектирована по принципу функционального разделения (*Feature-by-Package*) с изоляцией графического интерфейса и бизнес-логики по пакетам в каталоге *ui*. Вычислительные константы инкапсулированы в сервисе *CalorieCalculator*, принимающем аргументы модели данных *UserMetrics*.

Для обеспечения полной автономности без доступа к сети Интернет применена трехуровневая структура локального хранения данных. Конфигурации и сессионные хэш-пароли сохраняются в *SharedPreferences*. Журнал питания структурирован в реляционных таблицах *SQLite*. Расширяемый пользовательский справочник записывается асинхронными *Java*-потоками во внутреннюю память устройства через метод *openFileOutput* в режиме *MODE_APPEND* (формат *CSV*).

Методология исследования отказоустойчивости реализована по методу каскадной валидации, где данные последовательно фильтруются сначала на уровне синтаксического контроля *UI*-контроллера (блоки *try-catch*), а затем на уровне семантической валидации диапазонов бизнес-логики. Критерием успешности методологии тестирования являлось снижение вероятности падения приложения (*Crash*) до 0%.

Результаты и обсуждение. На первом этапе исследования проведен расчет девиаций (отклонений) базового метаболизма для 4 физиологических профилей при фиксированном коэффициенте активности (*AMR* = 1,55). Установлено, что метод Харриса – Бенедикта систематически завышает показатели базового обмена веществ во всех тестовых группах [6]. Амплитуда завышения относительно метода Миффлина – Сан Жеора составила от 32 до 79 ккал/сут. Данный феномен объясняется тем, что формула Харриса – Бенедикта создавалась на основе выборки населения с иным уровнем повседневной активности.

Метод Кэтча – Макардла, напротив, продемонстрировал склонность к занижению результатов в профилях с повышенным индексом массы тела (ИМТ), так как алгоритм вычисляет калораж строго по массе безжирового тела. Для верификации вычислений проанализированы данные исследования на выборке из

30 добровольцев. Сводные критерии точности, рассчитанные на основе сопоставления с эталоном непрямой калориметрии, представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Сводные показатели погрешностей исследуемых методов

Метод	Средняя Δ, ккал/сут	Средняя δ, %	Макс. δ, %	Доля участников с δ ≤ 10%
Харриса – Бенедикта	+97	5,8%	14,2%	70%
Миффлина – Сан Жеора	+41	2,4%	9,7%	87%
Кетча – Макардла	–18	1,9%	11,3%	83%

Анализ экспериментальных данных подтвердил неудовлетворительную применимость формулы Харриса – Бенедикта [6] в современных условиях: среднее абсолютное завышение составило 97 ккал/сут, а пиковая погрешность достигла 14,2%, что привело к наименьшей доле точных попаданий (всего 70% выборки).

Результаты метода Кэтча – МакАрдла показали минимальную относительную погрешность в 1,9%, однако зафиксированы статистические выбросы с максимальной погрешностью в 11,3% у 17% участников. Девиации вызваны вариативностью измерений бытовых биоимпедансных весов и субъективностью оценки пользователями процента жира при ручном вводе. Высокая теоретическая точность модели на практике нивелируется отсутствием у пользователей постоянного доступа к клиническому оборудованию. Оптимальные и стабильные результаты продемонстрировал метод Миффлина – Сан Жеора. Средняя абсолютная погрешность составила +41 ккал/сут, а максимальная пиковая погрешность удержалась в пределах 9,7%. Высокая доля точных попаданий (87%) доказала применимость данной модели для автоматизации в приложении «*Foody+*» [3]. Оценка двухэтапной каскадной валидации (пакет *ui.cel*) проводилась путем эмуляции деструктивных действий пользователя в рантайме [5]. В ходе стресс-тестирования в поля ввода *EditText* передавались невалидные символьные массивы, пустые строки и аномальные числовые диапазоны [1]. Результаты испытаний устойчивости софта зафиксированы в табл. 2.

Таблица 2 – Результаты верификации отказоустойчивости рантайма

Сценарий входных данных	Ожидаемый программный риск	Поведение системы до оптимизации	Результат работы каскадной валидации после оптимизации	Статус
Пустые поля ввода ("")	NumberFormat-Exception	Аварийное закрытие (Crash)	Перехват Exception, вывод сообщения «Заполните поле»	Успешно

Сценарий входных данных	Ожидаемый программный риск	Поведение системы до оптимизации	Результат работы каскадной валидации после оптимизации	Статус
Некорректный разделитель ("70,5")	NumberFormatException	Аварийное закрытие (Crash)	Автоматическая замена "," на ".", успешный расчет	Успешно
Отрицательный возраст ("-25")	Нарушение бизнес-логики	Отрицательное значение	Генерация IllegalArgumentException, подсветка поля ошибки	Успешно
Нулевые параметры (вес = 0)	Нарушение бизнес-логики	Некорректный расчет BMR	Блокировка кнопки «Сохранить», фокус на поле ввода	Успешно

Заключение. Разработано автономное нативное мобильное приложение «*Foody+*» на языке *Java* в среде *Android Studio* [4, 5]. Внедрение архитектурного паттерна функционального разделения позволило изолировать бизнес-логику и обеспечить расширяемость программного проекта [1, 2]. На основе эксперимента на выборке из 30 добровольцев доказана вычислительная точность метода Миффлина – Сан Жеора [5, 6]. Алгоритм показал минимальную абсолютную погрешность и наибольшую долю попаданий в клинический лимит точности (87%), что обосновало его выбор в качестве вычислительного ядра системы [6, 7]. Для защиты софта реализованы алгоритмы каскадной валидации строк пользовательского ввода на синтаксическом и семантическом уровнях [1]. Стресс-тестирование рантайма во всех деструктивных сценариях подтвердило, что перехват исключений *NumberFormatException* и контроль диапазонов бизнес-логики снижают вероятность критического сбоя приложения до 0% [2, 8].

Параллельно спроектирована гибридная структура энергонезависимого хранения данных на устройстве [9]. Реализовано легковесное сохранение сессионных хэш-паролей и суточной цели во внутренние конфигурации *SharedPreferences* [7]. Ведение журнала питания структурировано в реляционных таблицах СУБД *SQLite* [1], а расширение пользовательского справочника организовано асинхронными *Java*-потоками в файлы формата *CSV* в режиме дозаписи строк *MODE_APPEND* [4].

В качестве векторов дальнейшего развития проекта определены миграция *UI*-слоя на кроссплатформенный фреймворк *Flutter* для обеспечения совместимости с отечественной операционной системой ОС «Аврора» [3], подключение облачной СУБД для синхронизации аккаунтов, а также наполнение зарезервированного пакета *ui.neural* алгоритмами машинного обучения для распознавания блюд по фотографии [2].

Список использованных источников

1. Гагарина, Л.Г. Технология разработки программного обеспечения: учебное пособие / Л.Г. Гагарина, Е.В. Кокорева, Б.Д. Виснадул. – Москва: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2022. – 400 с.

2. Горбунов, А.В. Архитектурные паттерны при разработке мобильных приложений под платформу Android / А.В. Горбунов. // Вестник науки. – 2023. – Т. 3, № 6 (63). – С. 714–721.

3. Федоров, Д.А. Сравнительный анализ нативной и кроссплатформенной разработки мобильных приложений / Д.А. Федоров. // Вестник науки и творчества. – 2022. – № 5 (77). – С. 98–103.

4. Шилдт, Г. Java. Полное руководство / Г. Шилдт. – 11-е изд. – Москва: ООО «Диалектика», 2021. – 1488 с.

5. Android Studio Koala Feature Reference. – Текст: электронный // Android Developers: [официальный сайт]. – URL: android.com (дата обращения: 18.06.2026).

6. Коденцова, В.М. Применение формул Миффлина – Сан Жеора и Харриса–Бенедикта при планировании рационов: точность и ограничения / В.М. Коденцова, Д.В. Никитюк // Клиническая медицина. – 2022. – Т. 91, № 4. – С. 18–25.

7. Шаньгин, В.Ф. Информационная безопасность и защита информации: учебное пособие / В.Ф. Шаньгин. – Москва: ДМК Пресс, 2021. – 702 с.

8. Российская Федерация. Законы. О персональных данных: Федеральный закон № 152-ФЗ: [принят Государственной Думой 8 июля 2006 года: одобрен Советом Федерации 14 июля 2006 года]. – Москва: Ось-89, 2006. – 48 с.

9. Баранов, И.В. Анализ уязвимостей локального хранения данных в операционной системе Android / И.В. Баранов // Безопасность информационных технологий. – 2024. – № 1. – С. 45–53.

STUDY OF THE EFFECTIVENESS OF CALORIE CALCULATION METHODS AND THEIR SOFTWARE IMPLEMENTATION IN A STANDALONE MOBILE APPLICATION

E.Yu. Kulagina

Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russia

The study addresses the automation of personal nutrition monitoring using mobile technologies. An analytical and experimental evaluation was conducted on three classic mathematical models for calculating basal metabolic rate (BMR): Harris-Benedict, Mifflin-St Jeor, and Katch-McArdle. Based on an experiment involving 30 volunteers, the accuracy of the Mifflin-St Jeor method was validated. The architecture of "Foody+," a native mobile application developed in Java that operates offline using an SQLite database, is described. A cascaded input data validation structure is proposed, reducing the risk of critical runtime failures to zero.

Keywords: mobile application; Java, Android Studio; calorie calculation; Mifflin-St Jeor equation; cascading validation; SQLite.

УДК 004.9

АНАЛИЗ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА КАЛИБРОВКИ ОБОРУДОВАНИЯ

Е.В. Кузьменко, Н.С. Ксенз

Южный федеральный университет,
г. Ростов-на-Дону, Россия

Проанализированы основные проблемы процесса калибровки оборудования, декомпозирована цель повышения эффективности и качества процесса калибровки и определены действия ее достижения. Предложена автоматизация процесса путем внедрения системы автоматизации идентификации средств измерений. Определены основные функциональные требования на основе собранных пользовательских истории и нефункциональных требований.

Ключевые слова: автоматизация процессов, причинно-следственная диаграмма, анализ требований, пользовательские истории, функциональные и нефункциональные требования.

Причинами проблем калибровки оборудования являются низкая квалификация калибровщика, неправильная организация временных ресурсов, ошибки калибровочного оборудования и ошибки при определении прибора по паспорту. Результаты детализированного анализа проблем, проведенного методами «5 почему» и причинно-следственной диаграммы Исикавы, представлены на рисунке 1.

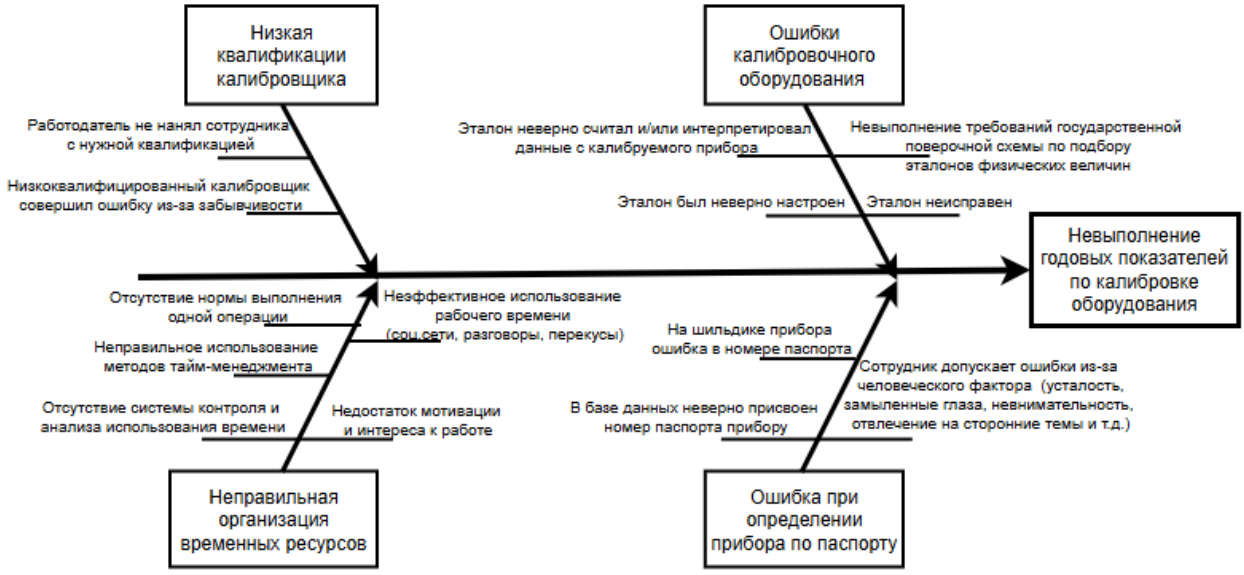


Рисунок 1 – Категории и причины проблем калибровки оборудования

Основная проблема - длительная и подверженная ошибкам идентификация прибора по паспорту (из-за человеческого фактора, ошибок в базе данных или на шильдике), а также отсутствие системы контроля и анализа использования времени и нормирования операций. Указанные факторы напрямую влияют на время обработки заявок и на выполнение годового плана калибровки.

Определены подцели цели повышения эффективности и качества процесса калибровки - отслеживание данных о калибровке, усовершенствование идентификации оборудования, контроль процесса калибровки. Функционально-целевые классы представлены на третьем уровне диаграммы (рисунок 2). Ответственным за их реализацию назначен инженер по метрологии. Инструкция по применению средств калибровки необходимый компонент процесса калибровки, обеспечивая правильность процесса.

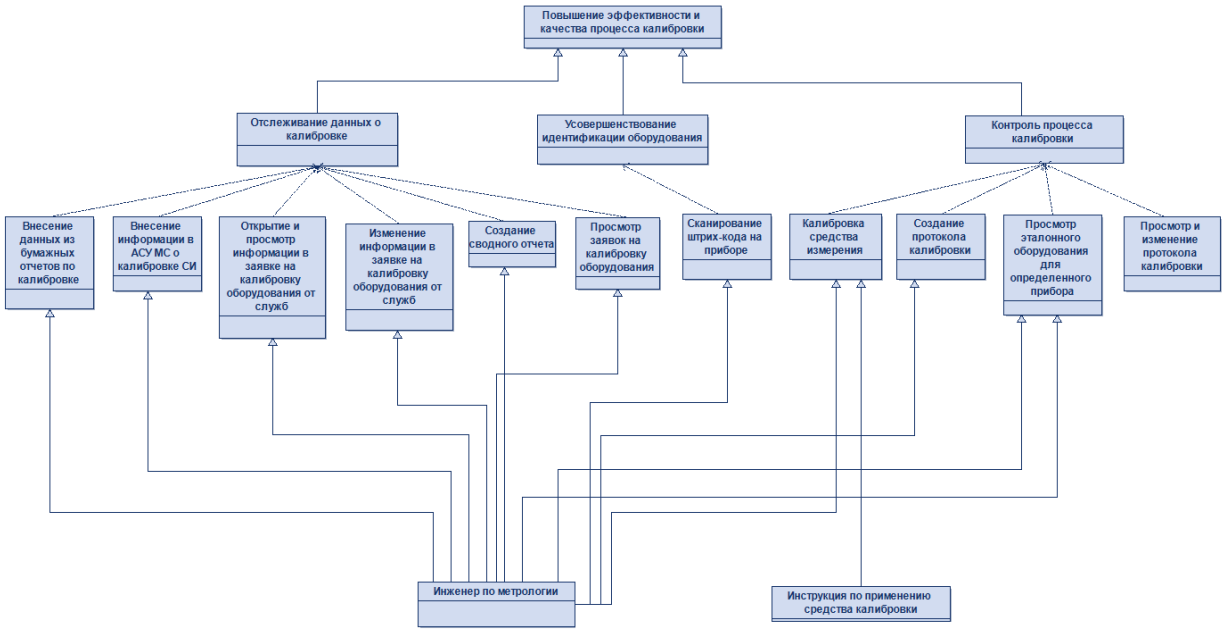


Рисунок 2 – Диаграмма целевых классов

Для достижения цели и устранена причин проблем процесса калибровки предложена его автоматизация путем внедрения системы автоматизации идентификации средств измерений и сокращения времени обработки заявок. Конечными прямыми пользователями системы помимо инженера по метрологии будут: операторы АСУ ТП, инженеры, главный инженер. Для определения функций системы автоматизации сформированы требования пользователей в виде пользовательские истории:

1) как начальник, я хочу видеть текущие показатели калибровки в сравнении с планом и фильтровать их по категориям оборудования, чтобы контролировать выполнение годового плана калибровки;

2) как инженер по метрологии, я хочу фильтровать записи о калибровках по датам и временным интервалам, чтобы отслеживать сроки проведения калибровок;

3) как главный инженер, я хочу просматривать процесс выполнения калибровки и сравнивать текущие показатели с запланированными, чтобы следить за выполнением годовых показателей;

4) как сотрудник (инженер по метрологии, инженер), я хочу быстро подключаться к базе данных через корпоративную сеть с автоматической идентификацией по внутренней базе, чтобы получить доступ к работе;

5) как экономист, я хочу выгружать месячные и годовые показатели калибровки из базы данных в другие приложения, чтобы составлять правильный финансовый отчёт;

6) как инженер, я хочу находить информацию об оборудовании по фильтрам и видеть только необходимые данные, чтобы быстро готовить отчёты для инженера по метрологии.

Сформулированы требования к разрабатываемой системе автоматизации идентификации средств измерений и сокращения времени обработки заявок. Система должна обеспечивать следующие функции:

– идентификацию средства измерения по штрихкоду: при сканировании штрихкода система должна отображать полную информацию о приборе;

– ведение базы данных средств измерений: база данных должна содержать информацию о каждом приборе. Структура базы данных должна быть нормализована и обеспечивать целостность данных;

– управление заявками на калибровку: система должна обеспечивать регистрацию заявок от подразделений, назначение ответственного, отслеживание статуса выполнения, а также иметь фильтрацию по разным параметрам;

– формирование протоколов калибровки: по результатам калибровки система должна автоматически формировать протокол калибровки с подстановкой данных из базы и результатов измерений, введённых оператором, протокол должен храниться в базе данных с возможностью печати;

– контроль сроков калибровки: система должна автоматически рассчитывать дату следующей калибровки на основе межповерочного интервала и отображать приборы с истекающим сроком (за 30, 14 и 7 дней), иметь возможность формирования отчетов по просроченным калибровкам;

– интеграцию с существующими системами: возможность выгрузки данных в форматах, совместимых с АСУ и ERP, а также импорт информации о новых приборах.

Наряду с перечисленными функциональными требованиями система должна соответствовать ряду качественных характеристик, обеспечивающих её надёжную и удобную:

– производительность: время отклика при сканировании штрихкода и отображении карточки прибора не должно превышать 2 секунд. Система должна одновременно поддерживать работу нескольких пользователей без заметного снижения скорости;

– надёжность: база данных должна подвергаться ежедневному автоматическому резервному копированию;

– безопасность: доступ к системе с помощью пароля, разграничение прав по ролям, хранение паролей в зашифрованном виде;

– удобство использования: интерфейс интуитивно понятный.

Выявлены основные причины проблем процесса калибровки, установлено, что ручная идентификация по паспорту занимает значительное время, подвержена ошибкам человеческого фактора и напрямую влияет на срывы годового плана калибровок. Обоснована необходимость автоматизации этапа

идентификации. Сформулированы требования к системе, разработаны функциональные требования и нефункциональные требования являющиеся основой для дальнейшего проектирования, создания и внедрения системы автоматизации идентификации средств измерений.

Список использованных источников

1. Трунова М. А. Практика построения диаграммы Исикавы на этапе обследования бизнес-процесса //Аллея науки. – 2018. – №. 3. – С. 766-769.

2. Пузицкая Е. А., Самойлова Т. А. Пользовательские и функциональные требования к автоматизированной системе для учета материальных ценностей в гостинице //Инновационное развитие техники и технологий в промышленности (ИНТЕКС-2022). – 2022. – С. 184-186.

THE EQUIPMENT CALIBRATION PROCESS ANALYSIS AND AUTOMATION

E.V. Kuzmenko, N.S. Ksenz

Southern Federal University,
Rostov-on-Don, Russia

The equipment calibration process main challenges were analyzed, the improving efficiency goal and calibration process quality was decomposed, and steps to achieve this were identified. The process automation by implementing an automated system for identifying measuring instruments was proposed. Key functional requirements based on the collected user stories and non-functional requirements were defined.

Keywords: process automation, cause-and-effect diagram, requirements analysis, user stories, functional and non-functional requirements.

УДК 004.89

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА СЕГМЕНТАЦИИ МИКРОСВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

М.С. Лисин

Нижегородский государственный технический университет
имени Р.Е. Алексеева,
г. Нижний Новгород, Россия

В статье рассмотрена задача автоматической сегментации микросварного соединения алюминиевой проволоки по изображениям его поверхности. Предложен алгоритм на основе методов глубокого обучения, формирующий пиксельную маску сварной области. Проведено сравнение нескольких архитектур

нейронных сетей, предназначенных для семантической сегментации изображений. Полученная маска может использоваться для определения площади, размеров и других геометрических характеристик микросварного соединения.

Ключевые слова: микросварка, алюминиевая проволока, ультразвуковая сварка, машинное обучение, глубокое обучение, компьютерное зрение, сегментация изображений.

При монтаже изделий электронной техники одним из наиболее распространенных способов электрического соединения между контактными площадками кристалла и выводами корпуса является соединение с помощью проволочных и ленточных выводов, что объясняется высокой автоматизацией процесса, универсальностью по отношению к различным технологическим вариантам производства и геометрическим размерам изделий [1].

Монтаж межсоединений в мощных дискретных полупроводниковых приборах и модулях осуществляется в основном методом ультразвуковой сварки алюминиевой (медной) проволоки или ленты. Диапазон диаметров используемых круглых проводников – от 100 до 500 мкм.

Одной из проблем контроля микросварки является невозможность непосредственного визуального наблюдения процесса формирования соединения. На практике применяются визуальный контроль и выборочные разрушающие испытания [2]. При этом визуальная оценка зависит от квалификации специалиста и не позволяет в полной мере получить количественную информацию о форме сварной точки. Для повышения объективности контроля целесообразно использовать методы компьютерного зрения.

Методы машинного зрения уже применяются для автоматического обнаружения дефектов сварных соединений. Например, был предложен алгоритм обнаружения поверхностных дефектов на кадрах видеопоследовательности с использованием модели фона и обработки изображений [3].

Данная задача представляет собой задачу семантической сегментации, при которой каждому пикселю изображения присваивается класс. Для микросварки это позволяет получить непосредственно область сварного соединения, а затем рассчитать ее геометрические параметры.

Целью настоящей работы является разработка алгоритма автоматической сегментации микросварного соединения алюминиевой проволоки с применением методов глубокого обучения.

Исходными данными являются изображения поверхности микросварных соединений алюминиевой проволоки. Для каждого изображения формируется эталонная бинарная маска. Нейронная сеть должна по исходному изображению получить предсказанную маску сварного соединения. Таким образом, результатом работы алгоритма является не просто класс изображения, а координаты и форма исследуемой области.

Для оценки качества сегментации использовался показатель Dice, который позволяют оценить как общее совпадение маски, так и качество выделения границы соединения. В исследовании использовались следующие архитектуры: U-Net, MobileNetV3 и DeepLabV3+ [4].

Для обучения был сформирован набор изображений микросварных соединений алюминиевой проволоки. Каждое изображение размечалось вручную с выделением области сварной точки. После этого изображения разделялись на обучающую, валидационную и тестовую выборки. Общий размер датасета составляет 491 изображение.

Повышение разнообразия обучающих данных достигалось использованием аугментация, включая повороты, изменение масштаба, отражение и изменение яркости. В качестве метрики использовались индекс Дайса (Dice), Precision, Recall.

Таблица 1 – Сравнение моделей

Архитектура	Метрики обучения		
	Dice	Precision	Recall
MobileNetV3	89,1	92,3	82,4
U-Net	94,7	96,2	87,1
DeepLabV3+	96,8	98,2	88,9

На основании результатов исследования предлагается следующий алгоритм: на первом этапе камера получает изображение микросварного соединения. Затем выполняется предварительная обработка изображения и приведение его к формату, использовавшемуся при обучении. На втором этапе изображение передается в сегментационную нейронную сеть. Результатом является бинарная маска. На следующем этапе выполняется постобработка, включающая удаление небольших изолированных областей.

Полученная маска позволяет определить площадь сварной точки. Дополнительно могут определяться длина, ширина, периметр и отношение основных размеров.

Научная новизна работы заключается в применении пиксельной сегментации непосредственно к изображениям микросварных соединений алюминиевой проволоки с последующим использованием полученной маски для количественной оценки геометрии сварной точки.

В отличие от методов, предназначенных преимущественно для классификации сварных дефектов, предлагаемый подход позволяет получить пространственное представление соединения. Это создает возможность оценивать не только наличие дефекта, но и изменение геометрических параметров сварной области.

Перспективным развитием работы является связь результатов сегментации с результатами механических испытаний. В этом случае задача может быть расширена от определения геометрии соединения к прогнозированию его эксплуатационной надежности.

Список использованных источников

1. Ланин, В. Л. Повышение качества микросварных соединений в интегральных схемах с использованием ультразвуковых систем повышенной частоты

/ В. Л. Ланин, И. Б. Петухов, Д. В. Мордвинцев // Технологии в электронной промышленности. – 2010. – № 1.– С. 48.

2. Ланин, В.Л. Настройка ультразвуковых колебательных систем микросварки соединений в электронике / В.Л. Ланин, И.Б. Петухов // Технологии в электронной промышленности. – 2011. – № 6. – С.66.

3. Емельянова, М.Г. Обнаружение поверхностных дефектов сварных соединений при визуальном контроле методами машинного зрения / М.Г. Емельянова, С.С. Смаилова, О.Е. Бакланова // Компьютерная оптика. – 2023. – Т.47, № 1. – С.112.

4. Муравьев, С.В. Автоматическая сегментация методом комплексирования интервалов агрегированием предпочтений при распознавании дефектов сварки / С.В. Муравьев, Д.К. Нгуен // Дефектоскопия. – 2023. – № 12. – С.34.

DEVELOPMENT OF A MICROWELD JOINT SEGMENTATION ALGORITHM USING MACHINE LEARNING

M.S. Lisin

R.E. Alekseev Nizhny Novgorod State Technical University, Nizhny Novgorod, Russia

This article examines the problem of automatic segmentation of a microwelded joint of aluminum wire based on its surface images. An algorithm based on deep learning methods is proposed for generating a pixel mask of the welded area. Several neural network architectures designed for semantic image segmentation are compared. The resulting mask can be used to determine the area, dimensions, and other geometric characteristics of the microwelded joint.

Keywords: microwelding, aluminum wire, ultrasonic welding, machine learning, deep learning, computer vision, image segmentation.

УДК 004.056.5

ГРАФОВАЯ МОДЕЛЬ АНАЛИЗА ВЕКТОРОВ АТАК НА КОМПОНЕНТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

А.А. Лукоянов, Е.А. Рогозин, Г.А. Шевцова

Российский государственный гуманитарный университет, г. Москва, Россия

Разработана компонентная графовая модель анализа путей атак в автоматизированной информационной системе (АИС). Допустимое ребро формируется при совместном выполнении заданных бинарных условий технической связности и взаимодействия между компонентами, наличии условия, позволяющего использовать соответствующий переход при атаке, и отсутствии меры защиты, блокирующей переход. Модель позволяет определять достижимость целевой вершины, число и минимальную длину допустимых путей, а также долю таких

путей, проходящих через промежуточные вершины. Модель апробирована на обезличенной структуре АИС, представленной графом из восьми вершин. Исключение ребра, соответствующего прямому переходу от внешней сети к API-шлюзу, уменьшило число допустимых путей к целевой вершине, представляющей базу данных, с шести до четырех и увеличило минимальную длину пути с трех до четырех ребер.

Ключевые слова: автоматизированная информационная система, графовая модель, вектор атаки, путь атаки, допустимый переход, достижимость, мера защиты, анализ защищенности.

Введение. Многоэтапная атака на АИС определяется не только свойствами отдельных компонентов, но и связями между ними. Графовое представление используется для построения путей атак и анализа сетевой достижимости [1, 2]; современные исследования рассматривают также адаптивное формирование графов атак при изменении структуры сети [3]. В отечественных работах графовые модели применяются для анализа защищенности, моделирования реализации сетевых атак и выбора защитных мер [4–7].

Задача работы состоит в формировании по компонентной структуре АИС множества допустимых путей от исходной вершины до критически значимого компонента и сравнении этого множества до и после учета защитной меры. Цель работы – разработка графовой модели, позволяющей определять допустимые пути атаки, выявлять промежуточные компоненты, через которые проходит наибольшая доля таких путей, и оценивать изменение их структуры после изменения состояния мер защиты. В предлагаемой модели каждый потенциальный переход между компонентами включается в граф при совместном выполнении заданных бинарных условий, а изменение $\boldsymbol{z_{ij}}$ позволяет непосредственно сопоставлять структуру допустимых путей до и после блокирования перехода.

Постановка задачи и графовая модель. Представим АИС как атрибутированный граф

$$G = (V, E, W) \quad (1)$$

где $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ – множество вершин, соответствующих выделенным компонентам АИС и внешним источникам взаимодействия, рассматриваемым в качестве исходных элементов графа; $E \subseteq V \times V$ – множество допустимых ориентированных переходов; W – совокупность атрибутов, используемых при проверке допустимости переходов. Вершинами графа могут выступать узлы, сервисы, шлюзы, сетевые сегменты, интерфейсы управления, хранилища данных, а также внешние источники взаимодействия, имеющие связи с компонентами АИС.

По архитектурной схеме и правилам взаимодействия формируется множество потенциальных переходов $E*$. Для $e_{ij} = (v_i, v_j)$ задаются: r_{ij} – техническая связность без учета рассматриваемой защитной меры; h_{ij} – прикладное взаимодействие, логическая зависимость либо отношение доверия; q_{ij} – наличие условия, позволяющего использовать данный переход при атаке; z_{ij} – наличие меры защиты, блокирующей переход. Все признаки $r_{ij}, h_{ij}, q_{ij}, z_{ij} \in \{0,1\}$. Значение

$q_{ij} = 1$ указывает на наличие условия, позволяющего использовать соответствующий переход при атаке. Таким условием могут быть особенности конфигурации, предоставленные полномочия, недостатки разграничения доступа или уязвимость интерфейса. При этом значение $q_{ij} = 1$ не означает успешной реализации атаки.

$$a_{ij} = r_{ij} \cdot h_{ij} \cdot q_{ij} \cdot (1 - z_{ij}), \qquad a_{ij} \in \{0,1\} \qquad (2)$$

Множество допустимых ребер задается как $E = \{e_{ij} \in E *: a_{ij} = 1\}$; наличие уязвимости само по себе не определяет допустимость перехода. В W входят $r_{ij}, h_{ij}, q_{ij}, z_{ij}$. Термин «вектор атаки» используется для обозначения возможного направления развития атаки в структуре АИС. Его конкретная реализация в графе представляется допустимым путем P_k – упорядоченной последовательностью вершин и допустимых переходов от v_s к v_t. Рассматриваются простые ориентированные пути без повторения вершин:

$$P_k = (v_s, v_{i_1}, \dots, v_{i_m}, v_t), \qquad a_{ij} = 1 \text{ для каждого ребра пути} \qquad (3)$$

Множество допустимых путей к целевой вершине обозначим $П_t$. При $П_t = \emptyset$ целевая вершина считается недостижимой. При $П_t \neq \emptyset$ для анализа используются три характеристики.

$$N_t = |П_t| \qquad (4)$$

Длина $\ell(P_k)$ определяется количеством ребер в пути; минимальная длина равна

$$L_t^{\min} = \min \ell(P_k), \qquad P_k \in П_t \qquad (5)$$

Для промежуточной вершины $v_i \in V \backslash \{v_s, v_t\}$ доля допустимых путей, проходящих через нее, определяется выражением

$$C_i = \frac{|\{P_k \in П_t : v_i \in P_k\}|}{|П_t|} \qquad (6)$$

Показатель C_i характеризует долю допустимых путей, проходящих через вершину v_i и не является оценкой вероятности компрометации, риска или уровня защищенности. Значение $L_t^{\min}$ показывает минимальное число переходов до целевой вершины и не характеризует вероятность успешной атаки.

Параметр z_{ij} отражает наличие защитной меры, блокирующей переход e_{ij}. При $z_{ij}: 0 \to 1$ условие допустимости перехода перестает выполняться, поэтому соответствующее ребро исключается из графа. В результате формируется состояние $G^{(1)}$, для которого повторно вычисляются показатели (4)–(6). Сопоставление $G^{(0)}$ и $G^{(1)}$ показывает, как применение защитной меры изменяет достижимость целевой вершины и множество допустимых путей.

Алгоритм вычислительного анализа и пример. Вычислительная процедура включает десять этапов: 1) формирование множества вершин $\boldsymbol{V}$; 2) формирование множества потенциальных переходов $\boldsymbol{E} *$ по архитектурной схеме и правилам взаимодействия; 3) проверка условий допустимости потенциальных переходов с формированием значений $\boldsymbol{r_{ij}, h_{ij}, q_{ij}, z_{ij}}$; 4) вычисление $\boldsymbol{a_{ij}}$, формирование множества допустимых ребер $\boldsymbol{E}$ и построение графа $\boldsymbol{G}$; 5) определение

исходной вершины $\boldsymbol{v_s}$ и целевой вершины $\boldsymbol{v_t}$; 6) формирование множества допустимых простых путей между $\boldsymbol{v_s}$ и $\boldsymbol{v_t}$; 7) расчет $\boldsymbol{N_t}$, $\boldsymbol{L_t^{min}}$ и $\boldsymbol{C_i}$; 8) определение промежуточных вершин с наибольшими значениями $\boldsymbol{C_i}$; 9) моделирование применения меры защиты: изменение $\boldsymbol{z_{ij}}$ с 0 на 1, перестроение графа и повторный расчет показателей; 10) сопоставление результатов для графов $\boldsymbol{G^{(0)}}$ и $\boldsymbol{G^{(1)}}$. Поиск простых путей выполняется стандартным обходом графа с запретом повторного включения вершины в текущий путь [8]. В разработанной модели данный алгоритм используется для анализа графа, ребра которого формируются по условию (2), с последующим сопоставлением результатов до и после применения защитной меры.

Рассмотрим обезличенную компонентную структуру АИС, включающую восемь вершин: v_1 – внешняя сеть; v_2 – веб-приложение; v_3 – API-шлюз; v_4 – сервер приложений; v_5 – сервис идентификации и аутентификации; v_6 – внутренний сетевой сегмент; v_7 – автоматизированное рабочее место администратора; v_8 – база данных. В качестве исходной вершины выбрана v_1, целевой – v_8 . Для исходного состояния графа $G^{(0)}$:

$$E^{(0)} = \{e_{12}, e_{13}, e_{23}, e_{26}, e_{34}, e_{35}, e_{54}, e_{67}, e_{74}, e_{65}, e_{48}\} \quad (7)$$

Ребра графа соответствуют следующим связям между вершинами: из внешней сети доступны v_2 и v_3; v_2 связан с v_3 и v_6; v_3– с v_4 и v_5; v_6 – с v_7 и v_5; v_7 – с v_4; v_4 – с v_8. Граф представлен на рисунке 1. Ребро e^{13} выделено штриховой линией как переход, исключаемый при формировании $G^{(1)}$.

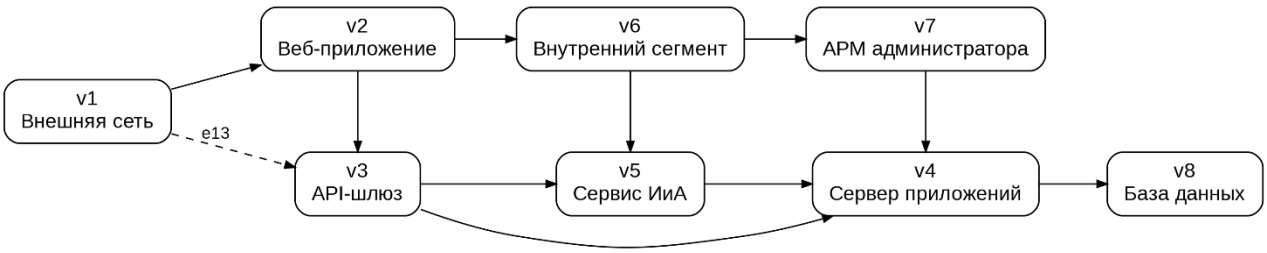


Рисунок 1 – Графовая модель путей атак на компоненты автоматизированной информационной системы

Для графа $G^{(0)}$ получено шесть допустимых простых путей: $P_1 = (v_1, v_2, v_3, v_4, v_8)$, $P_2 = (v_1, v_2, v_3, v_5, v_4, v_8)$, $P_3 = (v_1, v_2, v_6, v_7, v_4, v_8)$, $P_4 = (v_1, v_2, v_6, v_5, v_4, v_8)$, $P_5 = (v_1, v_3, v_4, v_8)$, $P_6 = (v_1, v_3, v_5, v_4, v_8)$. Для данного множества путей $N_t = 6$, $L_t^{min} = 3$; значения C_i составляют: $C_2 = C_3 = 0{,}667$, $C_4 = 1$, $C_5 = 0{,}500$, $C_6 = 0{,}333$, $C_7 = 0{,}167$.

В качестве меры защиты рассматривается правило межсетевого экранирования, запрещающее прямое взаимодействие внешней сети с API-шлюзом; доступ к API сохраняется только через веб-приложение. Для ребра e_{13} значение z_{13} изменяется с 0 на 1, вследствие чего $a_{13} = 0$ и $E^{(1)} = E^{(0)} \setminus \{(v_1, v_3)\}$. В графе

$G^{(1)}$ сохраняются пути $P_1 - P_4$. При этом $N_t = 4$, $L_t^{min} = 4$; значения C_i составляют: $C_2 = C_4 = 1$, $C_3 = C_5 = C_6 = 0{,}500$, $C_7 = 0{,}250$. После исключения прямого перехода от внешней сети к API-шлюзу вершина v_2, соответствующая веб-приложению, входит во все оставшиеся пути от v_1 к v_8.

Таблица 1 – Результаты анализа состояний графа АИС

Состояние графа	$\|E\|$	N_t	L_t^{min}, ребер	Вершины с максимальным C_i
$G^{(0)}$	11	6	3	v_4: 1,000
$G^{(1)}$	10	4	4	v_2, v_4: 1,000

Обсуждение результатов. После исключения перехода $\boldsymbol{e_{13}}$ число допустимых путей уменьшается с шести до четырех, а минимальная длина пути возрастает с трех до четырех ребер. Значение $\boldsymbol{C_2}$ увеличивается с 0,667 до 1; все оставшиеся пути от $\boldsymbol{v_1}$ к $\boldsymbol{v_8}$ проходят через веб-приложение $\boldsymbol{v_2}$. Исключение $\boldsymbol{e_{13}}$изменяет структуру допустимых путей и роль отдельных вершин в достижении $\boldsymbol{v_8}$.

Результаты расчета зависят от полноты исходных данных и принятого правила формирования допустимых переходов. Модель не учитывает вероятность успешной реализации атаки, продолжительность и стоимость действий нарушителя, а также изменение состояний привилегий и не заменяет оценку угроз информационной безопасности. Для графов большой размерности требуется предварительное выделение анализируемого фрагмента АИС.

Заключение. Разработана компонентная графовая модель анализа путей атак на АИС, в которой допустимые ребра формируются по совокупности условий $\boldsymbol{r_{ij}, h_{ij}, q_{ij}, z_{ij}}$. При изменении $\boldsymbol{z_{ij}}$ пересчитываются число и минимальная длина допустимых путей, а также значения $\boldsymbol{C_i}$, что позволяет сопоставлять граф до и после блокирования перехода. Расчетный пример подтвердил возможность такого сравнения.

Модель может применяться для определения того, как отдельные меры защиты изменяют достижимость целевой вершины и распределение допустимых путей между промежуточными компонентами.

Список использованных источников

1. Phillips C., Swiler L. P. A graph-based system for network-vulnerability analysis // Proceedings of the 1998 Workshop on New Security Paradigms. 1998. P. 71–79. DOI: 10.1145/310889.310919.

2. Sheyner O., Haines J., Jha S., Lippmann R., Wing J. M. Automated generation and analysis of attack graphs // Proceedings 2002 IEEE Symposium on Security and Privacy. 2002. P. 273–284. DOI: 10.1109/SECPRI.2002.1004377.

3. Palma A., Cicimurri C., Angelini M. Progressive attack graph: a technique for scalable and adaptive attack graph generation // International Journal of Information Security. 2025. Vol. 24. Art. 212. DOI: 10.1007/s10207-025-01125-w.

4. Котенко И. В., Степашкин М. В., Богданов В. С. Оценка безопасности компьютерных сетей на основе графов атак и качественных метрик защищенности // Труды СПИИРАН. 2006. Т. 2, № 3. С. 30–49. DOI: 10.15622/sp.3.2.

5. Дровникова И. Г., Змеев А. А., Попов А. Д., Рогозин Е. А. Методика исследования вероятностно-временных характеристик реализации сетевых атак в программной среде имитационного моделирования // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017. Т. 44, № 4. С. 99–113. DOI: 10.21822/2073-6185-2017-44-4-99-113. eLIBRARY ID: 32855669.

6. Дойникова Е. В., Котенко И. В. Совершенствование графов атак для мониторинга кибербезопасности: оперирование неточностями, обработка циклов, отображение инцидентов и автоматический выбор защитных мер // Труды СПИИРАН. 2018. № 2(57). С. 211–240. DOI: 10.15622/sp.57.9. eLIBRARY ID: 32761925.

7. Федорченко Е. В., Котенко И. В., Федорченко А. В., Новикова Е. С., Саенко И. Б. Оценивание защищенности информационных систем на основе графовой модели эксплойтов // Вопросы кибербезопасности. 2023. № 3(55). С. 23–36. DOI: 10.21681/2311-3456-2023-3-23-36. eLIBRARY ID: 54303091.

8. Cormen T. H., Leiserson C. E., Rivest R. L., Stein C. Introduction to Algorithms. 4th ed. Cambridge, MA: MIT Press, 2022. 1312 p.

GRAPH MODEL FOR ANALYZING ATTACK VECTORS ON COMPONENTS OF AN AUTOMATED INFORMATION SYSTEM

A.A. Lukoyanov, E.A. Rogozin, G.A. Shevtsova

Russian State University for the Humanities, Moscow, Russia

A component graph model for analyzing attack paths in an automated information system is developed. An edge is considered admissible when the specified binary conditions of technical connectivity and interaction between components are satisfied, a condition enabling the corresponding transition during an attack is present, and no security measure blocking the transition is applied. The model determines target reachability, the number and minimum length of admissible paths, and the proportion of such paths passing through intermediate vertices. The model is demonstrated using an anonymized structure comprising eight vertices. Blocking the direct transition from the external network to the API gateway reduced the number of admissible paths to the target database from six to four and increased the minimum path length from three to four edges.

Keywords: automated information system, graph model, attack vector, attack path, admissible transition, reachability, security measure, security analysis.

УДК 004.923

МЕТОДЫ ЗАПИСИ И ОТОБРАЖЕНИЯ СТЕРЕОСКОПИЧЕСКОГО ВИДЕО ТРЕХМЕРНЫХ СЦЕН В ФОРМАТЕ 360 ГРАДУСОВ

А.В. Мальцев, И.Н. Мироненко

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», г. Москва, Россия

В данной работе рассматривается задача создания и воспроизведения видеоконтента, демонстрирующего трехмерное виртуальное окружение от первого лица, в формате стерео 360 градусов. Данный формат позволяет реализовать элементы интерактивности при просмотре видео в части пользовательского управления направлением обзора в каждый момент времени.

Ключевые слова: виртуальная среда, стерео, видео, визуализация, панорама, гарнитура виртуальной реальности.

В настоящее время во многих областях человеческой деятельности распространено трехмерное компьютерное моделирование. На базе специальных программ создаются виртуальные модели существующих, разрабатываемых и перспективных объектов. Совокупности таких моделей образуют виртуальные сцены, которые могут быть использованы в различных задачах: от простой визуализации на персональном компьютере до реалистичного рендеринга в системах виртуального окружения и тренажерных комплексах для подготовки квалифицированного персонала. В рамках общего направления такого моделирования существует ряд задач, где не требуется обеспечивать взаимодействие пользователя с синтезируемой средой, а конечная цель заключается лишь в получении зрительной информации. Сюда можно отнести, например, создание развлекательного или обучающего контента в формате видеороликов.

Изначально такое видео предполагало просмотр исключительно тех изображений виртуальной сцены, которые попали в поле зрения виртуальной камеры при рендеринге и записи полученного результата в файл. Впоследствии стал развиваться так называемый формат 360 градусов, который позволяет пользователю изменять направления взгляда внутри видео в процессе его просмотра. Особенности реализации такого формата с отображением получаемого контента в режиме моно, а также примеры его использования представлены в публикациях [1, 2]. В данной работе предлагаются подходы для создания и воспроизведения стереоскопического видео трехмерных виртуальных сцен в формате 360 градусов.

Для записи роликов в рассматриваемом формате мы предлагаем использовать так называемую всенаправленную стереопроекцию (ODS). В таком случае, каждый кадр видео представляет собой равностороннее изображение T с размером N x N пикселов, где N кратно 2, верхняя половина содержит данные для левого глаза, а нижняя – для правого. Каждая из двух частей кадра фактически описывает пространство вокруг виртуального наблюдателя с учетом положения

соответствующего глаза. Особенность подхода состоит в том, что повороты такого наблюдателя относительно исходного положения, задаваемого выбранной для рендеринга виртуальной камерой сцены, ограничиваются углами рысканья и тангажа, значения которых лежат на отрезках [-π, π] и [-π/2, π/2] соответственно. Обозначим эти углы через θ и φ. Для каждого пиксела изображения T с целочисленными координатами (i, j), где $i \in [0, N-1]$, $j \in [0, N-1]$, а отсчет ведется от левого нижнего угла, определим относительные координаты (s, t) на поле для левого или правого глаза, лежащие на отрезке [0.0, 1.0], и соответствующие этому пикселу углы поворота наблюдателя:

$$s = (i + 0.5)/N, \qquad t = (j\%(N/2) + 0.5)/N,$$

$$\theta = \pi(2s - 1), \qquad \varphi = \pi(t - 0.5),$$

где % - обозначает операцию взятия остатка от деления.

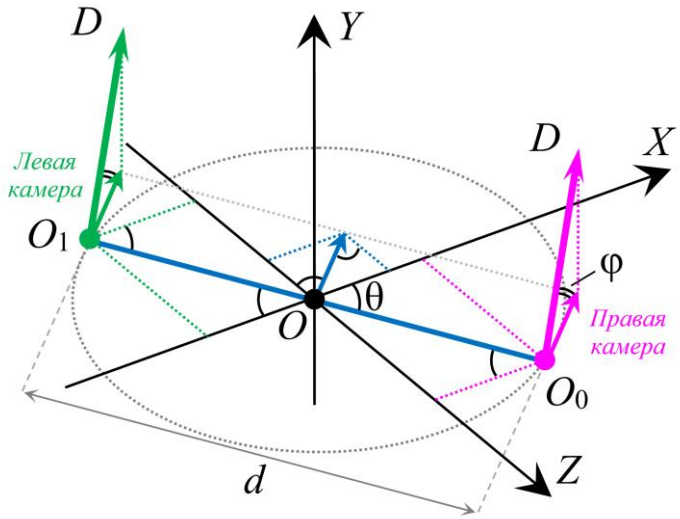


Рисунок 1 – Камеры для левого и правого глаз в базисе исходной камеры

При выполнении рендеринга трехмерной сцены и синтеза изображения T базовым элементом является текущая виртуальная камера с ее локальной системой координат (СК) VCS. Точка расположения камеры в сцене определяется началом координат этой системы, верх – положительным направлением оси Y, а вектор взгляда – отрицательным направлением оси Z. Разместим в СК VCS систему из двух жестко связанных между собой виртуальных камер для правого и левого глаз (рис. 1), расположенных друг от друга на расстоянии d, которое эквивалентно среднему расстоянию между глазами человека. В начальном состоянии камеры расположены на оси X системы VCS, а вектор D их взгляда совпадает с вектором взгляда базовой камеры, т.е. с осью -Z VCS. Чтобы выполнить съемку панорамного стерео, будем совершать последовательные повороты системы камер с шагом $\Delta\theta = 2\pi/N$ по углу θ (рысканье). При каждом таком повороте для каждого из глаз визуализируем полосу с шириной 1 пиксел, высотой N/2 пикселов и охватом углов φ от -π/2 до π/2. Результат визуализации запишем в столбец пикселов с номером $\theta/\Delta\theta$ нижней или верхней (в зависимости от рассматриваемого глаза) половины изображения T. Чтобы в процессе рендеринга каждой

полосы охватить виртуальное пространство в указанном диапазоне углов φ, установим для используемых виртуальных камер, входящих в систему, вертикальные углы раствора π/2 и произведем ими съемку сцены при углах φ равных -π/4 и π/4. Горизонтальные углы раствора камер должны быть равны Δθ. Точки O0 и O1 расположения камер системы и вектор D направления их взгляда в базисе VCS виртуальной камеры сцены вычисляются по формулам:

$$O_k = (\cos\theta, 0, \sin\theta) \cdot \frac{d(1-2k)}{2},$$

$$D = (\sin\theta \cdot \cos\varphi, \sin\varphi, -\cos\theta \cdot \cos\varphi),$$

где параметр k равен 0 для правого глаза и 1 для левого.

В процессе проигрывания стереоскопического видео, сохраненного в формате 360 градусов, углы поворота θp (рысканье) и φp (тангаж) виртуального наблюдателя относительно базового положения задаются пользователем с помощью клавиатуры, мышки или на основе данных от системы трекинга VR-гарнитуры. Чтобы сформировать стереопару для дальнейшего ее отображения посредством экранов VR-гарнитуры, поляризационного экрана и очков или других средств показа стерео [3], закрасим цветовые буферы левого и правого глаз с помощью специального фрагментного шейдера.

На вход данного шейдера будем передавать текстуру T, в которую записан текущий кадр видео в формате ODS. Размеры текстуры эквивалентны размерам кадра. Для выборки данных из T шейдеру необходимо преобразовать значение угла рысканья из отрезка [-π, π] в отрезок [0.0, 1.0], а значение угла тангажа из отрезка [-π/2, π/2] в отрезок [0.0, 0.5] для правого глаза и в отрезок [0.5, 1.0] для левого. Тогда текстурные координаты (s0, t0) для точки изображения, которая лежит на зрительной оси -Z виртуальной камеры, соответствующей одному из глаз, можно вычислить по формулам

$$s_0 = \frac{1}{2} + \frac{\theta_p}{2\pi}, \quad t_0 = \left(\frac{1}{2} + \frac{\varphi_p}{\pi}\right)/2 + \frac{k}{2}, \qquad (1)$$

где параметр k равен 0 для правого глаза и 1 для левого. Далее рассмотрим предлагаемый нами подход к вычислению текстурных координат (s, t) произвольного пиксела цветового буфера.

Пусть размер заполняемого буфера кадра для каждого из глаз равен W x H пикселов, текущий обрабатываемый пиксел имеет целочисленные координаты (i, j), где $i \in [0, W-1]$, $j \in [0, H-1]$, а горизонтальный угол раствора виртуальной камеры равен α (рис. 2). Тогда относительные вещественные координаты (u, v) центра этого пиксела в системе координат с началом в центре формируемого кадра, значения которых лежат на отрезке [-0.5, 0.5], будут равны

$$u = \frac{i+0.5}{W} - 0.5, \quad v = \frac{j+0.5}{H} - 0.5.$$

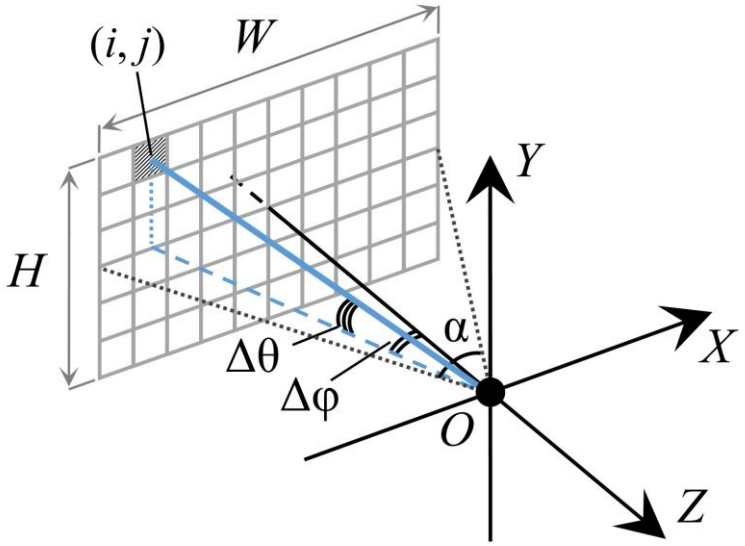


Рисунок 2 – Углы поворота луча через пиксел относительно зрительной оси

Принимая во внимание тот факт, что отношение значения горизонтального угла α раствора камеры к вертикальному совпадает с отношением ширины кадра W к его высоте H, углы рысканья Δθ и тангажа Δφ относительно зрительной оси для луча, проходящего через рассматриваемый пиксел, вычисляются по формулам

$$\Delta\theta = u\alpha, \qquad \Delta\varphi = v\alpha\frac{H}{W}.$$

Учитывая в равенствах (1) полученные отклонения упомянутого луча, получим следующие формулы расчета искомых координат (s, t) для выборки цвета пиксела из текстуры T:

$$s = \frac{1}{2} + \frac{\theta_p + \Delta\theta}{2\pi}, \qquad t = \left(\frac{1}{2} + \frac{\varphi_p + \Delta\varphi}{\pi}\right)/2 + \frac{k}{2}.$$

Публикация выполнена в рамках государственного задания НИЦ «Курчатовский институт» - НИИСИ по теме № FNEF-2024-0002 «Математическое моделирование многомасштабных динамических процессов и системы виртуального окружения».

Список использованных источников

1. Михайлюк М.В., Тимохин П.Ю., Мальцев А.В., Мироненко И.Н. Технология видео с обзором 360 градусов для виртуальных тренировок космонавтов // Материалы XIV Международной научно-практической конференции «Пилотируемые полеты в космос». – 2021. – С. 154-156. (EDN: XDWGXK).

2. Тимохин П.Ю., Михайлюк М.В., Вожегов Е.М. Эффективные методы и алгоритмы синтеза видео 360 градусов на основе кубической проекции виртуального окружения // Труды ИСП РАН. – 2020. – Т. 32, № 4. – С. 73-88. (EDN: XNXYZQ).

3. Торгашев М.А. Реализация стереорежима для различных устройств отображения в реальном времени // Программные продукты и системы. – 2010. – № 2. – С. 23-29. (EDN: NQWJJZ).

METHODS FOR RECORDING AND DISPLAYING STEREOSCOPIC VIDEO OF THREE-DIMENSIONAL SCENES IN 360-DEGREE FORMAT

A. V. Maltsev, I. N. Mironenko

Scientific Research Institute for System Analysis of the National Research Centre "Kurchatov Institute" (NRC "Kurchatov institute" - SRISA), Moscow, Russia

This paper considers the task of creation and playback of video content in 360-degree stereo format, displaying three-dimensional virtual environment in the first-person. This format adds interactive element to watching video, which consists in user control over the viewing direction at any given time.

Keywords: virtual environment, stereo, video, visualization, panorama, virtual reality headset.

УДК 004.946

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ПОМЕХ ВИДЕОСИГНАЛА В СИСТЕМАХ ВИРТУАЛЬНОГО ОКРУЖЕНИЯ

А.В. Мальцев

Федеральное государственное автономное учреждение «Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», г. Москва, Россия

В данной работе рассматривается задача имитации цифровых помех в синтезируемых видеопотоках от виртуальных моделей устройств наблюдения, используемых в тренажерных комплексах и системах виртуального окружения. Предлагаемые решения основаны на применении программно-аппаратных возможностей современных вычислительных средств, включая распределенные вычисления на графических процессорах.

Ключевые слова: трехмерная сцена, виртуальная камера, видеопоток, визуализация, рассыпание изображения, цифровая помеха.

В настоящее время для обучения человека работе со сложными техническими средствами всё чаще используются тренажерные комплексы и системы виртуального окружения, основанные на технологиях трехмерного компьютерного моделирования. В них реальные объекты частично или полностью подменяются на виртуальные модели, что позволяет избежать поломок дорогостоящего оборудования в процессе подготовки квалифицированных кадров, достаточно

легко имитировать различные сложные сценарии решаемых задач, а также быстро масштабировать количество одновременно используемых учебных мест. В качестве примера можно привести управление роботом, работающим в зоне разрушений или загрязнения после произошедшей техногенной катастрофы, которое ведется на основе визуальных данных с видеокамер самого робота и от внешних устройств наблюдения. Ввиду опасности, сложности и высокой стоимости создания реальных условий такой тренировки, для целей обучения оператора данный робот можно заменить на его реалистичную с точки зрения геометрии и физики виртуальную модель, а полигон для тренировки смоделировать в виде трехмерного виртуального окружения. Само создание виртуальных моделей и окружающей трехмерной сцены обычно выполняется дизайнерами в специальных программах, например, 3ds max или Blender. Пульт управления, используемый в процессе обучения, может представлять собой как реальную, так и виртуальную [1] копию настоящего органа управления моделируемого робота.

Поскольку вышеупомянутый процесс управления подразумевает визуальный контроль на основе видеокамер, то также возникает необходимость реалистичного моделирования получаемых с них видеопотоков, отражающих действия обучаемого оператора в виртуальной среде. Оно должно включать воспроизведение нештатных ситуаций искажения видеосигнала, которые могут возникнуть в реальной жизни и заметно осложнить процесс управления. Отработка данных ситуаций на этапе обучения не только обеспечивает развитие навыков оператора, но и повышает его психоэмоциональную устойчивость в случае их возникновения в реальности.

Так как в последнее время большая часть используемых устройств наблюдения являются цифровыми, то в данной работе затрагивается задача моделирования именно ряда цифровых помех, среди которых замирание и рассыпание видеосигнала, а также возникновение в нижней части кадра артефакта в виде розового поля с пилообразной верхней границей (далее будем называть это «розовым сбоем»). Чтобы решить эту задачу, предлагается использовать подход, основанный на распределенной постобработке на многоядерном графическом процессоре (GPU) визуализируемых кадров видеопотоков с виртуальных камер и создании управляющей функции *P*, которая будет контролировать продолжительность помехи и события ее генерации с регулируемой пользователем частотой *f*. Выполнение *P* происходит после рендеринга каждого кадра, а по ее результату при необходимости производится постобработка.

Суть функции *P* заключается в следующем. Вначале вычисляется время Δt, прошедшее с момента t_0 прошлого начала помехи. Это делается на базе функции получения системного времени (например, *timeGetTime* для ОС Windows), которая выполняется при каждом вызове *P* и возвращает значение t_{cur} в миллисекундах. Полученное $\Delta t = t_{cur} - t_0$ сравнивается с периодом *T* помехи, обратным к заданной частоте *f* и выраженным в мс. Если $\Delta t \geq T$, необходимо сгенерировать новую помеху, установив для нее начальные значения параметров и сохранив t_{cur} в качестве t_0. Одним из таких параметров является ожидаемая продолжительность t_{d} помехи, вычисляемая на основе псевдослучайного числа и не превышающая *T*.

Каждый раз при $\Delta t < T$, функция P проверяет неравенство $\Delta t \le t_d$. Если оно выполняется, то помеха считается активной. Это отмечается взведением специального флага F в значение 1. Далее требуется рассчитать необходимые для рассматриваемой помехи текущие характеристики и смоделировать ее на изображении кадра. В противном случае ($\Delta t > t_d$), помеха отсутствует, а $F = 0$.

Конкретный алгоритм имитации цифровой помехи при $F = 1$ будет зависеть от ее типа. Так для замирания видео в данной работе предлагается использовать специальную текстуру T_{img}, разрешение которой эквивалентно разрешению $W \times H$ буфера кадра. В момент генерации помехи замирания функция P будет сохранять текущий кадр в T_{img}. Пока помеха активна, т.е. $F = 1$, буфер кадра будет заменяться содержимым текстуры.

В случае моделирования помехи рассыпания видеосигнала применяется специальный фрагментный шейдер для распределенной постобработки кадра на GPU. Суть такой обработки состоит в выделении в пределах кадра n псевдослучайных прямоугольных «битых» областей, размер которых не превышает $kW \times kH$, где $k \in [0.01, 0.7]$. Значения n и k выбираются пользователем для настройки интенсивности помехи. Данные области заполняются шейдером в соответствии со сценарием для выбранного типа битого поля: закраска псевдослучайным цветом, сбой положения (перемещение аналогичной по размеру области из другой части кадра), сбой положения и цвета (перемещаемая область имеет некоторое смещение между каналами R, G и B), сбой положения и штриховка.

Имитация розового сбоя также выполняется с помощью шейдера постобработки. Для этого в нем генерируется шумовая текстура, проецируемая на кадр, и случайным образом выбирается одна из ее строк. По числовому значению цвета каждого тексела данной строки вычисляется высота розового прямоугольника, накладываемого снизу на вертикальную полосу кадра, содержащую данный тексел. Таким образом, получается непрерывное розовое поле в нижней части кадра с пилообразной верхней границей. Дискретизация этой границы пропорциональна разрешению генерируемой шумовой текстуры.

Чтобы обеспечить возможность задания и регулировки параметров описанных цифровых помех на этапе создания дизайнером виртуальной сцены, в данной работе предлагается специальный плагин для системы моделирования 3ds max. Этот плагин является доработкой ранее созданного в НИЦ «Курчатовский институт» - НИИСИ плагина, добавляющего в систему новые объекты типа «физическая камера». Физическая камера представляет собой расширение стандартной виртуальной камеры, обеспечивающее поддержку таких физических параметров, как размер матрицы, фокусное расстояние, диафрагма и т.д. Вид свитка с характеристиками такого объекта представлен на рисунке 1. Разработанный плагин обеспечивает настройку частоты возникновения розового сбоя, замирания и рассыпания изображения в видеопотоке. Также реализована возможность установки описанных выше параметров цифрового рассыпания, а именно: количества, максимального размера и типа битых полей. Описанные настройки проиллюстрированы в правой колонке на рисунке 1.

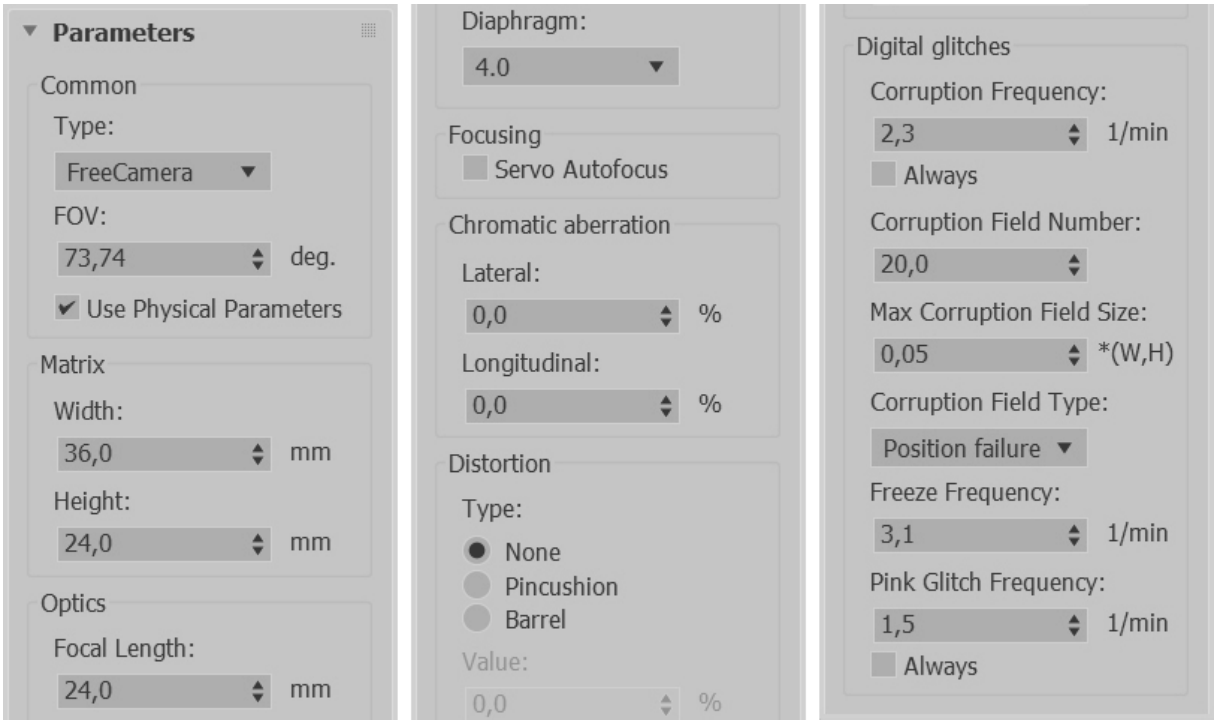


Рисунок 1 – Настройки физической камеры, добавленной в систему 3ds max

На базе рассмотренных в работе методов и алгоритмов, были реализованы программные модули, прошедшие апробацию в составе комплекса виртуального окружения VirSim [2], созданного в НИЦ «Курчатовский институт» - НИИСИ. На рисунке 2 представлен кадр рендеринга системой VirSim многопортового экрана наблюдения за виртуальной моделью робота в сцене трехмерного полигона.

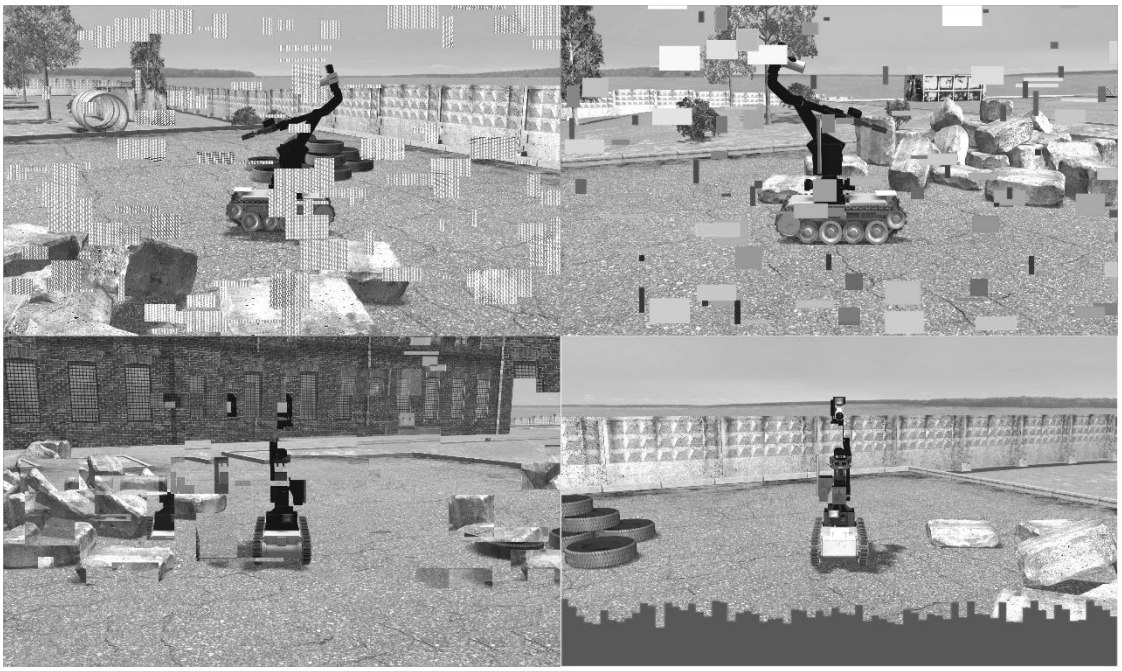


Рисунок 2 – Многопортовая визуализация с имитацией цифровых помех помехи

Данный экран разделен на четыре части (порта), в которые отображаются видеопотоки, синтезируемые для фронтальной, задней и боковых виртуальных камер. Для каждого из этих видеопотоков заданы цифровые помехи с различной частотой возникновения. Результаты апробации продемонстрировали эффективность и адекватность предложенных решений, а также их применимость при разработке систем виртуального окружения и тренажерных комплексов.

Публикация выполнена в рамках государственного задания НИЦ «Курчатовский институт» - НИИСИ по теме № FNEF-2024-0002 «Математическое моделирование многомасштабных динамических процессов и системы виртуального окружения».

Список использованных источников

1. Михайлюк М.В., Торгашев М.А. Моделирование и визуализация трехмерных виртуальных пультов управления в тренажерах // Научная визуализация. – 2014. – Том 6, №4. – С.50-60. (EDN: UAXGKZ)

2. Михайлюк М.В., Мальцев А.В., Тимохин П.Ю., Страшнов Е.В., Крючков Б.И., Усов В.М. Система виртуального окружения Virsim для имитационно-тренажерных комплексов подготовки космонавтов // Пилотируемые полеты в космос. – 2020. – Т. 37, № 4. – С. 72-95. (EDN: NZKHKF).

SIMULATION OF DIGITAL VIDEO GLITCHES IN VIRTUAL ENVIRONMENT SYSTEMS

A.V. Maltsev

Scientific Research Institute for System Analysis of the National Research Centre "Kurchatov Institute" (NRC "Kurchatov institute" - SRISA), Moscow, Russia

This paper considers the task of digital glitch imitation in synthesized video streams from virtual models of surveillance devices used in training complexes and virtual environment systems. Proposed solutions are based on the use of software and hardware capabilities of modern computing devices, including distributed computing on graphics processors.

Keywords: 3D scene, virtual camera, video stream, visualization, image corruption, digital glitch.

УДК 639.3:631.6

НЕКОТОРЫЕ РАЗМЫШЛЕНИЯ ОБ ЭКОЛОГИИ В ВОДНОЙ СРЕДЕ С СИНЕ-ЗЕЛЕНЫМИ ВОДОРОСЛЯМИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИМЕЮЩИХСЯ ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

В.А. Милюткин[1], И.В. Бородулин[2]

[1]Самарский государственный аграрный университет-Самарский ГАУ, г. Самара, Россия,
[2]ООО «ЭКОВОЛГА», г. Самара, Россия

В Мире, в том числе и в Российской Федерации, несмотря на значительные отрицательные заявления об ухудшении экологии в водоемах и водотоках из-за прогрессивного массового неуправляемого развития, в определенной степени вредных сине-зеленых водорослей СЗВ, причиняющих ущерб как природе, так и человеку, нет абсолютно эффективных решений данной проблемы. В тоже время вода должна быть чистой для различных отраслей экономики. И сегодня будет видимо актуальным разработка, с практическим приложением, глобальной целевой комплексной международной программы с успешным решением не простой задачи (сине-зеленые водоросли существуют более 3,5 млрд. лет и благодаря производимым ими кислорода возникла жизнь на нашей планете) управления допустимого развитием сине-зеленых водорослей в водных средах.

Ключевые слова: водоемы, сине-зеленые водоросли, экология, технологии, оборудование, эффективность.

Международное сообщество «как-то стало привыкать» к всеобщему неуправляемому распространению, развитию и перенасыщению практически во всех водоемах и водотоках Мира такой биологической среды, противоречивой по эффективным и в тоже время вредными для человека свойствам, как сине-зеленые водоросли - цианобактерии.



а) *б)*

Рисунок 1: а)-опасные сине-зелёные водоросли у побережья Финляндии (18.07.24); б) - цветение вредных водорослей в Аравийском, вид из космоса (4.05.20) (открытые источники)

Краткий аналитический обзор состояния крупных и малых водоемов и водотоках показывает практически полное их заселение, в частности сине-зелеными водорослями (рис.1-3) особенно в теплый период с учетом того, что есть еще множество типов водорослей как для пресной, так и для соленой (морской) воды по разному влияющих на био-флору и био-фауну открытых водных источников, используемых человеком [1-2].



Рисунок 2 – Водоросли на берегах Тихого океана – вид из космоса (открытые источники)

Значительный ущерб наносят сине-зеленые водоросли большим рекам, в частности р. Волга (рис.3), большим и малым региональным водоемам (рис. 4), представляющим важнейшие места для развития различных сфер экономики, в том числе решая и продовольственные задачи по водным продуктам питания.



Рисунок 3 – Самарская обл.: а)-цветение р. Волга; б)-Сергиевский р-он, Голубое озеро (открытые источники)

Однако, несмотря на отсутствие **целевой** программы российская научная общественность и производственники: аграрии, химики, мелиораторы и др. по различным грантам, научным договорам, по собственной инициативе проводят исследования, изобретают и создают инновационные технологии и технические

средства по данной теме. Так фирма ООО «Эко Волга» (И.В. Бородулин -учредитель) совместно с Самарским ГАУ (профессор В.А. Милюткин) изучают и в определенной степени решают проблему управления развития СЗВ с сохранением их положительных свойств и созданием новых продуктов.

Главные наши рекомендации по **целевой** программе улучшения экологии в водной открытой среде с возможным критическим распространением сине-зеленых водорослей СЗВ строятся на разделении общей задачи по направлениям достижения различных эффектов:

1. ограничение концентрации СЗВ до допустимых параметров в водоемах и водотоках их сбором по различным технологиям и – техническими средствами [3-9] с последующей их утилизацией, в частности переработкой [11-12] в «зеленые» органические удобрения;

2. ограничение концентрации СЗВ до допустимых параметров в водоемах и водотоках их сбором по различным технологиям и – техническими средствами, подготовкой для длительного хранения сушкой [10] и переработкой;

а) в биотопливо III поколения [13].

б) бады и другие ингредиенты для продуктов питания человека и корма для животных [14].

ООО «ЭкоВолга» по данной теме имеет около 20 патентов на изобретения и более 100 печатных работ исследований, которые частично проверены в производственных условиях, они длительное время проводятся по личной инициативе за счет собственного финансирования, поэтому на сегодня у нас нет полной гарантированной оценки их эффективности, что еще раз говорит о необ-ходимости централизованного управления данной темы, а таже государствен-ный подход [14] и более широкое участие профильных авторитетных ученых.

Список использованных источников

1. Синицына О.О., Кузь Н.В., Пушкарева М.В., Турбинский В.В., Ширяева М. А. Цианобактерии и цианотоксины в воде водоисточников-угроза безопасности населения. Гигиена и санитария. 2026;105(1):15-24. https://doi.org/10.47470/ 0016 9900-2026-105-1-15-24. EDN: csfscc.

2. Масуми С.Р., Ганджи М., Аннук А., Эфтехари М., Махмуд А., Гейби М., Моэз-зи Р. Вредные цветения водорослей как новые загрязнители морской среды: обзор мониторинга, оценки рисков и управления на примере Мексики. Pol-lutants 2026, 6, 4. https://doi.org/10.3390/pollutants6010004.

3. Агрегат для очистки водоемов от водорослей [Текст]: пат. 2596017 Рос. Фе-дерация: МПК Е 02 В 15/00 /Милюткин В.А., Стребков Н.Ф., Котов Д.Н., Боро-дулин И.В. ООО «ЭкоВолга» № 2015120313/13; заявл. 28.05. 2015; опубл. 27.08. 2016; Бюл. № 24. (60)

4. Устройство для очистки водоемов от сине-зеленых водорослей [Текст]: пат. 2551172 Рос. Федерация: МПК Е 02 В 15/04 /Милюткин В.А., Стребков Н.Ф., Бородулин И.В., Котов Д.Н. ООО «ЭкоВолга». № 2014102809/13; заявл. 28.01. 2014; опубл. 20.05.2015; Бюл. № 14. (61)

5. Самоходный, автономно действующий агрегат для очистки водоемов от сине-зеленых водорослей [Текст]: пат. 2612445 Рос. Федерация: МПК А 01 D

44/00/Милюткин В.А., Бородулин И.В., Стребков Н.Ф. ООО «ЭкоВолга». - № 2016107549; заявл. 01.03.2016; опубл. 09.03.2017; Бюл. №7. (29)

6. Агрегат для очистки водоемов от водорослей [Текст]: пат. 2582365 Рос. Феде-рация: МПК Е 02В 15/10/Милюткин В.А., Бородулин И.В., Стребков Н.Ф. ООО «Эко-Волга». № 2014131847/13; заявл. 31.07.2014: опубл. 27.04.2016. Бюл. № 12.

7. Устройство для очистки водоемов от сине-зеленых водорослей с помощью биопрепарата [Текст]: пат. 2548075 Рос. Федерация: МПК С 02 F 3/00/ Милюткин В.А., Стребков Н.Ф., Котов Д.Н. ООО «ЭкоВолга».2013128808/05; заявл. 24.06. 2013; опубл. 10.04.2015; Бюл. № 10. (59)

8. Устройство для очистки водоемов от донных отложений [Текст]: пат. 2614877 Рос. Федерация: МПК Е 02 В 15/00/ Бородулин И.В., Милюткин В.А., Антонова З.П., Стребков Н.Ф., Котов Д.Н.-ООО «ЭкоВолга». 2015131618; заявл. 28.12. 2015; опубл. 30.03.2017; Бюл. № 10. (19)

9. Устройство для сбора донных отложений в водоемах [Текст]: пат.175462 Рос. Федерация: МПК Е 02 В 15/00/ Бородулин И.В., Милюткин В.А., Антонова З.П., Стребков Н.Ф. ООО «ЭкоВолга».2015128821; заявл. 15.07.2015; опуб. 06.12.2017 Бюл. № 34. (21)

10. Сушилка для сине-зеленых водорослей [Текст]: пат. 2606811 Рос. Федерация, МПК А 01 DF 44/00/ № 2015341945/ 13; заявл. 13.08.2015: опубл.10.01.2017/ Милюткин В.А., Бородулин И.В., Стребков Н.Ф., Антонова З.П. ООО «Эко-Волга. № 2015341945/13; заявл. 13.08.2015: опубл.10.01.2017; Бюл. №1. (59)

11. Способ утилизации продуктов сгорания энергоустановок, использующих природный газ [Текст]: пат. 2608495. Рос. Федерация: МПК А 01 G 7/02/ Бородулин И.В., Милюткин В.А., Антонова З.П. Панкеев С.А. - ООО «Эко Волга». № 2015132501; заявл. 04.08.2015; опубл.18.01.2017; Бюл. №2. (59)

12. Устройство для утилизации продуктов сгорания энергоустановок, использую-щих природный газ [Текст]: пат. 2599436 Рос. Федерация: МПК С12 М1/04/ Бо-родулин И.В., Агарков Е.А., Милюткин В.А., Антонова З.П., Панкеев С.А. ООО «Эко-Волга». № 2015132504/10; заявл. 04.08.2015; опубл. 10.10.2016. Бюл. № 28.

13.Устройство для переработки сине-зелёных водорослей в биотопливо [Текст]: пат. 182401 Рос. Федерация: МПК С12 М 1/04/ Бородулин И.В., Агарков Е.А., Милюткин В.А. - ООО «ЭкоВолга». - № 20171266494; заявл. 25.07.2017; опубл. 16.08. 2018. Бюл. № 23. (16)

14. Состояние социально-трудовой сферы села и предложения по ее регулирова-нию. Торопов Д.И., Коровин Г.Г., Елисеев В.В., Лавровская Г.Н., Липилина Т.Б., Бондаренко Л.В., Панков Б.П., Беликова Р.П., Малахова В.Я., Мигачева Л.В., Филатова В.Д., Смирнов Г.Е., Козлов А.В., Турьянский А.В., Петрюк Н.Н., Дят-лов Н.В., Сидельников Д.С., Баутин В.М., Шумаков Ю.Н., Паньшин А.В. и др. Ежегодный доклад по результатам мониторинга 2006 г / Том Выпуск 8. М., 2007.

SOME REFLECTIONS ON ECOLOGY IN AN AQUATIC ENVIRONMENT WITH BLUE-GREEN ALGAE USING AVAILABLE TECHNICAL AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS

V.A. Milyutkin[1], I.V. Borodulin[2]

[1] Samara State Agrarian University-Samara State Agrarian University, Samara, Russia,
[2]OOO "ECOVOLGA", Samara, Russia

In the world, including in the Russian Federation, despite significant negative statements about the deterioration of the environment in reservoirs and watercourses due to the progressive mass uncontrolled development of harmful blue-green algae, causing damage to both nature and humans, there are no absolutely effective solutions to this problem. At the same time, the water must be clean for various sectors of the economy. And today, it will probably be relevant to develop, with practical application, a global targeted integrated international program with a successful solution to a difficult task (blue-green algae exist for more than 3.5 billion years). and thanks to the oxygen they produce, life on our planet arose) to control the permissible development of blue-green algae in aquatic environments.

Keywords: reservoirs, blue-green algae, ecology, technologies, equipment, efficiency.

УДК 004.93

МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ НА ОСНОВЕ СЕМАНТИЧЕСКОГО СЛИЯНИЯ ПРИЗНАКОВ

Н.С. Миронов

Национальный исследовательский университет “МИЭТ”, г. Москва, Россия

Рассмотрена задача автоматического обнаружения дефектов печатных плат по изображениям в условиях необходимости одновременного обеспечения высокой точности локализации и высокой скорости вывода модели. Формализован метод построения детектора G-YOLOv8, сочетающего легковесные свертки GhostConv, многоуровневое семантическое слияние, механизм A2-внимания и функцию потерь Wise-IoU. Показано, что рассматриваемый метод достигает 125 FPS и высоких значений mAP0.5 на открытых наборах DeepPCB и Пекинского университета, что делает его применимым для потокового автоматического оптического контроля печатных плат.

Ключевые слова: печатная плата, обнаружение дефектов, автоматический оптический контроль, нейросетевой детектор, семантическое слияние.

Печатные платы являются базовым конструктивным элементом электронных устройств, а их поверхностные дефекты могут приводить к отказам соединений, нарушению электрических характеристик и снижению надежности изделия. К типовым дефектам относятся отсутствующие отверстия, надкусы проводников, обрывы цепей, короткие замыкания, выступы и избыточные участки меди. В условиях серийного производства такие дефекты должны выявляться быстро, воспроизводимо и без существенного участия оператора.

Традиционный визуальный контроль зависит от квалификации специалиста и плохо масштабируется. Классические методы обработки изображений чувствительны к освещению, точности совмещения и вариативности топологии платы. Нейросетевые детекторы объектов позволяют перейти к автоматическому контролю по изображениям, однако для промышленного применения одной точности недостаточно: модель должна сохранять устойчивость к малым объектам и одновременно обеспечивать обработку потока кадров в реальном времени.

Целью статьи является разработка структурированного метода обнаружения дефектов печатных плат, основанного на модифицированной архитектуре YOLOv8. Логика исследования включает постановку задачи, формулирование научной новизны и значимости, построение математической модели, описание порядка расчетов, объяснение происхождения численных значений и анализ практической применимости метода.

Объектом исследования является автоматический оптический контроль печатных плат. Предмет исследования - нейросетевой метод локализации и классификации поверхностных дефектов на изображениях печатных плат. Входными данными является изображение платы I, а выходными данными - множество предсказаний Y = {(Bk, ck, pk)}, где Bk - ограничивающая рамка дефекта, ck - класс дефекта, pk - оценка уверенности.

Требуется построить отображение F: I -> Y, которое обеспечивает: 1) выделение информативных признаков дефектов на структурно сложном фоне; 2) слияние признаков разных уровней для обнаружения малых объектов; 3) устойчивую регрессию координат рамок; 4) достаточную скорость обработки для поточного контроля. Формально задача состоит в максимизации метрики mAP0.5 и полноты Re при ограничении вычислительной сложности Ω и сохранении скорости FPS на уровне, совместимом с реальным временем.

Основное противоречие состоит в том, что повышение точности обычно достигается усложнением сети, а производственная система требует малой задержки вывода. Поэтому решение должно не просто увеличивать глубину модели, а перераспределять вычисления: облегчать извлечение признаков там, где это не ухудшает различимость дефектов, и усиливать семантические признаки в тех уровнях, где формируется решение о малых объектах.

Классические алгоритмы используют фильтрацию, морфологические операции и вычитание шаблонов, но плохо переносят изменения освещения и геометрии съемки. Физические методы, включая электрические измерения и термографию, полезны для отдельных типов дефектов, однако требуют специализированного оборудования [1,2].

Нейросетевые методы решают задачу как обнаружение объектов. Двухстадийные модели, например Faster R-CNN, обычно точны, но медленнее из-за этапа генерации областей интереса. Одностадийные модели семейства YOLO и SSD сразу предсказывают классы и рамки, поэтому лучше подходят для промышленного контроля в реальном времени. Для печатных плат особенно важна способность различать малые дефекты на фоне нормальной топологии проводников [3,4].

В рассматриваемом методе используется архитектура G-YOLOv8. Ее выбор обоснован тем, что она сохраняет достоинства одностадийного детектора и одновременно устраняет часть ограничений базовой YOLOv8 за счет четырех изменений: замены части стандартных сверток на GhostConv, усиленного семантического слияния SPPFSCPCS, A2-внимания в глубокой голове и Wise-IoU при обучении регрессии рамок [5].

Пусть I - входное изображение печатной платы, Xi - карта признаков i-го этапа backbone-сети, G(.) - операция GhostConv, C(.) - остаточный блок C2f, U(.) - увеличение пространственного разрешения, A(.) - блок A2-внимания, а $\oplus$ - конкатенация карт признаков. Этап облегченного извлечения признаков записывается как

$$Zi = C(G(Xi)). \quad (1)$$

Многоуровневое слияние признаков строится через восходящие и нисходящие переходы:

$$Pi = C(U(Zi) \oplus Zi\text{-}1), \quad (2)$$

$$Qi = A(C(G(Zi \oplus Zi\text{-}1). \quad (3)$$

Формулы (1)-(3) показывают, что модель отдельно выполняет извлечение признаков, объединение уровней и усиление информативных каналов. После слияния формируются карты признаков нескольких масштабов, что важно для одновременного обнаружения малых, средних и крупных дефектов.

Вычислительная сложность стандартной свертки для n выходных каналов, входной карты h×w, c входных каналов и ядра k×k равна

$$\Omega conv = nhwck^2. \quad (4)$$

GhostConv формирует только часть каналов обычной сверткой, а остальные получает дешевыми линейными преобразованиями с ядром d×d. При коэффициенте s вычислительная сложность имеет вид

$$\Omega ghost = \frac{nhwck^2}{s} + \frac{(s-1)nhwd^2}{s}. \quad (5)$$

Если $d < k$ и $s > 1$, то $\Omega ghost < \Omega conv$. Следовательно, применение GhostConv снижает число операций без пропорционального уменьшения числа выходных признаков. Это математически обосновывает использование облегченного backbone в задаче реального времени.

Для регрессии ограничивающих рамок используется Wise-IoU. Пусть B = (x, y, w, h) - предсказанная рамка, B* = (x*, y*, w*, h*) - истинная рамка, Sinter - площадь пересечения, Sunion - площадь объединения. Базовая IoU-компонента определяется как

$$L0 = 1 - IoU(B, B^*) = 1 - Sinter / Sunion. \quad (6)$$

Для учета расстояния между центрами рамок вводится множитель

$$R\rho = \frac{e^{(x-x^*)^2+(y-y^*)^2}}{(W_c + H_c)^2}, \quad (7)$$

где Wc и Hc - ширина и высота минимальной внешней области, содержащей предсказанную и истинную рамки. Итоговая функция потерь записывается как

$$LWI = a(\beta)L0R\rho, \quad (8)$$

где β характеризует степень выброса обучающего примера, а a(β) задает динамическую фокусировку. Смысл Wise-IoU заключается в снижении переобучения на крайне некачественных рамочных примерах и повышении вклада объектов средней сложности, которые наиболее информативны для уточнения локализации.

Порядок расчетов включает два уровня: расчет предсказаний модели и расчет показателей качества. На первом уровне изображение нормализуется, проходит через backbone с GhostConv, далее признаки объединяются в блоке SPPFSCPCS, усиливаются A2-вниманием, после чего детекционная голова формирует классы, координаты рамок и вероятности. На втором уровне предсказания сопоставляются с эталонной разметкой и вычисляются метрики.

Точность и полнота рассчитываются по формулам

$$Pr = \frac{TP}{TP + FP}, \quad Re = \frac{TP}{TP + FN}. \quad (9)$$

Средняя точность по классу APj получается как площадь под кривой Pr-Re для j-го класса дефектов, а итоговое среднее значение mAP определяется выражением

$$mAP = \frac{\sum_j AP_j}{N}, \quad (10)$$

где N - число классов дефектов. Скорость вывода вычисляется как

$$FPS = \frac{N_{frames}}{T}, \quad (11)$$

где Nframes - число обработанных кадров, T - суммарное время обработки. Таким образом, численные значения качества не задаются произвольно: они получаются через сопоставление предсказанных рамок с эталонной разметкой, подсчет TP, FP и FN, построение кривых точности-полноты и расчет скорости

Численные значения, приведенные в статье, имеют сравнительный характер и обобщают опубликованные экспериментальные результаты по открытым наборам данных. Для DeepPCB и набора Пекинского университета используются показатели Pr, Re, mAP0.5, GFLOPs и FPS, представленные в исходной публикации и сопоставимых работах по обнаружению дефектов печатных плат. В рамках данной статьи эти значения не заявляются как результат нового обучения с нуля, а используются для методического анализа баланса точности, полноты, вычислительной сложности и скорости.

Показатель mAP0.5 означает, что предсказание считается корректным при IoU не ниже 0,5 и совпадении класса дефекта. GFLOPs характеризует расчетную вычислительную сложность архитектуры, а FPS - скорость вывода, зависящую от аппаратной платформы и условий измерения. Поэтому интерпретировать результаты следует не только по отдельному максимальному значению mAP, но и по совместному выполнению требований точности, полноты и времени обработки.

Оценка выполнена на открытом наборе DeepPCB и наборе Пекинского университета. Рассматриваются дефекты шести классов: missing hole, mouse bite, open circuit, short, spur и spurious copper. В русской терминологии эти классы соответствуют отсутствующему отверстию, надкусу, обрыву цепи, короткому замыканию, выступу и избыточной меди.

Основные результаты сведены в таблицы 2 и 3. В таблицы включены модели, необходимые для понимания баланса между точностью, полнотой, вычислительной сложностью и скоростью.

Таблица 1 – Сравнение моделей на наборе DeepPCB

Модель	Итерации	Pr, %	Re, %	mAP0.5, %	GFLOPs	FPS
YOLOv7	300	80,9	81,2	82,3	13,2	80,0
YOLOv8	300	83,9	83,8	86,2	9,8	121,9
Faster R-CNN	300	86,0	83,5	87,8	50,1	17,0
G-YOLOv8	300	85,7	82,5	87,0	9,1	125,0
G-YOLOv8	500	91,4	88,5	92,3	9,1	125,0

Таблица 2 – Сравнение моделей на открытом наборе Пекинского университета

Модель	Pr, %	Re, %	mAP0.5, %	GFLOPs	FPS
YOLOv8	98,9	98,5	98,9	8,2	106,3
YOLOv7	97,0	97,3	97,7	51,25	18,5
Faster R-CNN	96,0	93,5	97,4	50,1	17,0
G-YOLOv8	99,1	98,7	99,4	9,2	125,0

По данным DeepPCB, G-YOLOv8 при 300 итерациях обеспечивает 125 FPS и mAP0.5 = 87,0 %, превосходя базовую YOLOv8 по скорости и точности при близкой вычислительной сложности. После 500 итераций mAP0.5 возрастает до 92,3 %, точность Pr - до 91,4 %, а полнота Re - до 88,5 %. При этом вычислительная сложность остается равной 9,1 GFLOPs, что указывает на рост качества за счет более полного обучения выбранной архитектуры, а не за счет ее утяжеления.

На наборе Пекинского университета G-YOLOv8 достигает mAP0.5 = 99,4 % при 125 FPS. Более высокие значения метрик объясняются особенностями распределения данных и более благоприятным соотношением дефектов и фона. Для промышленного применения важна не только абсолютная величина mAP0.5, но и сочетание качества с высокой скоростью вывода.Преимущество метода

связано с согласованным распределением функций между компонентами. GhostConv уменьшает вычислительные затраты, SPPFSCPCS извлекает многомасштабную семантику, A2-внимание усиливает информативные каналы на глубоком уровне, а Wise-IoU стабилизирует обучение рамок. Поэтому модель сохраняет высокую скорость без чрезмерного упрощения детектора.

Ограничением исследования является зависимость результата от качества разметки и состава открытых наборов данных. Для внедрения в производственную линию необходима дополнительная проверка на изображениях конкретного оборудования с учетом освещения, разрешения камеры, отражений, технологических вариантов плат и допустимого времени реакции системы.

Список использованных источников

1. Ji T., Zhao Q., An K., Liu D., Yu W., Liang S. A real-time PCB defect detection model based on enhanced semantic information fusion // Signal, Image and Video Processing. 2024. Vol. 18. P. 4945-4959. DOI: 10.1007/s11760-024-03139-8.

2. Ding R., Dai L., Li G., Liu H. TDD-net: a tiny defect detection network for printed circuit boards // CAAI Transactions on Intelligence Technology. 2019. DOI: 10.1049/trit.2019.0019.

3. Tang S., He F., Huang X., Yang J. Online PCB defect detector on a new PCB defect dataset. arXiv:1902.06197, 2019.

4. Han K., Wang Y., Tian Q., Guo J., Xu C., Xu C. GhostNet: More features from cheap operations // Proceedings of IEEE/CVF CVPR. 2020. P. 1577-1586. DOI: 10.1109/CVPR42600.2020.00165.

5. Chen Y., Kalantidis Y., Li J., Yan S., Feng J. A2-Nets: Double Attention Networks. arXiv:1810.11579, 2018.

6.

THE METHOD OF DETECTING DEFECTS OF PRINTED CIRCUIT BOARDS IN REAL TIME BASED ON THE SEMANTIC FUSION OF FEATURES

N.S. Mironov

National Research University "MIET", Moscow, Russia

The task of automatic detection of PCB defects from images is considered in the conditions of the need to simultaneously ensure high localization accuracy and high model output speed. The method of building the G-YOLOv8 detector, combining lightweight GhostConv convolutions, multi-level semantic fusion, A2-attention mechanism and the Wise-IoU loss function, is formalized. It is shown that the method under consideration achieves 125 FPS and high mAP0.5 values on the open DeepPCB and Peking University datasets, which makes it applicable for streaming automatic optical inspection of printed circuit boards.

Keywords: printed circuit board, defect detection, automatic optical inspection, neural network detector, semantic fusion.

УДК 621.791

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНО-ВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ КОМПОЗИЦИЙ В ПРОЦЕССЕ ДУГОВОЙ НАПЛАВКИ С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИРОВАНИЯ В ANSYS

Р.С. Михеев[1], П.А. Быков[2], И.Е. Калашников[2], Л.И. Кобелева[2]

[1]Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия,
[2]Институт металлургии и материаловедения имени А.А. Байкова Российской академии наук, г. Москва, Россия

В программном комплексе ANSYS разработана математическая модель, позволяющая аналитически определять температурно-временные условия формирования многослойных композиций в процессе дуговой наплавки вольфрамовым электродом в инертном газе присадочным композиционным материалом сплошного сечения АК12М2МгН + 10 масс.% Ti2NbAl. Валидация разработанной модели показала, что в опробованном диапазоне значений погонной энергии (от 600 до 840 Дж/мм) расхождение между результатами моделирования и эксперимента по определению геометрических размеров соответствующей температуре плавления формируемого покрытия области, характеризующейся площадью поперечного сечения наплавленных валиков, не превышает 3%.

Ключевые слова: математическое моделирование, дуговая наплавка, температурно-временные условия, многослойные композиции

В программном комплексе ANSYS разработана математическая модель, позволяющая аналитически определять температурно-временные условия формирования многослойных композиций в процессе дуговой наплавки вольфрамовым электродом в инертном газе присадочным композиционным материалом сплошного сечения АК12М2МгН + 10 масс.% Ti_2NbAl. Валидация разработанной модели показала, что в опробованном диапазоне значений погонной энергии (от 600 до 840 Дж/мм) расхождение между результатами моделирования и эксперимента по определению геометрических размеров соответствующей температуре плавления формируемого покрытия области, характеризующейся площадью поперечного сечения наплавленных валиков, не превышает 3%.

Ключевые слова: математическое моделирование, дуговая наплавка, температурно-временные условия, многослойные композиции

В конструкциях современного промышленного оборудования широко применяют опорные узлы трения (подшипники скольжения), представляющие собой стальной корпус и рабочий антифрикционный слой [1]. Ресурс подобных ответственных изделий во многом определяется свойствами антифрикционного слоя, выполненного преимущественно из сплавов системы Sn-Sb-Cu (баббитов). Однако подобные сплавы, например баббиты марки Б83, характеризуются низкими значениями усталостной прочности, следствием чего является относительно

низкая износостойкость [2]. Одним из возможных решений данной проблемы может стать применение в качестве материала антифрикционного слоя разработанных в последние годы композиционных материалов (КМ) на основе сплавов алюминия, обладающих высокой усталостной прочностью в сочетани с улучшенными триботехническими характеристиками [3]. При этом, наличие промежуточного слоя из баббита, позволит ограничить химическое взаимодействие между материалами подложки и рабочего слоя (сталью и алюминиевой матрицей КМ). Другой важной особенностью подобной функциональной организации является ее универсальность и возможность формирования многослойных композиций не только при изготовлении, но и при проведении плановых ремонтов подшипников скольжения.

Дуговая наплавка вольфрамовым электродом в инертном газе присадочным материалом сплошного сечения является производительным и экономичным процессом нанесения покрытий из КМ [3]. Ключевое значение при этом приобретают температурно-временные условия, определяющие характер изменяющегося во времени температурного поля, возникающего в биметаллической подложке. Именно оно определяет размеры областей, нагреваемых до максимальной температуры, и термические циклы нагрева и охлаждения отдельных точек, что имеет решающее значение при оценке размеров зоны проплавления промежуточного слоя из легкоплавкого баббита. Поэтому оценка, анализ и учет температурного поля являются необходимыми условиями при выборе технологических параметров режимов формирования рабочего слоя многослойных композиций, обеспечивающих отсутствие полного проплавления промежуточного баббитового слоя. Поэтому создание математической модели, позволяющей описать температурно-временные условия формирования многослойных композиций системы “низкоуглеродистая сталь – баббит – композиционный материал на основе алюминия” в процессе дуговой наплавки, является весьма актуальной задачей, решению которой и посвящена настоящая работа.

В качестве подложки применяли биметаллические образцы в форме пластин размером 100 х 100 мм. Для их изготовления на заготовки из конструкционной стали 20 по ГОСТ 1050 толщиной 8 мм методом литья наносили слой из баббита Б83 по ГОСТ 1320 толщиной 3 мм.

Для разработки математической модели, позволяющей описать температурно-временные условия формирования многослойных композиций в процессе дуговой наплавки, применяли программный комплекс ANSYS (ПК ANSYS). ПК ANSYS имеет широкое промышленное применение, поскольку позволяет решать методом конечных элементов сложные задачи, связанные с раскрытием и описанием физических процессов, возникающих в металлах при наплавке или сварке [4].

Присадочным материалом служили изготовленные процессом экструзии композиционные прутки диаметром 3 мм и длиной 300 мм на основе алюминиевого сплава АК12М2МгН по ГОСТ 1583, содержащие 10 масс.% частиц ортофазы (Ti2NbAl) размером не более 100 мкм [3].

Валидация разработанной математической модели заключалась в проведении серии экспериментов по нанесению композиционных валиков на

биметаллическую подложку системы сталь-баббит для подтверждения полученных расчетным методом результатов. Изготовленные образцы с наплавленными валиками разрезали в поперечном направлении и в программе Screen Ruler с учетом масштабного коэффициента проводили измерение ширины наплавленного валика (b, мм) и глубины проплавления (h, мм), представляющей собой глубину расплавляемой поверхности биметаллической подложки, а также площади поперечного сечения наплавленного валика - S, мм^2 (таблица). Величину расхождения или неопределенности (P) результатов моделирования и эксперимента определяли в процентах по формуле:

$$P = 100 (S_м – S_э) / S_м,$$

где $S_м$ и $S_э$ — значения площади поперечного сечения наплавленного валика, определенные при моделировании и экспериментально соответственно, мм^2.

Погонная энергия процесса наплавки, Q, Дж/мм	Геометрические размеры наплавленного валика[1)], мм		Площадь поперечного сечения наплавленного валика[1)], S, мм^2	Расхождение, P, %
	e	h		
600	11,5 / 11,5	3,0 / 4,0	112 / 109	3
720	12,5 / 12,0	3,0 / 4,0	126 / 123	3
840	14,0 / 13,0	3,0 / 4,0	144 / 146	2
[1)] в числителе значения, полученные аналитически, в знаменателе — экспериментально.				

Согласно полученным результатам значения расхождения площади поперечного сечения наплавленных валиков не превышают 3%, что свидетельствует об удовлетворительной сходимости разработанной математической модели. Таким образом, с применением ПК ANSYS разработана математическая модель, позволяющая аналитически определять температурно-временные условия формирования многослойных композиций системы “низкоуглеродистая сталь 20 – баббит Б83 – АК12М2МгН + 10 масс.% Ti2NbAl” в процессе дуговой наплавки. Экспериментально проведенная валидация показала, что модель характеризуется удовлетворительной сходимостью (в диапазоне значений погонной энергии процесса наплавки от 600 до 840 Дж/мм неопределенность составляет не более 3%). Применение разработанной модели позволит выбирать параметры режима дуговой наплавки рабочего слоя многослойных композиций, исключающие полное проплавление промежуточного слоя баббита и химическое взаимодействие между материалами подложки и рабочего слоя (сталью и алюминиевой матрицей).

Список использованных источников

1. Панфилов Е.А., Капустин В.В., Шевелева Е.В., Пилюшина Г.А. Повышение износостойкости узлов скольжения технологических машин // Вестник машиностроения. – 2022. – № 4. – С. 38-42. – DOI: 10.36652/0042-4633-2021-4-38-42. – EDN: RQGHKK.

2. Leszczynska-Madej B. Effect of chemical composition on the microstructure and tribological properties of Sn-based alloys / B. Leszczynska-Madej, M. Madej, J. Hrabia-Wisnios // Journal of Materials Engineering and Performance. – 2019. – Vol. 28. – P. 4065-4073. – DOI: 10.1007/s11665-019-04154-4.

3. Kalashnikov I.E. Study of the structure of filler composite wire for surfacing wear-resistant layers / I.E. Kalashnikov [et. al.] // Inorganic Materials. – 2024. – Vol. 60, № 4. – P. 456-463. – DOI: 10.1134/S0020168524700717. – EDN: JUQUGI.

4. Захарченко В.Д. Применение математических методов для исследования температурно-временных условий процесса фрикционной наплавки при изготовлении функционально-организованных сталеалюминиевых композиций / В.Д. Захарченко, Р.С. Михеев, И.Е. Калашников // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2023. – Т. 89, № 9. – С. 82-90. DOI: 10.26896/1028-6861-2023-89-9-82-90. – EDN: NDFZUT.

INVESTIGATION OF TEMPERATURE-TIME CONDITIONS FOR THE FORMATION OF MULTILAYER COMPOSITES DURING ARC SURFACING PROCESS USING ANSYS MODELING

R.S. Mikheev[1], P.A. Bykov[2], I.E. Kalashnikov[2], L.I. Kobeleva[2]

[1]Bauman Moscow state technical university, Moscow, Russia,
[2]Baikov institute of metallurgy and materials science of Russian academy of sciences, Moscow, Russia

A mathematical model has been developed within the ANSYS software to analytically determine the temperature-time conditions governing the formation of multilayer composites during inert-gas tungsten-electrode arc surfacing using a solid-section composite filler material (AlSi12Cu2MgNi + 10 wt.% Ti2NbAl). Validation of the developed model demonstrated that, within the tested range of linear energy values (600 to 840 J/mm), the discrepancy between simulation and experimental results regarding the geometric dimensions of the region corresponding to the coating's melting temperature – characterized by the cross-sectional area of the deposited beads – does not exceed 3%.

Keywords: mathematical modeling, arc surfacing, temperature-time conditions, multilayer compositions

УДК 004.021

ЭФФЕКТ ФОРРЕСТЕРА И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

А.М. Морозов, А.Ю. Клюшин

Тверской государственный технический университет, г. Тверь, Россия

Современные предприятия, осуществляющие деятельность в сфере оптовой торговли и дистрибуции, функционируют в условиях высокой конкуренции, постоянно изменяющегося спроса и необходимости оперативной обработки значительных объемов информации. Одним из ключевых факторов работы подобных организаций является использование корпоративных информационных систем, которые применяют эффект Форрестера.

Ключевые слова: информационные процессы, информационная система, управление поставками, обмен информацией, эффект Форрестера.

Несмотря на высокий уровень автоматизации, в процессе передачи информации между участниками цепочки поставок могут возникать различные искажения и задержки, приводящие к принятию неэффективных управленческих решений. Одним из наиболее известных проявлений подобных процессов является эффект Форрестера, также известный как эффект бычьего кнута (BullwhipEffect). Его сущность заключается в том, что даже незначительные изменения потребительского спроса способны вызывать значительные колебания объемов заказов на последующих уровнях цепи поставок вследствие задержек передачи информации, недостаточной прозрачности процессов и особенностей принятия решений.

Для предприятий с развитой филиальной сетью и большим количеством поставщиков, к числу которых относится Общество с ограниченной ответственностью «Русский Свет», обеспечение достоверности и своевременности обмена информацией между корпоративными информационными системами является важным условием повышения эффективности деятельности. ООО «Русский Свет» - дистрибутор электротехнической, светотехнической и кабельно-проводниковой продукции. Компания была основана в 1995 году. Основной офис организации расположен в городе Твери, при этом компания располагает широкой филиальной сетью, охватывающей большинство регионов Российской Федерации. Компания ежегодно обслуживает более 100 тысяч клиентов и предлагает ассортимент, насчитывающий свыше 35 тысяч товарных позиций. В организации работает более 5,5 тысячи сотрудников, обеспечивающих эффективную деятельность.

В своей деятельности ООО «Русский Свет» активно использует современные информационные технологии, позволяющие автоматизировать процессы управления поставками, складским учетом, взаимодействием с поставщиками и клиентами, а также внутренним документооборотом. Для повышения эффективности работы применяются корпоративные информационные системы,

цифровые платформы управления бизнес-процессами, инструменты аналитики данных и современные средства коммуникации между подразделениями компании. Внедрение цифровых решений способствует сокращению времени обработки заказов, повышению качества обслуживания клиентов и оптимизации логистических процессов.

Одним из приоритетных направлений развития ООО «Русский Свет» является постоянное совершенствование внутренних процессов управления. Компания уделяет внимание развитию собственной IT-инфраструктуры, автоматизации бизнес-процессов и внедрению инновационных решений, что позволяет поддерживать высокий уровень конкурентоспособности и оперативно адаптироваться к изменяющимся условиям рынка.

Также особое внимание было сосредоточено на современных подходах к выявлению и снижению эффекта Форрестера в корпоративных информационных системах. Использование цифровых технологий, повышение прозрачности информационных процессов, совершенствование механизмов обмена данными между подразделениями на основе влияние данного эффекта позволяют существенно повысить эффективность работы фирмы.

Для этого, во-первых, необходимо ознакомиться с теоретическими работами по феномену «эффекта бычьего кнута» в логистических цепях поставок, заключающийся в нарастании колебаний объёмов заказов по мере продвижения информации о спросе от конечного потребителя к поставщикам сырья, например, в [1] автор Кристофер М. обсуждает механизмы, приводящие к усилению колебаний в цепях, в т. ч. эффект Форрестера в логистике, и соответствующие меры снижения через совместное планирование, повышение прозрачности данных и согласование решений между звеньями.

Во-вторых, это прикладные исследования, например [2-4] и др.

В дальнейшем используется системный подход к управлению цепью поставок (цепь рассматривается как единая система) и идея синхронизации решений по пропускной способности с актуальным рыночным спросом. В качестве применимых организационно-управленческих подходов обозначаются практики согласованного планирования и взаимодействия участников (CPFR, S&OP/SOP, VMI) и формирование стратегических альянсов; это позволяет в дальнейшем моделировании формализовать координацию звеньев, учитывать ограничения пропускной способности и исследовать влияние рассогласований спроса/поставок на показатели цепи.

Можно предложить многоэтапную модель замкнутой цепи поставок, где политика пополнения базовых запасов описывается пропорциональным регулятором (инструменты теории управления). Динамика цепи задается стохастической моделью в представлении «пространство состояний», а анализ в стационарных условиях выполняется через ковариационную матрицу, что позволяет выразить «эффект хлыста» как функцию параметров политики пополнения и уровня возвратов; далее вводится оптимизационный метод для оценки влияния Интернета вещей IoT (например, датчики/идентификация/отслеживание) на дисперсию запасов и величину «эффекта хлыста». Обсудив роль информационных систем и цифровых инструментов (например, ERP/CRM, TMS/WMS, IoT,

контрольные центры), для дальнейшего моделирования это будет полезно как основа для формализации «устойчивости» цепочки поставок через параметры координации и видимости, а также для постановки сценариев нарушений (сбоев) и оценки влияния внедрения интегрированного планирования на показатели доступности, вариативности запасов и надежности поставок.

Для дальнейшего моделирования полезен обзор причинно-следственных связей «информация–заказы–запасы–колебания» и как набор направлений для формализации мер противодействия: цифровой обмен данными (например, EDI), интегрированные информационные системы (ERP/SCM), регламенты согласования планов и управление метриками эффективности (KPI) как параметры управленческой политики.

Таким образом, совокупность прикладных и исследовательских подходов, типичных для тематики Supply Chain 4.0 – это анализ данных и цифровых следов операций, моделирование и имитация процессов, оптимизационные постановки, а также архитектурные решения для повышения видимости цепи (end-to-endvisibility) и синхронизации решений, что опирается на концептуальные рамки стратегического анализа и управления цепями поставок. Для дальнейшего моделирования – это источник формализации связки «спрос – правила пополнения – запасы – уровень сервиса – затраты/стоимость». Из этого можно извлекать переменные и зависимости для динамических/имитационных моделей эффекта Форрестера (амплификация спроса, задержки, политика запасов), а также параметры стратегических сценариев (уровень интеграции, технологическая поддержка, риск-профиль цепи, целевые метрики сервиса и эффективности).

Полученные теоретические материалы и результаты будут использованы в дальнейшей работе по совершенствованию информационных процессов предприятия, возникающие в корпоративной информационной системе, обеспечивающей взаимодействие подразделений при обработке заказов, управлении поставками и обмене информацией.

Список использованных источников

1. КристоферМ. Logistics & Supply Chain Management. 5th edition. – New York : Pearson Education, 2016. – 301 p.

2. Елескин С.Э. Эффект бычьего кнута в логистике // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2019. – № 9, С. 324 – 327.

3. Чепоров В.В., Ясикова М.А. Математическое моделирование эффектов «кнута» в цепях поставок // Актуальные проблемы и перспективы развития экономики : сборник трудов конференции (Симферополь – Гурзуф, 12 – 14 октября 2023 г.). – Симферополь : ИП Зуева Т. В., 2023. – С. 248.

4. Тяпухин А.П. Формирование системы управления цепями создания ценности // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент. – 2023. – Т. 17. – № 2. – С. 173–180.

FORRESTER EFFECT AND ITS USE IN CORPORATE INFORMATION SYSTEMS

A.M. Morozov, A.Yu. Klyushin

Tver State Technical University,
Tver, Russia

Modern wholesale and distribution companies operate in a highly competitive environment, with constantly changing demand and the need to quickly process significant volumes of information. One of the key factors in the operation of such organizations is the use of corporate information systems that utilize the Forrester effect.

Keywords: information processes, information system, supply chain management, information exchange, Forrester effect.

УДК 004.932

МЕТРИКИ КАЧЕСТВА БИНАРИЗАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДОКУМЕНТОВ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ F-МЕРЫ, PSNR И СМЕЖНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Д.С. Найденко

Донецкий национальный технический университет,
г. Донецк, Россия

В статье рассматриваются метрики объективной оценки бинаризации изображений документов: F-мера, псевдо-F-мера, PSNR, SSIM, DRD и NRM. Для каждой метрики показаны лежащие в основе допущения, сильные и слабые стороны, а также приведены формулы расчёта с пояснением каждого параметра. Приводится сводное сравнение показателей, позволяющее обоснованно выбирать инструмент оценки под конкретный класс задач.

Ключевые слова: бинаризация, метрики качества, F-мера, псевдо-F-мера, PSNR, SSIM, DRD, NRM, изображения документов, обработка изображений.

Ни один алгоритм бинаризации нельзя считать хорошим или плохим в отрыве от того, чем именно измеряется его результат. Выбор метрики оценки является самостоятельным решением: разные показатели штрафуют за одну ошибку по-разному, и алгоритм, лидирующий по одному критерию, может оказаться середняком по другому [4]. С появлением соревновательной серии DIBCO в 2009 году сообщество договорилось о наборе стандартных метрик для бинаризации исторических документов, однако их применимость за пределами этого класса задач требует отдельного осмысления [4]. Цель настоящей работы состоит в том, чтобы разобрать, как устроены ключевые метрики оценки бинаризации и в каких условиях каждая из них даёт объективный результат.

Общая логика попиксельной оценки. Большинство метрик бинаризации строятся на сравнении результата с эталонным изображением. Каждый пиксель относят к одной из четырёх категорий: верно определённый текстовый пиксель (TP), верно определённый фоновый пиксель (TN), ошибочно отнесённый к тексту фоновый пиксель (FP) и пропущенный текстовый пиксель (FN). На этих значениях строится большинство рассматриваемых показателей [1].

Документные изображения крайне несбалансированы: фоновых пикселей обычно значительно больше, чем текстовых. Простая доля правильных ответов на практике бесполезна: алгоритм, классифицировавший все пиксели как фон, покажет точность свыше 90% на типичном листе, не распознав ни одного символа. Поэтому применяются показатели, явно учитывающие работу с классом текста [4]. Оценка бинаризации и сегментации схожа методологически: в обоих случаях речь идёт о покрытии целевого класса при контроле ложных срабатываний [2].

F-мера и псевдо-F-мера. Наиболее распространённым показателем в задачах бинаризации документов является F-мера. Вычисление начинается с двух базовых характеристик. Точность ($Precision$) показывает, какая доля пикселей, отнесённых алгоритмом к тексту, действительно является текстом:

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP}. \quad (1)$$

Полнота ($Recall$) показывает, какую долю реальных текстовых пикселей алгоритм сумел обнаружить:

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}. \quad (2)$$

F-мера объединяет оба показателя через гармоническое среднее, что делает её чувствительной к низким значениям любого из них:

$$F = \frac{2 \cdot Precision \cdot Recall}{Precision + Recall}. \quad (3)$$

Значение $F = 100\%$ соответствует идеальному совпадению результата с эталоном. F-мера устойчива к дисбалансу классов и стала основным показателем конкурсов DIBCO [4]. Её главный изъян состоит в равнозначности всех ошибочных пикселей: потеря штриха в букве и случайный шум на полях штрафуются одинаково, хотя для последующей OCR-системы это принципиально разные события [1].

Псевдо-F-мера введена для преодоления этого недостатка. По структуре она аналогична формуле (3), однако вместо бинарного отнесения каждого пикселя к TP или FP используются взвешенные значения: пиксели на границах символов и в местах высокого контраста получают больший вес. Это делает псевдо-F-меру чувствительнее к сохранению мелких деталей текста и лучше коррелирующей с субъективной оценкой качества [4].

PSNR и SSIM. Пиковое отношение сигнал-шум ($PSNR$) пришло в задачи бинаризации из области сжатия изображений. Сначала вычисляется среднеквадратичная ошибка MSE между эталоном и результатом:

$$MSE = \frac{1}{M \cdot N} \sum_{i=1}^{M} \sum_{j=1}^{N} (I(i,j) - K(i,j))^2, \quad (4)$$

где M и N - ширина и высота изображения в пикселях; $I(i,j)$ - значение пикселя эталона в позиции (i,j); $K(i,j)$ - значение пикселя результата в той же позиции.

На основе MSE вычисляется $PSNR$:

$$PSNR = 10 \cdot \log_{10} \frac{MAX^2}{MSE}, \quad (5)$$

где MAX - максимально возможное значение яркости пикселя (для 8-битного изображения MAX = 255).

Главное ограничение $PSNR$ применительно к бинаризации состоит в суммировании квадратов ошибок без учёта роли каждого пикселя в структуре текста. Предобработка изображений способна искусственно завышать $PSNR$, не улучшая воспринимаемого качества [3]: алгоритм, хорошо обрабатывающий равномерный фон, получает высокий показатель даже при потере части символов.

Структурный индекс сходства ($SSIM$) сравнивает локальные статистики яркости, контраста и структуры в скользящем окне размером 8x8 или 11x11 пикселей. Для каждого окна вычисляются средние значения и дисперсии яркости обоих изображений, а также их ковариация; итоговый $SSIM$ объединяет три составляющих в единый индекс на интервале [0; 1], где 1 соответствует полному совпадению [3]. $SSIM$ ближе к субъективному восприятию качества, чем $PSNR$, однако разработан для полутоновых изображений и требует адаптации для бинарного случая.

DRD и NRM. Дистанционно-взвешенная ошибка (DRD) разработана специально для бинарных документных изображений. Для каждого ошибочно классифицированного пикселя определяется его взвешенный вклад в штраф через матрицу весов 5×5, где веса обратно пропорциональны расстоянию до соответствующего пикселя эталона. Ошибки вблизи текста наказываются сильнее, чем изолированный шум на пустом фоне, что делает DRD значительно лучше коррелирующей с визуальным восприятием качества бинаризации [4].

Доля несоответствующих пикселей (NRM) раздельно вычисляет два вида ошибки и усредняет их:

$$NRM = \frac{1}{2}\left(\frac{FN}{FN + TP} + \frac{FP}{FP + TP}\right), \quad (6)$$

где первое слагаемое - доля пропущенных текстовых пикселей (FN-Rate), второе - доля ложно выделенных фоновых пикселей (FP-Rate) [4].

NRM принимает значения на интервале [0; 1]; чем ниже значение, тем лучше качество бинаризации. Показатель не взвешивает ошибки по их местоположению, зато обеспечивает независимый контроль двух принципиально разных видов ошибки - недобинаризации и перебинаризации.

На практике нередко применяют несколько метрик параллельно, что снижает риск получить вводящий в заблуждение результат [1].

Сводное сравнение рассмотренных метрик по ключевым характеристикам представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение метрик оценки качества бинаризации

Метрика	Диапазон значений	Учёт структуры текста	Типичное применение
F-мера	0-100%, выше - лучше	Нет	Стандарт DIBCO, общая оценка
Псевдо-F-мера	0-100%, выше - лучше	Да (веса пикселей)	Тонкие детали символов
PSNR	> 0 дБ, выше - лучше	Нет	Сжатие, восстановление
SSIM	[0; 1], выше - лучше	Частично	Структура в локальных окнах
DRD	≥ 0, ниже - лучше	Да (дистанция)	Визуальное качество
NRM	[0; 1], ниже - лучше	Нет	Раздельный контроль FP/FN

Заключение. Рассмотренные метрики - F-мера, псевдо-F-мера, PSNR, SSIM, DRD и NRM - образуют достаточно полный инструментарий для объективной оценки бинаризации документов, однако каждая отражает лишь один аспект качества. F-мера и псевдо-F-мера хорошо описывают сохранность текстового содержимого, PSNR удобен для сравнения с порогами из области сжатия, а DRD наиболее точно соответствует воспринимаемому визуальному качеству. Применение нескольких метрик одновременно снижает риск получить вводящий в заблуждение результат и даёт более полную картину реального качества работы алгоритма [1, 4].

Список использованных источников

1. Николаев Д.П., Сараев А.А. Критерии оценки качества в задаче автоматизированной настройки алгоритмов бинаризации / Николаев Д.П., Сараев А.А. // Труды Института системного анализа Российской академии наук. - 2013. - Т. 63, №3. - С. 85-94. - EDN RSQKHB.

2. Самойлов О.С., Полевой Д.В. Оценка качества сегментации изображений печатных документов на примере системы оптического распознавания текстов OpenOCR / Самойлов О.С., Полевой Д.В. // Труды Института системного анализа Российской академии наук. - 2010. - Т. 58. - С. 164-171. - EDN UDXQAH.

3. Емельянов В.И., Бочаров Д.М. Сравнительная оценка качества изображения: PSNR, HVS, SSIM, UIQI / Емельянов В.И., Бочаров Д.М. // Информатика, управляющие системы, математическое и компьютерное моделирование (ИУСМКМ-2020): сборник материалов XI Международной научно-технической конференции. - Донецк: ДонНТУ, 2020. - С. 513-517. - EDN GFEEHV.

4. Tensmeyer C., Martinez T. Historical document image binarization: a review / Tensmeyer C., Martinez T. // SN Computer Science. - 2020. - Vol. 1, №3. - Art. 173. - EDN XKOGLH.

QUALITY METRICS FOR DOCUMENT IMAGE BINARIZATION: COMPARATIVE ANALYSIS OF F-MEASURE, PSNR AND RELATED INDICATORS

D.S. Naydenko

Donetsk National Technical University, Donetsk, Russia

The paper reviews the main metrics for objective evaluation of document image binarization: F-measure, pseudo-F-measure, PSNR, SSIM, DRD and NRM. For each metric, the underlying assumptions, strengths, weaknesses and calculation formulas with parameter descriptions are provided. A summary comparison is given to support the selection of an appropriate evaluation tool for a specific class of tasks.

Keywords: binarization, quality metrics, F-measure, pseudo-F-measure, PSNR, SSIM, DRD, NRM, document images, image processing.

УДК 004.932

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КЛАССИЧЕСКИХ МЕТОДОВ БИНАРИЗАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДОКУМЕНТОВ: ГЛОБАЛЬНЫЙ ПОДХОД ОЦУ И ЛОКАЛЬНЫЕ АЛГОРИТМЫ НИБЛЭКА И БЕРНСЕНА

Д.С. Найденко

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, Россия

В статье проводится сравнительный анализ трёх классических методов бинаризации изображений документов, различающихся по принципу вычисления порога, - глобального метода Оцу и двух локальных алгоритмов, Ниблэка и Бернсена. Рассмотрены лежащие в основе каждого метода формулы и допущения, показаны характерные ситуации, в которых один подход даёт заметное преимущество перед другими. Приведена сводная таблица сравнения методов по вычислительной сложности, устойчивости к неравномерному освещению и типичным артефактам обработки. Сделан вывод о том, что ни один из рассмотренных методов не обеспечивает стабильно высокого качества на всём многообразии реальных документов, что говорит о необходимости выбора метода в зависимости от условий конкретной задачи.

Ключевые слова: бинаризация изображений, пороговая обработка, метод Оцу, метод Ниблэка, метод Бернсена, глобальный порог, локальный порог, обработка документов.

Пороговая бинаризация остаётся одним из самых распространённых способов подготовки изображения документа к дальнейшему распознаванию, несмотря на десятилетия исследований и появление нейросетевых альтернатив [3]. Причина проста: метод бинаризации не требует обучающей выборки, работает быстро и в большинстве несложных случаев даёт вполне приемлемый результат. Проблема начинается тогда, когда нужно выбрать конкретный алгоритм из десятков существующих - и здесь оказывается, что универсального ответа нет, а свойства методов существенно различаются в зависимости от того, как именно они вычисляют порог разделения текста и фона.

В настоящей работе рассматриваются три метода, представляющие принципиально разные подходы к решению этой задачи: метод Оцу как классический представитель глобальной пороговой обработки, а также методы Ниблэка и Бернсена, относящиеся к локальным (адаптивным) алгоритмам, но опирающиеся на разную статистику окрестности пикселя.

Цель работы - показать, в чём именно состоят различия между этими подходами, и на основе сравнения сформулировать практические рекомендации по их применению.

Метод Оцу: глобальный статистический порог. Предложенный ещё в 1979 году, данный алгоритм остаётся одним из самых цитируемых алгоритмов пороговой обработки изображений [1]. Его идея заключается в том, что для всего изображения подбирается единственное значение порога, которое наилучшим образом разбивает гистограмму яркостей на два класса - объект (текст) и фон. Порог ищется путём перебора всех возможных значений яркости t и выбора того, при котором внутриклассовая дисперсия минимальна:

$$\sigma^2 w(t) = \omega_0(t) \cdot {\sigma_0}^2(t) + \omega_1(t) \cdot {\sigma_1}^2(t) \rightarrow min,$$

где $\omega_0(t)$, $\omega_1(t)$ - доли пикселей фона и объекта при пороге t (то есть какая часть всех точек изображения относится к каждому из двух классов), а ${\sigma_0}^2(t)$, ${\sigma_1}^2(t)$ - дисперсии яркости внутри этих классов. Чем меньше разброс яркости внутри каждого класса, тем удачнее выбран порог. Алгоритм не требует настройки дополнительных параметров и работает достаточно быстро, поскольку вычисления сводятся к однократному проходу по гистограмме.

Сильная сторона метода Оцу - устойчивость на изображениях с чётко выраженным бимодальным распределением яркости, когда текст и фон визуально сильно контрастируют между собой [1]. Однако при неравномерном освещении, характерном для сканов старых или сфотографированных документов, единый порог перестаёт справляться с задачей: часть текста в затемнённых областях сливается с фоном, а на светлых участках, наоборот, может появиться паразитный шум [2, 3]. Практическая реализация адаптивной версии алгоритма, при которой изображение делится на локальные зоны с отдельным расчётом порога Оцу для каждой из них, подтверждает, что базовый глобальный вариант плохо подходит именно для изображений с существенным перепадом освещённости, тогда как разбиение на зоны заметно улучшает результат ценой роста вычислительной сложности [3].

Метод Ниблэка: локальная статистика среднего и дисперсии. В отличие от Оцу, метод Ниблэка вычисляет отдельный порог для каждого пикселя

изображения, опираясь на статистику небольшого окна вокруг него [1, 2]. Для пикселя с координатами (x, y) порог определяется формулой:

$$T(x, y) = m(x, y) + k \cdot \sigma(x, y),$$

где $m(x, y)$ - среднее значение яркости пикселей в окне вокруг точки (x, y) (то есть обычное среднее арифметическое по небольшому квадратному участку изображения), $\sigma(x, y)$ - среднеквадратичное отклонение (СКО) яркости в том же окне, показывающее, насколько сильно яркость соседних пикселей отличается от этого среднего, а k - весовой коэффициент (обычно отрицательный, в пределах от -0,2 до -0,5), задающий, насколько сильно порог будет смещаться относительно среднего. Такая формула позволяет методу подстраиваться под локальные изменения освещённости и контраста, что делает его заметно более гибким инструментом по сравнению с глобальными подходами.

Платой за эту гибкость становится чувствительность к параметрам: слишком маленький размер окна приводит к усилению шума на однородных участках, а слишком большой сглаживает мелкие детали и приближает поведение метода к глобальному порогу [1]. На практике метод Ниблэка нередко даёт неудовлетворительный результат именно на равномерных по яркости областях фона, где локальная дисперсия близка к нулю, а любые незначительные колебания яркости из-за шума матрицы сканера ошибочно относятся к тексту [2]. Именно эта особенность впоследствии подтолкнула к появлению модификаций метода, в частности алгоритма Саувола, вводящего дополнительную нормировку порога по динамическому диапазону яркости.

Метод Бернсена: контраст локального окна. Третий рассматриваемый метод устроен принципиально иначе: порог Бернсена вычисляется не через среднее и дисперсию, а через крайние значения яркости в том же окне вокруг пикселя [1]:

$$T(x, y) = (Zmax(x, y) + Zmin(x, y)) / 2,$$

где $Zmax(x, y)$ и $Zmin(x, y)$ - соответственно самая светлая и самая тёмная точка в окрестности пикселя (x, y), то есть максимальное и минимальное значения яркости среди всех пикселей внутри окна. Порог, таким образом, - это просто середина между самым тёмным и самым светлым пикселем локального участка. Дополнительно вводится мера локального контраста $C(x, y) = Zmax(x, y) - Zmin(x, y)$; если она не превышает заданный порог (участок почти однородный по яркости), вся область целиком относится к фону или к объекту в зависимости от среднего уровня яркости, без применения формулы $T(x, y)$ выше.

Такой подход хорошо показывает себя на изображениях с ярко выраженными границами объектов и неплохо переносит неравномерное освещение, поскольку опирается на локальный перепад яркости, а не на абсолютные значения [4]. Метод Бернсена успешно применяется в задачах предварительной обработки изображений перед распознаванием текста именно за счёт устойчивого выделения контуров символов на фоне со сложной текстурой [4]. Вместе с тем метод плохо справляется с монотонными областями: на однородных участках фона, где контраст оказывается ниже установленного порога, нередко возникают протяжённые ложные пятна, а тени от объектов иногда ошибочно относятся к тексту, что требует последующей постобработки результата [2].

Сравнение методов. Рассмотренные алгоритмы удобно сопоставить по нескольким практически значимым критериям: способу вычисления порога, вычислительной сложности, устойчивости к неравномерному освещению и характерным для метода недостаткам. Выбор именно этих критериев обусловлен тем, что они напрямую влияют на применимость метода в реальной задаче обработки документов: скорость работы важна при массовой оцифровке архивов, устойчивость к освещению - при работе со сканами и фотографиями невысокого качества, а число настраиваемых параметров определяет, насколько трудоёмкой будет настройка алгоритма под конкретный тип документа. Сводные результаты такого сравнения, основанные на приведённом выше анализе и данных экспериментальных работ [1, 2], представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение методов бинаризации Оцу, Ниблэка и Бернсена

Критерий	Метод Оцу	Метод Ниблэка	Метод Бернсена
Тип порога	Единый для всего изображения	Свой для каждого пикселя (среднее яркости в окне + среднеквадратичное отклонение яркости в окне)	Свой для каждого пикселя (среднее самой светлой и самой тёмной точки окна)
Вычислительная сложность	Низкая	Средняя-высокая	Средняя
Устойчивость к неравномерному освещению	Низкая	Средняя, зависит от размера окна	Средняя-высокая
Типичный недостаток	Потеря текста в затемнённых зонах	Шум на однородном фоне	Ложные пятна на монотонных участках
Число настраиваемых параметров	Нет	Размер окна, весовой коэффициент	Размер окна, порог контраста

Как видно из таблицы, ни один из трёх методов не занимает лидирующую позицию сразу по всем критериям. Метод Оцу выигрывает в скорости и простоте реализации, но проигрывает в устойчивости к неравномерному освещению. Метод Ниблэка гибче реагирует на локальные изменения контраста, однако сильнее подвержен шуму на однородных участках. Метод Бернсена занимает промежуточное положение: он устойчивее к перепадам освещённости, чем Оцу, но требует последующей постобработки для устранения ложных пятен на монотонном фоне [2, 4].

Заключение. Проведённое сравнение трёх классических методов бинаризации подтверждает, что выбор алгоритма всегда связан с компромиссом между скоростью, точностью и устойчивостью к особенностям конкретного

изображения. Глобальный подход Оцу оправдан для документов с равномерным освещением и высоким контрастом, тогда как локальные методы Ниблэка и Бернсена лучше подходят для сканов с неоднородным фоном, но требуют аккуратного подбора параметров и, зачастую, дополнительной постобработки результата. Отсутствие единого универсального решения указывает на актуальность дальнейших исследований в направлении методов, способных автоматически подбирать наиболее подходящий алгоритм бинаризации в зависимости от характеристик конкретного изображения.

Список использованных источников

1. Исрафилов Х.С. Исследование методов бинаризации изображений / Исрафилов Х.С. // Вестник науки и образования. – 2017. – Т. 2, №6(30). – С. 43–50. – EDN YTOKXJ.

2. Горитов А.Н. Предварительная обработка изображений в системах технического зрения / Горитов А.Н. // Доклады ТУСУР. – 2018. – Т. 21, №4-1. – С. 53–58. – EDN IQWKUX.

3. Созинова М.В. Бинаризация изображений с использованием адаптивного алгоритма Отсу / Созинова М.В. // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании: сборник научных статей: в 4 т. Т. 3. – СПб.: Изд-во СПбГУТ, 2021. – С. 306–311. – EDN SBSVEO.

4. Мищенко В.А. Предварительная обработка изображения в процессе распознавания текста / Мищенко В.А., Коробкин А.А. // Фундаментальные исследования. – 2011. – №8-3. – С. 652–655. – EDN NYGWYF.

COMPARATIVE ANALYSIS OF CLASSICAL DOCUMENT IMAGE BINARIZATION METHODS: THE GLOBAL OTSU APPROACH AND THE LOCAL NIBLACK AND BERNSEN ALGORITHMS

D.S. Naydenko

Donetsk National Technical University,
Donetsk, Russia

The article presents a comparative analysis of three classical document image binarization methods that differ in the way the threshold is computed - the global Otsu method and two local algorithms, Niblack's and Bernsen's. The formulas and assumptions underlying each method are considered, and typical situations in which one approach offers a clear advantage over the others are shown. A summary table comparing the methods in terms of computational complexity, robustness to uneven illumination and typical processing artifacts is provided. It is concluded that none of the considered methods ensures consistently high quality across the full variety of real documents, which indicates the need to select a method depending on the conditions of a specific task.

Keywords: image binarization, thresholding, Otsu method, Niblack method, Bernsen method, global threshold, local threshold, document processing.

УДК 004.932

БИНАРИЗАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДОКУМЕНТОВ В КОНВЕЙЕРЕ ОЦИФРОВКИ И ОПТИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ ТЕКСТА: ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Д.С. Найденко

Донецкий национальный технический университет,
г. Донецк, Россия

В статье рассматривается задача бинаризации изображений документов как ключевого этапа предварительной обработки в системах оцифровки и оптического распознавания текста. Показано место бинаризации в общем конвейере обработки документа, приведён обзор глобальных и локальных методов пороговой обработки, отмечены их сильные и слабые стороны. Обсуждается проблема разнородности деградаций реальных документов и связанные с ней трудности выбора метода, а также роль международных соревнований DIBCO как показателя незавершённости данной задачи.

Ключевые слова: бинаризация, обработка изображений, оцифровка документов, оптическое распознавание текста, пороговая обработка, метод Оцу, метод Саувола, предобработка.

Перевод бумажных документов в электронный вид давно стал повседневной задачей для архивов, библиотек, банков и государственных учреждений. Объёмы накопленных на бумаге материалов огромны, а потребность в быстром поиске и обработке информации только растёт, поэтому вопрос качественной оцифровки сохраняет актуальность и сегодня. При этом сам процесс оцифровки далеко не сводится к обычному сканированию: чтобы получить не просто картинку, а пригодный для поиска и редактирования текст, изображение нужно провести через целую цепочку обработки [1].

Несмотря на заметный прогресс технологий, полностью автоматическая и безошибочная оцифровка пока остаётся скорее целью, чем достигнутым результатом. Исследователи отмечают, что уровень цифровизации архивных фондов остаётся низким, а качество распознавания сильно зависит от состояния исходных документов [2]. Особенно это касается старых, повреждённых или неравномерно освещённых материалов, где даже современные системы допускают ошибки.

Одним из первых и во многом определяющих этапов обработки является бинаризация - преобразование полутонового или цветного изображения в чёрно-белое, где каждый пиксель относится либо к тексту, либо к фону. От того, насколько удачно выполнено это преобразование, напрямую зависит результат последующих шагов, а утраченную на этой стадии информацию восстановить в дальнейшем практически невозможно.

Цель настоящей работы - рассмотреть место бинаризации в общем конвейере оцифровки и распознавания текста, дать краткий обзор основных подходов к пороговой обработке и обозначить главную проблему, из-за которой задача до сих пор не считается окончательно решённой.

Место бинаризации в конвейере обработки документа. Типовая цепочка оцифровки документа с последующим распознаванием текста состоит из нескольких связанных этапов. Сначала выполняется сканирование, в результате которого формируется растровое изображение страницы. Затем следует предварительная обработка, куда и входит бинаризация: на этом шаге изображение упрощается и готовится к анализу. Далее проводится сегментация и анализ структуры страницы - выделение текстовых блоков, таблиц и иллюстраций, разбиение текста на строки и отдельные символы [5]. После этого в работу вступает OCR-движок (например, Tesseract или ABBYY), который сопоставляет выделенные фрагменты с известными символами. Итогом становится текстовый слой, пригодный для поиска и редактирования. Общий вид этой последовательности показан на рисунке 1.



Рисунок 1 – Место бинаризации в конвейере оцифровки и распознавания текста

Важно, что бинаризация выполняется на раннем этапе, а значит, её ошибки переносятся дальше по всей цепочке. Если при переводе в чёрно-белый формат часть символов сольётся с фоном или, наоборот, появятся ложные точки, то ни сегментация, ни распознавание уже не смогут это полностью исправить [4]. По этой причине качество бинаризации рассматривают как один из факторов, определяющих итоговую точность всей системы.

Обзор методов бинаризации. Основным параметром любого метода бинаризации является порог - значение яркости, с которым сравнивается каждый пиксель: если яркость выше порога, пиксель относят к фону, если ниже - к тексту

[5]. По способу выбора этого порога методы принято делить на две большие группы: глобальные и локальные.

В глобальных методах для всего изображения подбирается единый порог. Наиболее известным представителем этой группы является метод Оцу, в котором порог определяется так, чтобы наилучшим образом разделить гистограмму яркостей на два класса - объект и фон. Глобальные методы просты в реализации и работают быстро, однако они плохо справляются с изображениями, где освещение неравномерно, а фон зашумлён: при едином пороге часть информации на таких снимках неизбежно теряется [5].

Локальные методы устраняют этот недостаток за счёт того, что порог вычисляется отдельно для каждого участка изображения. К этой группе относятся методы Ниблэка и Саувола: порог в них зависит от среднего значения и стандартного отклонения яркости в небольшом окне вокруг пикселя. Метод Саувола представляет собой развитие идеи Ниблэка и лучше ведёт себя на документах с текстурой фона и неравномерным освещением [5]. Платой за это становится более высокая вычислительная нагрузка и чувствительность к выбору размера окна и коэффициентов.

Обзорные работы, посвящённые предварительной обработке изображений, подтверждают, что универсального решения не существует: разные методы дают разные результаты в зависимости от типа изображения, и один и тот же алгоритм может отлично работать на одних документах и давать искажения на других [3, 4]. Именно поэтому на практике метод бинаризации обычно подбирают под конкретный класс документов, а нередко и настраивают его параметры под конкретную партию сканов.

Проблема разнородности документов. Главная сложность задачи связана с тем, что реальные документы крайне разнородны по характеру повреждений. В архивах и библиотеках это рукописные и старопечатные тексты с пожелтевшей бумагой, пятнами и неравномерным освещением. В банковском секторе - чеки и бланки с печатями, штампами и фоновыми сетками разметки. В почте и логистике - конверты и накладные, где соседствуют разное качество бумаги, штрихкоды и рукописные надписи вместе с печатными. Метод, хорошо работающий с чистым печатным текстом, может оказаться непригодным для рукописного архивного документа - именно поэтому единый универсальный алгоритм бинаризации до сих пор не создан [5]. Подтверждает это и то, что в мире регулярно проводятся специальные соревнования по бинаризации - DIBCO (Document Image Binarization Competition) в рамках конференции ICDAR, начиная с 2009 года: то, что за много лет каждый раз появляются новые методы-победители, говорит о нерешённости задачи.

Заключение. Бинаризация занимает в конвейере оцифровки документов особое положение: выполняясь на раннем этапе, она во многом определяет качество последующей сегментации и распознавания. Существующие глобальные и локальные методы решают задачу лишь частично - каждый из них хорош для своего типа изображений, но ни один не является универсальным. Основным

препятствием остаётся разнородность реальных документов, из-за которой выбор подходящего метода приходится делать вручную под конкретный класс задач. Это указывает на перспективность подходов, способных автоматически подбирать метод бинаризации в зависимости от характера входного изображения, что и определяет направление дальнейших исследований.

Список использованных источников

1. Дегтярева И.А. Оцифровка архивных документов: решенная задача или задача будущего / Дегтярева И.А. // История и архивы. – 2022. – №4. – С. 122–135. – EDN KEAEFW.

2. Терехова Г.В. Цифровая трансформация архивного дела: от оцифровки к интеллектуальным информационным средам / Терехова Г.В., Матвеева А.С., Уржумова О.М. // История и современное мировоззрение. – 2025. – Т. 7, №4. – С. 113–117. – EDN MQWGHK.

3. Исрафилов Х.С. Исследование методов бинаризации изображений / Исрафилов Х.С. // Вестник науки и образования. – 2017. – Т. 2, №6(30). – С. 43–50. – EDN YTOKXJ.

4. Горитов А.Н. Предварительная обработка изображений в системах технического зрения / Горитов А.Н. // Доклады ТУСУР. – 2018. – Т. 21, №4-1. – С. 53–58. – EDN IQWKUX.

5. Годунов А.И. Сегментация изображений и распознавание объектов на основе технологии сверточных нейронных сетей / Годунов А.И., Баланян С.Т., Егоров П.С. // Надежность и качество сложных систем. – 2021. – №3(35). – С. 62–73. – EDN GUZZTD.

BINARIZATION OF DOCUMENT IMAGES IN THE DIGITIZATION AND OPTICAL CHARACTER RECOGNITION PIPELINE: PROBLEM STATEMENT AND FIELDS OF APPLICATION

D.S. Naydenko

Donetsk National Technical University,
Donetsk, Russia

The article deals with the problem of document image binarization as a key preprocessing stage in digitization and optical character recognition systems. The place of binarization in the overall document processing pipeline is shown, an overview of global and local thresholding methods is given, and their strengths and weaknesses are noted. The problem of the heterogeneity of real document degradations and the related difficulties of method selection are discussed, as well as the role of the international DIBCO competitions as an indicator of the unsolved nature of this task.

Keywords: binarization, image processing, document digitization, optical character recognition, thresholding, Otsu method, Sauvola method, preprocessing.

УДК 004.9

ПЛАГИННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПОДДЕРЖКИ УСТРОЙСТВ В МЕДИЦИНСКОМ ПРОГРАММНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАФИИ

В.А. Нефедов

Самарский государственный медицинский университет, г. Самара, Россия

В статье рассматривается организация поддержки устройств регистрации электроэнцефалограммы в программном обеспечении, относящемся к медицинским изделиям. Показано, что объём повторной верификации при подключении нового устройства определяется степенью обособленности программной составной части, и сформулированы требования к плагинному механизму, вытекающие из медицинской специфики применения.

Ключевые слова: электроэнцефалография, медицинское программное обеспечение, плагинная архитектура, класс безопасности, управление риском, повторная верификация, обособленность.

Расширение перечня поддерживаемых устройств регистрации электроэнцефалограммы (ЭЭГ) в прикладном программном обеспечении является инженерной задачей, существующие открытые решения организуют поддержку каждого устройства отдельным программным модулем [1]. Однако программное обеспечение, применяемое при оказании медицинской помощи, относится к медицинским изделиям и подлежит государственной регистрации по результатам технических и клинических испытаний, а освобождение новых версий от повторных испытаний пока лишь предлагается [2, 3]; жизненный цикл такого программного обеспечения регламентирован ГОСТ IEC 62304 [4] и сопутствующие риски подлежат управлению в соответствии с ГОСТ ISO 14971 [5]. Учитывая условия, значимой характеристикой механизма подключения устройств оказывается объём работ по повторной верификации, порождаемый каждым изменением.

Согласно ГОСТ IEC 62304 каждой программной системе присваивается класс безопасности A, B или C в зависимости от тяжести вреда, к которому может привести опасная ситуация с её участием. Важно учесть правило наследования, где программные составные части наследуют класс безопасности той системы, из которой они выделены, и классифицируются отдельно только в том случае, если изготовитель документально обоснует присвоение им другого класса. Стандарт дополнительно требует идентифицировать обособленность программных составных частей, необходимую для управления риском, и указать, каким образом обеспечивается её результативность.

Из приведённых положений следует вывод: присвоение программной составной части класса безопасности, отличного от класса системы, и, соответственно, сокращение объёма её верификации возможны лишь при обоснованной обособленности этой части от остальной системы. Применительно к поддержке

устройств это означает следующее: при монолитной организации, когда поддержка каждого устройства входит в состав единой программной системы, добавление нового электроэнцефалографа влечёт повторную верификацию системы в полном объёме. При организации поддержки в виде обособленных программных составных частей - плагинов - область повторной верификации локализуется в границах добавляемого плагина, тогда как проверенное ядро остаётся неизменным. Сопоставление двух вариантов приведено на рисунке 1.

Медицинский характер применения определяет состав требований к такому механизму. Регистрация ЭЭГ выполняется при непосредственном участии пациента, а получаемая запись используется в диагностике и нейрореабилитации [6, 7], поэтому отказ плагина не должен приводить к утрате записи, что влечёт повторное проведение исследования. Каждый кадр данных должен быть прослеживаем до конкретного устройства и версии плагина, что необходимо для целостности медицинской записи и её ретроспективного анализа. Временная привязка кадров должна опираться на единую модель времени: метки, проставленные разными источниками по их собственным часам, требуют оценки и коррекции взаимного смещения, иначе синхронизация сигнала с внешними событиями теряет достоверность [8]. Долговременная совместимость обязательна, так как клинические архивы могут храниться продолжительное время и должны оставаться интерпретируемыми, для чего применяются стандартизованные представления нейрофизиологических данных [9, 10].

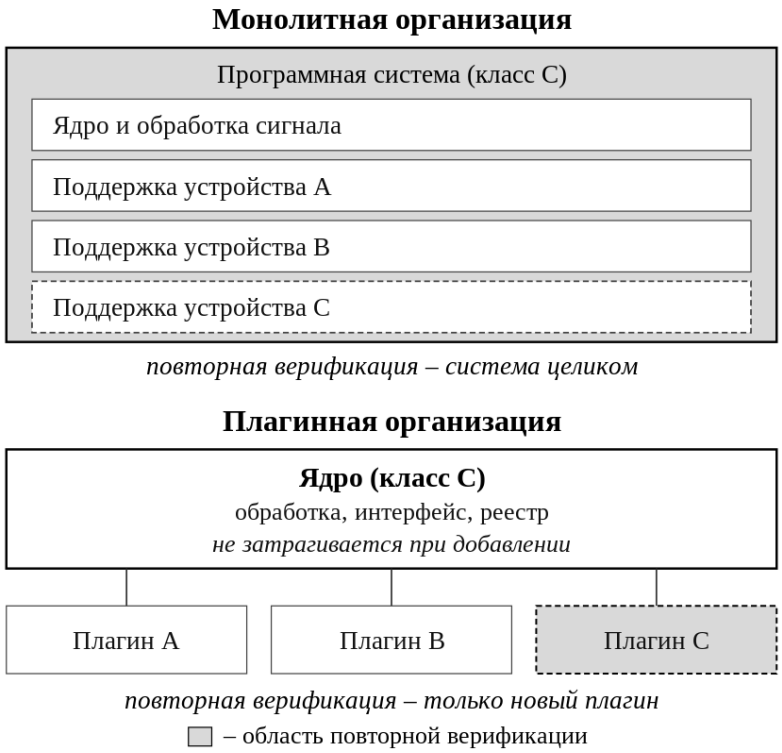


Рисунок 1 – Область повторной верификации при монолитной и плагинной организации поддержки устройств

Перечисленные требования позволяют оценить возможные механизмы реализации. Организация плагина в виде динамически загружаемой библиотеки, размещаемой в адресном пространстве приложения, обеспечивает простоту вызова, однако предполагает разделение памяти и потока управления с ядром, вследствие чего обоснование результативности обособленности требует дополнительных архитектурных мер - ограничения интерфейса, контроля потребляемых ресурсов и предсказуемой обработки отказа. Вынесение плагина в отдельную единицу исполнения упрощает такое обоснование, сокращая состав общих с ядром ресурсов, отсутствием которых стандарт иллюстрирует результативность обособленности на примере элементов, выполняемых разными процессорами, однако единственно допустимым решением не является. Выбор механизма определяется присвоенным классом безопасности и составом принятых мер управления риском.

Независимо от избранного механизма плагин устройства проходит типовую последовательность состояний, приведённую на рисунке 2. На этапе обнаружения фиксируется наличие устройства; при регистрации плагин заявляется в реестре ядра; на этапе согласования устанавливаются поддерживаемые характеристики - число каналов, частота дискретизации, доступные режимы; далее следует сеанс регистрации с передачей кадров данных и команд управления. Цикл завершается выгрузкой плагина и освобождением ресурсов. Разграничение ответственности между ядром и плагином на каждом из перечисленных этапов образует содержание контракта между ними.



Рисунок 2 – Жизненный цикл плагина устройства

Отдельного внимания заслуживает случай, когда плагин поставляется производителем устройства. Такая составная часть подпадает под определение программного обеспечения неизвестного происхождения, для которого ГОСТ IEC 62304 требует определить программные и аппаратные средства, необходимые для его корректной работы. Обособленная организация плагина позволяет

включить подобный компонент в состав изделия с ограниченной и документируемой областью влияния.

Таким образом, плагинная организация поддержки устройств электроэнцефалографии рассматривается как мера управления риском, позволяющая локализовать область повторной верификации при расширении перечня поддерживаемых устройств. Сформулированные требования - изоляция отказов, прослеживаемость данных, единая временная база, долговременная совместимость - образуют основу для последующей разработки архитектурного решения, обеспечивающего их выполнение.

Список использованных источников

1. BrainFlow: a library to obtain, parse and analyze EEG, EMG, ECG and other kinds of data from biosensors [Электронный ресурс]. – URL: https://github.com/brainflow-dev/brainflow (дата обращения: 20.07.2026).

2. Гусев А. В., Морозов С. П., Кутичев В. А., Новицкий Р. Э. Нормативно-правовое регулирование программного обеспечения для здравоохранения, созданного с применением технологий искусственного интеллекта, в Российской Федерации // Медицинские технологии. Оценка и выбор. – 2021. – Т. 43, № 1. – С. 36–45. – DOI: 10.17116/medtech20214301136. – EDN: PZLUJK.

3. Гусев А. В., Артемова О. Р., Андрейченко А. Е., Иванов И. В. Формирование рынка программных медицинских изделий в Российской Федерации в 2007–2024 гг.: практические результаты // Национальное здравоохранение. – 2024. – Т. 5, № 3. – С. 53–61. – DOI: 10.47093/2713-069X.2024.5.3.53-61. – EDN: DBXSMJ.

4. ГОСТ IEC 62304-2022. Изделия медицинские. Программное обеспечение. Процессы жизненного цикла. – М.: Российский институт стандартизации, 2022.

5. ГОСТ ISO 14971-2021. Изделия медицинские. Применение менеджмента риска к медицинским изделиям. – М.: Российский институт стандартизации, 2021.

6. Зенков Л. Р. Клиническая электроэнцефалография (с элементами эпилептологии): руководство для врачей. – 7-е изд. – М.: МЕДпресс-информ, 2017. – 360 с.

7. Каплан А. Я. Нейрофизиологические основания и практические реализации технологии мозг-машинных интерфейсов в неврологической реабилитации // Физиология человека. – 2016. – Т. 42, № 1. – С. 118–127. – EDN: VHVJKL.

8. Kothe C., Shirazi S. Y., Stenner T. et al. The lab streaming layer for synchronized multimodal recording // Imaging Neuroscience. – 2025. – Vol. 3. – DOI: 10.1162/IMAG.a.136.

9. Kemp B., Olivan J. European data format «plus» (EDF+), an EDF alike standard format for the exchange of physiological data // Clinical Neurophysiology. – 2003. – Vol. 114, № 9. – P. 1755–1761. – DOI: 10.1016/S1388-2457(03)00123-8.

10. Pernet C. R., Appelhoff S., Gorgolewski K. J. et al. EEG-BIDS, an extension to the brain imaging data structure for electroencephalography // Scientific Data. – 2019. – Vol. 6. – Article 103. – DOI: 10.1038/s41597-019-0104-8.

PLUG-IN ORGANISATION OF DEVICE SUPPORT IN MEDICAL ELECTROENCEPHALOGRAPHY SOFTWARE

V.A. Nefedov

Samara State Medical University,
Samara, Russia

The article describes the organisation of support for electroencephalogram acquisition devices in software classified as a medical device is considered. It is shown that the scope of repeated verification required when a new device is added is determined by the degree of segregation of the software item, and the requirements for a plug-in mechanism arising from the medical nature of the application are formulated.

Keywords: electroencephalography, medical software, plug-in architecture, software safety classification, risk control, repeated verification, segregation.

УДК 004.9

ФРАГМЕНТАЦИЯ ПРОГРАММНЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАФИИ

В.А. Нефедов

Самарский государственный медицинский университет,
г. Самара, Россия

Рассматривается задача интеграции аппаратных средств регистрации электроэнцефалограммы с прикладным программным обеспечением. Сформулированы три признака переиспользуемого интеграционного слоя – подчинённость, представление устройства и расширение, – по которым сопоставлены открытые платформы BCI2000, OpenViBE, Lab Streaming Layer, BrainFlow, Timeflux и Dareplane. Установлено, что подчинённость и расширение обеспечиваются существующими решениями, тогда как единого описания устройства с набором команд управления не даёт ни одна из них.

Ключевые слова: электроэнцефалография, интеграционный слой, программный интерфейс, фрагментация, открытые платформы, интерфейс «мозг – компьютер», комплект средств разработки

Электроэнцефалография (ЭЭГ) является одним из основных методов регистрации биоэлектрической активности головного мозга и одним из ключевых инструментов исследований интерфейсов «мозг - компьютер» (Brain-Computer Interface, BCI) [1]. Развитие микроэлектроники, беспроводной связи и алгоритмов цифровой обработки сигналов привело к появлению широкого спектра аппаратных решений - от клинических электроэнцефалографов, различающихся частотой дискретизации, разрядностью преобразователя и полосой пропускания [2], до носимых устройств потребительского сегмента [3]. Вместе с тем рынок

регистраторов ЭЭГ фрагментирован: каждый производитель применяет собственный протокол обмена, формат представления отсчётов и комплект средств разработки (Software Development Kit, SDK), ориентированный на ограниченный набор языков программирования и операционных систем. Такая разнородность препятствует повторному использованию зарегистрированных данных [4] и вынуждает создавать отдельный адаптер для каждого нового устройства.

Интеграционным слоем далее называется переиспользуемый программный компонент, принимающий на себя разбор протокола устройства и предоставляющий прикладной системе единый программный интерфейс к устройствам разных производителей. Цель работы – установить, какие требования к переиспользуемому интеграционному слою покрыты открытыми платформами, а какие остаются нереализованными.

Источник затруднения интеграции раскрывается при рассмотрении системы регистрации ЭЭГ как слоистой архитектуры (рисунок 1). Физический слой (электроды, аналоговый тракт, аналого-цифровое преобразование) является для разработчика закрытым компонентом; канальный слой обеспечивает передачу отсчётов по последовательному либо беспроводному интерфейсу; сериализационный слой определяет структуру пакета. Прикладной слой драйвера и SDK реализует разбор пакетов, управление состоянием устройства и предоставление интерфейса вышележащим уровням обработки сигнала и приложения. Именно на нём возникает привязка к конкретному устройству, языку программирования и операционной системе, из-за чего перенос решения на другое устройство трудозатратен.



Рисунок 1 – Слоистая архитектура системы регистрации электроэнцефалограммы

Требования к интеграционному слою опираются на характеристики качества по ГОСТ Р ИСО/МЭК 25010 – модульность и модифицируемость в составе сопровождаемости, адаптируемость и взаимозаменяемость в составе переносимости [5], откуда выводятся три признака. Подчинённость (адаптируемость и взаимозаменяемость): слой вызывается прикладной системой и не навязывает ей собственный цикл исполнения. Представление устройства (модульность): устройство описано как объект с характеристиками и командами управления, не сведено к потоку отсчётов. Расширение (модифицируемость): новое устройство подключается без изменения исходных текстов слоя.

К сопоставлению отобраны открытые платформы, удовлетворяющие трём условиям: открытая лицензия, поддержка регистрации ЭЭГ в реальном времени, наличие рецензируемой публикации либо официальной документации. Проприетарные SDK, привязанные к оборудованию одного производителя, не рассматривались. Не рассматривались и пакеты анализа записей (MNE-Python, EEGLAB, FieldTrip): их основное назначение обработка уже зарегистрированных данных. Оценка выполнена по официальной документации и исходным текстам выпусков, доступных на 03.08.2026. Каркасом далее называется система, которой принадлежит цикл исполнения, вызывающая пользовательский код как свой модуль. BCI2000 – модульная система построения BCI-приложений из модулей источника сигнала, обработки, приложения и оператора [6]; модуль источника работоспособен лишь в составе каркаса, однако класс BCI2000Remote позволяет стороннему приложению запускать модули, задавать параметры и изменять переменные состояния, обвязки есть для C++, Python и MATLAB [7]. В OpenViBE сценарии обработки собираются в графическом редакторе [8], а связь с оборудованием вынесена в сервер сбора данных с драйверами-плагинами; состав драйверов определяется сборкой приложения, а описание устройства ограничивается потоком отсчётов, метками событий и сведениями о каналах: команд управления из прикладного сценария не предусмотрено [9].

Lab Streaming Layer (LSL) предназначена для синхронной потоковой передачи мультимодальных данных по локальной сети и обеспечивает временную синхронизацию источников алгоритмом коррекции часов [10], её функциональная область ограничена передачей потоков, а устройство представлено только метаданными потока. BrainFlow унифицирует интерфейс доступа к поддерживаемым платам и даёт обвязки для нескольких языков [11], но архитектурно ближе к классическому SDK: подключение нового устройства требует модификации её исходного кода. Каркас Timeflux построен на принципе, где поддержка устройств поставляется отдельными пакетами [12]; признак расширения здесь выполнен, но прикладная система подчинена каркасу: приложение задаётся графом узлов, а устройство представлено узлом, настраиваемым один раз при создании, входного порта для команд во время работы у него нет [13]. Dareplane составляется из независимых модулей-процессов: обмен данными вынесен в LSL, управление модулем – текстовые команды поверх сокета TCP/IP [14]; набор команд каждый модуль определяет сам, единой модели устройства платформа не задаёт. Результаты сопоставления приведены в таблице 1.

Признакам подчинённости и расширения удовлетворяют BCI2000 в режиме внешнего управления, Lab Streaming Layer и Dareplane; OpenViBE и Timeflux не удовлетворяют признаку подчинённости, BrainFlow – признаку расширения. Признак представления устройства не выполнен ни у одной платформы: устройство остаётся потоком отсчётов либо набором параметров, а команды, если они есть, не унифицированы.

Таблица 1 – Сопоставление платформ по признакам интеграционного слоя

Платформа	Подчинённость (цикл исполнения)	Представление устройства	Расширение (подключение нового устройства)
BCI2000	Каркас; извне через BCI2000Remote	Параметры доступны извне, объекта устройства нет	Модуль источника каркаса либо внешний посредник
OpenViBE	Каркас	Драйвер сервера сбора, команд нет	Драйвер в исходном коде либо внешний посредник
Lab Streaming Layer	Прикладная система	Метаданные потока, команд нет	Отдельным приложением-издателем
BrainFlow	Прикладная система	Описание платы есть, команды не унифицированы	Модификация исходного кода библиотеки
Timeflux	Каркас	Узел с параметрами, команды при запуске	Внешний подключаемый модуль
Dareplane	Прикладная система	Команды модуля, модели устройства нет	Отдельный модуль-процесс

Заметнее проблема проявляется с опытными образцами: для многоэлектродных систем, изготавливаемых в академических институтах под конкретную исследовательскую задачу, готовые SDK отсутствуют, и проектирование интеграционного слоя становится самостоятельной инженерной работой.

Таким образом, разбор системы регистрации по слоям указывает место возникновения привязки к устройству – прикладной слой драйвера и SDK. Средства обработки сигнала и синхронизации потоков в открытой экосистеме представлены полно, тогда как описание и управление устройством остаются внутри каркаса, в исходных текстах библиотеки либо в отдельной программе под конкретное устройство. Нерешённой остаётся, следовательно задача единого описания устройства с командами управления. Частные решения возможны

надстройкой командного канала над LSL, добавлением плат в BrainFlow либо отдельным модулем Dareplane, но ни одно не даёт описания, общего для разных производителей, что определяет актуальность разработки такой модели и опирающегося на неё интеграционного слоя.

Список использованных источников

1. Каплан А. Я., Кочетова А. Г., Шишкин С. Л., Басюл И. А., Ганин И. П., Васильев А. Н., Либуркина С. П. Экспериментально-теоретические основания и практические реализации технологии «интерфейс мозг – компьютер» // Бюллетень сибирской медицины. – 2013. – Т. 12, № 2. – С. 21–29. – DOI: 10.20538/1682-0363-2013-2-21-29. – EDN: QBTTOF.

2. Иванов А. А. Описание технических характеристик ЭЭГ-оборудования и их сравнение для доступных в России электроэнцефалографов // Эпилепсия и пароксизмальные состояния. – 2023. – Т. 15, № 4. – С. 384–392. – DOI: 10.17749/2077-8333/epi.par.con.2023.170. – EDN: GUPFDY.

3. Лунев Д. В., Полетыкин С. К., Кудрявцев Д. О. Нейроинтерфейсы: обзор технологий и современные решения // Современные инновации, системы и технологии. – 2022. – Т. 2, № 3. – С. 0117–0126. – DOI: 10.47813/2782-2818-2022-2-3-0117-0126. – EDN: VVYXIA.

4. Pernet C. R., Appelhoff S., Gorgolewski K. J. et al. EEG-BIDS, an extension to the brain imaging data structure for electroencephalography // Scientific Data. – 2019. – Vol. 6. – Article 103. – DOI: 10.1038/s41597-019-0104-8.

5. ГОСТ Р ИСО/МЭК 25010-2015. Информационные технологии. Системная и программная инженерия. Требования и оценка качества систем и программного обеспечения (SQuaRE). Модели качества систем и программных продуктов. – М.: Стандартинформ, 2015. – 36 с.

6. Schalk G., McFarland D. J., Hinterberger T., Birbaumer N., Wolpaw J. R. BCI2000: a general-purpose brain-computer interface (BCI) system // IEEE Transactions on Biomedical Engineering. – 2004. – Vol. 51, № 6. – P. 1034–1043. – DOI: 10.1109/TBME.2004.827072.

7. Programming Reference: BCI2000Remote Class [Электронный ресурс]: документация BCI2000. – URL: https://www.bci2000.org/ mediawiki/index.php/Programming_Reference:BCI2000Remote_Class (дата обращения: 03.08.2026).

8. Renard Y., Lotte F., Gibert G., Congedo M., Maby E., Delannoy V., Bertrand O., Lécuyer A. OpenViBE: An Open-Source Software Platform to Design, Test, and Use Brain-Computer Interfaces in Real and Virtual Environments // Presence: Teleoperators and Virtual Environments. – 2010. – Vol. 19, № 1. – P. 35–53. – DOI: 10.1162/pres.19.1.35.

9. Acquisition Server [Электронный ресурс]: документация OpenViBE. – URL: https://openvibe.inria.fr/acquisition-server/ (дата обращения: 03.08.2026).

10. Kothe C., Shirazi S. Y., Stenner T., Medine D., Boulay C., Grivich M. I., Artoni F., Mullen T., Delorme A., Makeig S. The lab streaming layer for synchronized multimodal recording // Imaging Neuroscience. – 2025. – Vol. 3. – DOI: 10.1162/IMAG.a.136.

11. BrainFlow: a library to obtain, parse and analyze EEG, EMG, ECG and other kinds of data from biosensors [Электронный ресурс]. – URL: https://github.com/brainflow-dev/brainflow (дата обращения: 03.08.2026).

12. Clisson P., Bertrand-Lalo R., Congedo M., Victor-Thomas G., Chatel-Goldman J. Timeflux: an open-source framework for the acquisition and near real-time processing of signal streams // Proceedings of the 8th Graz Brain-Computer Interface Conference 2019. – Graz, 2019. – DOI: 10.3217/978-3-85125-682-6-17.

13. Timeflux BrainFlow: driver [Электронный ресурс]. – URL: https://doc.timeflux.io/projects/timeflux-brainflow/en/stable/api/timeflux_ brainflow/nodes/driver/ (дата обращения: 03.08.2026).

14. Dold M., Pereira J., Sajonz B., Coenen V. A., Thielen J., Janssen M. L. F., Tangermann M. Dareplane: a modular open-source software platform for BCI research with application in closed-loop deep brain stimulation // Journal of Neural Engineering. – 2025. – Vol. 22, № 2. – 026029. – DOI: 10.1088/1741-2552/adbb20.

FRAGMENTATION OF SOFTWARE INTERFACES IN ELECTROENCEPHALOGRAPHY SYSTEMS

V.A. Nefedov

Samara State Medical University,
Samara, Russia

The article addresses the integration of electroencephalogram acquisition hardware with application software. Three criteria for a reusable integration layer – subordination, device representation and extension – are applied to the open platforms BCI2000, OpenViBE, Lab Streaming Layer, BrainFlow, Timeflux and Dareplane. Subordination and extension are provided by existing solutions, whereas none offers a unified device description with control commands.

Keywords: electroencephalography, integration layer, software interface, fragmentation, open platforms, brain-computer interface, software development kit

УДК 004.8:004.912

ОСОБЕННОСТИ РАСПОЗНАВАНИЯ АВТОМАТНЫХ ЯЗЫКОВ

Е.М. Николаев

Смоленский государственный университет,
г. Смоленск, Россия

В работе затрагивается вопрос распознавания автоматных языков, который занимает заметное место в теории формальных языков и при обработке различных последовательностей символов. Конечные автоматы, а также регулярные выражения используются не просто для теоретических целей, они применяются на практике – при анализе кода программы, верификации структуры данных, шаблонном поиске и обработке текста. Кроме того, есть различие между

обычным конечным автоматом и новыми нейронными сетями (RNN, LSTM, GRU, Transformer). Конечные автоматы имеют чёткий вывод при фиксированных условиях; Нейросеть обучается по данным и нуждается в дообучении/валидации.

Ключевые слова: автоматный язык, регулярный язык, конечный автомат, ДКА, НКА, регулярные выражения, нейронные сети, RNN, Transformer.

Распознавание автоматных языков [1, 2] – это одна из основных задач теоретической информатики. Оно состоит в том, чтобы понять, принадлежит ли входная последовательность определённому языку. Хотя задача носит теоретический характер, она активно используется на практике для решения прикладных задач: проверки соответствия данных заданным критериям, например, при разборе кода, поиске по тексту, обработке сетевых сообщений, фильтрации и проверке идентификаторов.

Автоматный, или регулярный, язык можно понимать как набор цепочек, для которого существует конечный автомат-распознаватель. Такой автомат представляет собой формальную модель с конечным числом состояний и заранее заданными переходами между ними. Обычно он задается пятеркой ($A=(Q,\sum,\Delta,q0,F)$), где (Q) – множество состояний, ($\sum$) – алфавит, (Δ) – функция переходов, ($q0$) – начальное состояние, а (F) – множество допускающих состояний. После чтения каждого символа автомат переходит из одного состояния в другое. Если после обработки всей строки он оказывается в допускающем состоянии, слово принимается.

Главная особенность конечного автомата состоит в том, что он не хранит всю прочитанную строку. Для принятия решения ему достаточно текущего состояния. Конечные автоматы подходят для обработки потоковых данных, когда символы приходят по одному и нет нужды возвращаться назад.

Например, анализатор программы быстро определяет, что это: идентификатор, число, ключевое слово или оператор. Важным шагом в теории регулярных языков стала теорема Клини, которая связала регулярные выражения с конечными автоматами. Благодаря ей язык можно сначала описать удобной для человека формой, а потом представить как автомат, который легко реализовать, написав программу [3]. Это объясняет популярность регулярных выражений и автоматов в компиляторах, поисковиках и системах обработки текста [4].

В теории различают детерминированные и недетерминированные конечные автоматы [5]. Детерминированный автомат для каждого состояния и символа имеет только один переход, а недетерминированный может переходить в несколько состояний. Недетерминированные автоматы удобны для описания сложных конструкций из регулярных выражений, но на практике чаще используют детерминированные, так как они проще и быстрее работают.

Алгоритм Томпсона применяется для построения недетерминированного конечного автомата по регулярному выражению. Его идея заключается в том, что отдельные части выражения переводятся в небольшие автоматные фрагменты, после чего эти фрагменты соединяются в общий распознаватель. Метод

удобен и конструктивен, но полученный автомат может содержать много вспомогательных переходов.

После построения недетерминированного автомата может выполняться детерминация. В результате строится детерминированный автомат, который распознает тот же язык. Основная проблема этого процесса заключается в возможном росте числа состояний. В некоторых случаях число состояний может увеличиваться очень значительно. Это явление называют взрывом состояний. На практике для его уменьшения применяют удаление недостижимых состояний, минимизацию, сжатие таблиц переходов и другие методы оптимизации [6].

Классическое распознавание с помощью детерминированного автомата выполняется достаточно просто. Автомат начинает с начального состояния, читает символы по очереди и переходит в новые состояния. В конце проверяют, является ли текущее состояние конечным – тогда строка принимается. Такой алгоритм работает за время, пропорциональное длине строки.

Недетерминированный автомат работает сложнее, так как может находиться в нескольких состояниях одновременно. Это требует больше вычислений, но удобно для автоматов, созданных из регулярных выражений.

Поэтому часто регулярное выражение сначала превращают в недетерминированный автомат, затем при необходимости преобразуют в детерминированный. В компиляторах конечные автоматы используют для лексического анализа – они распознают ключевые слова, идентификаторы, числа, операторы и разделители, заданные регулярными выражениями [7, 8].

Не все языки можно распознать конечным автоматом. Например, язык вида ($L=\{an\ bn \mid n \geq 0\}$) не регулярный и требует запоминать количество символов a. Зато язык с чётным числом единиц регулярный и для его распознавания нужны всего два состояния – чётное и нечётное.

Таблица 1 – Сравнение методов распознавания последовательностей

Подход	Преимущество	Ограничение	Применение
НКА	Удобен для описания регулярных выражений	Требует учета нескольких состояний	Построение распознавателей
ДКА	Быстро работает на входной строке	Может иметь много состояний	Лексический анализ
Минимальный ДКА	Компактен и понятен	Требует этапа минимизации	Оптимизация автоматов
RNN/LSTM/GRU	Может обучаться на данных	Трудно объяснить решение	Обработка последовательностей
Transformer	Хорошо учитывает контекст	Не является классическим автоматом	NLP и языковые модели

Современные нейросетевые методы рассматривают задачу распознавания последовательностей иначе [9, 10]. Рекуррентные нейронные сети, как и автоматы, обрабатывают вход по шагам и имеют внутреннее состояние. Однако это состояние является не дискретным, а числовым вектором. Модели, основанные на нейросетях, могут учиться на примерах и находить закономерности, которые сложно явно описать. Именно поэтому RNN и их варианты применяются в обработке естественного языка, классификации текстов и анализе последовательностей.

Transformer-модели используют механизм внимания и показывают хорошие результаты с естественным языком, но они не конечные автоматы в классическом понимании: у них нет фиксированного набора состояний и простых переходов, как у детерминированных автоматов.

Таблица 2 – Сравнение классических автоматных и нейросетевых методов

Критерий сравнения	Классические автоматы	Нейросетевые модели
Способ построения	Задаются через состояния, переходы и регулярные выражения	Обучаются на примерах
Точность	Дают точный результат при правильно заданном языке	Возможны ошибки
Интерпретируемость	Высокая, путь по состояниям можно проследить	Низкая, решение трудно объяснить
Вычислительная сложность	Низкая при использовании ДКА	Зависит от размера модели
Работа с естественным языком	Ограничена шаблонами	Хорошо учитывает контекст
Основное применение	Форматы, токены, регулярные шаблоны	NLP, классификация, языковые модели

Сравнение результатов демонстрирует различия в применимости классических конечных автоматов и нейронных сетей. Если конечный автомат применяется при наличии четко сформулированных правил, то нейросеть позволяет находить решение по обучающей выборке и учесть большую зависимость между параметрами, но результат ее работы трудно интерпретировать. В связи с этим каждый из этих методов имеет свои преимущества перед другим. При этом перспективным представляется совместное применение данных методов, позволяющее сочетать точность формальных моделей с возможностями обучения нейронных сетей.

Список использованных источников

1. Козлов С. В. Применение теории формальных грамматик в информатике / С. В. Козлов, А. В. Светлаков // Дистанционные образовательные технологии:

сборник трудов VI Международной научно-практической конференции. – Симферополь, 2021. – С. 255-259. – EDN NFAAUG.

2. Втюрин М. В. Применение формальных грамматик для сокращения объема текстовой информации / М. В. Втюрин // Инновационное развитие: технический и технологический аспекты. Сборник статей международной научно-практической конференции. – 2019. – С. 22-25. EDN TWRFVT.

3. Козлов С. В. Теория формальных грамматик и ее применение / С. В. Козлов, А. В. Светлаков // Системы компьютерной математики и их приложения. – 2021. – № 22. – С. 358-364. – EDN USEDOE.

4. Александров Д. Е. Об оценках автоматной сложности распознавания класса регулярных языков / Д. Е. Александров // Интеллектуальные системы. Теория и приложения. – 2014. – Т. 18, № 4. – С. 161-190. – EDN XWQQTZ.

5. Козлов С. В. О LL(1)-грамматиках, алгоритмах на них и методах их анализа в программировании / С. В. Козлов, А. В. Светлаков // International Journal of Open Information Technologies. – 2022. – Т. 10, № 3. – С. 30-38. – EDN TNSFDZ.

6. Бабин Д. Н. Автоматные языки с частотным свойством естественных языков / Д. Н. Бабин, И. Л. Мазуренко, А. Б. Холоденко // Интеллектуальные системы в производстве. – 2013. – № 1(21). – С. 9-13. – EDN QBRQPT.

7. Козлов, С. В. Применение регулярных выражений для обработки текстовых данных / С. В. Козлов, А. В. Светлаков // International Journal of Open Information Technologies. – 2022. – Т. 10, № 9. – С. 82-89. – EDN ZOSEER.

8. Шихиев Ш. Б. Автоматная грамматика естественного языка / Ш. Б. Шихиев, Ф. Ш. Шихиев // Актуальные проблемы математики и информационных технологий: Материалы I Всероссийской конференции, Махачкала, 03–05 февраля 2020 года. – Махачкала: Дагестанский государственный университет, 2020. – С. 193-203. – EDN JHCXDK.

9. Антонов В. В. Прогнозирование на основе искусственной нейронной сети второго поколения для поддержки принятия решений в особо значимых ситуациях / В. В. Антонов, Е. В. Пальчевский, Р. Р. Еникеев // Программные продукты и системы. – 2022. – № 3. – С. 384-395. – DOI 10.15827/0236-235X.139.384-395. – EDN RGAQUS.

10. Козлов С. В. Анализ LSTM и GRU моделей для построения прогнозов временных рядов / С. В. Козлов, С. А. Седенков // International Journal of Open Information Technologies. – 2024. – Т. 12, № 7. – С. 43-50. – EDN DMKFKO.

FEATURES OF RECOGNIZING AUTOMATA LANGUAGES

E.M. Nikolaev

Smolensk State University,
Smolensk, Russia

The article discusses the recognition of automata languages as an important area of formal language theory and sequence processing. It shows that finite state machines and regular expressions are used not only in theoretical computer science, but also in practical tasks such as lexical analysis, data format validation, pattern matching, and text information processing. The article also compares classical automata methods with

modern neural network approaches, including RNN, LSTM, GRU, and Transformer. It is concluded that finite state machines provide accuracy and interpretability, while neural network models have the ability to learn from data but require additional control.
Keywords: automaton language, regular language, finite state machine, DFA, NFA, regular expressions, neural networks, RNN, Transformer.

УДК 001.38

ЭТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЙРОСЕТЕЙ В НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ

В.В. Нурмухаметова, Э.М. Хайрутдинова

Казанский инновационный университет имени В.Г. Тимирясова,
Набережночелнинский филиал,
г. Набережные Челны, Россия

В статье анализируются этические аспекты использования развивающегося генеративного искусственного интеллекта в научно-исследовательской деятельности студентов высших учебных заведений. Определена логика развития практики использования нейросетей студентами. Главными этическими регуляторами обозначены наличие чёткого алгоритма применения нейросетей в учебном заведении в виде регламента, обладание преподавателями и студентами цифровыми компетенциями и знание ими основ применения нейросетей в научной работе.

Ключевые слова: нейросети, генеративный искусственный интеллект, плагиат, студенты, этика, регламент

Ныне живущее поколение является свидетелями четвертой промышленной революции. Изменения в технологической сфере происходят настолько стремительно, что в корне меняют материально-производственную систему. Вторжение генеративного искусственного интеллекта (далее – ГИИ) во все сферы жизни человечества привело к необходимости пересмотра принципов функционирования всей социальной системы: требуется разноуровневая общественная и мультидисциплинарная научная оценка использования нейросетей. Научная сфера не осталась в стороне от процессов внедрения нейросетей. Наука – специфическая деятельность по производству новых знаний, и принципиально важно, чтобы научное знание соответствовало ряду известных признаков: объективность, непротиворечивость, проверяемость, воспроизводимость. Не менее важным является соответствие принципам научной этики: уважение авторских прав и интеллектуальной собственности, обеспечение достоверных результатов и др. Именно этический аспект использования нейросетей сегодня является самым острым и дискуссионным [4]. С одной стороны, уже состоявшиеся исследователи, годами публикующие результаты своих исследований, активно обсуждают и вносят поправки в этику научных исследований в связи с внедрением ГИИ. В их среде есть

как ярые поборники с нейросетями, так и реалисты, отстаивающие адаптивную стратегию научного исследования, в которой ГИИ выступает помощником. С другой стороны, молодые учёные, как более активные и продвинутые пользователи нейросетей, не видят ничего предосудительного в использовании нейросетей в научной работе.

Первые пробы в науке свершаются на разных ступенях образования: в школе, колледже, университете. Чаще всего именно в высшем учебном заведении начинается осознанная серьезная научная работа. Поэтому именно в этот период важно усвоение студентами этики применения ГИИ в научно-исследовательской работе, особенно, с учётом высокого уровня активности использования ими нейросетей. Исследователи утверждают, что современный ГИИ способен создавать сложные тексты, не определяемые системами проверки на плагиат. Поэтому существует возможность недобросовестного использования нейросетей для написания тезисов и научных статей, и их проверка на плагиат способна определить их с высокой долей оригинальности.

Краткий обзор отечественных научных публикаций за последние три года по теме использования нейросетей студентами в научно-исследовательской работе позволил выделить основные проблемы и риски, на которые следует обратить внимание при разработке и внедрении стратегии подготовки научных кадров в части освоения научной этики в учебных заведениях нашей страны.

Исследователи обращают внимание на проблему некомпетентного использования нейросетей студентами, которая в свою очередь способна породить целую сеть других проблем: «плагиат, а, следовательно, невозможность адекватной оценки знаний обучающихся, рост академических нарушений, утечка личных данных, неравенство доступа к цифровым инструментам и проч.» [2, С. 198]. Появление понятия ИИ-плагиата являет собой «новый виток несанкционированного заимствования и присвоению себе результатов полученной обратной связи от ИИ-инструмента», – указывает П.В. Сысоев [5, С. 36].

Сами же студенты, согласно проведённым исследованиям, вовсе не слепо используют данные, полученные с помощью ГИИ, они достаточно критичны и осторожны, осознают риски и последствия, вызванные применением нейросетей, и выступают за развитие технологий, способных выявлять уровень оригинальности [1; 3]. Наряду с этим исследователи выявили запросы у студентов на варианты «легального» использования неросетей в образовательной и научной деятельности. Данные, приведенные в исследовании коллективом авторов, свидетельствуют о том, что при написании научных работ более половины опрошенных в исследовании студентов не используют ГИИ, тогда как при выполнении учебных работ большая часть прибегает к нейросетям. Этот факт свидетельствует о понимании рисков и ответственности в научных работах, тем более, что они, как правило, все подвергаются проверке на плагиат. У студентов нет определённого мнения касательно того, можно ли указывать ГИИ как соавтора и как это правильно сделать. Также исследование показало, что студенты в своём большинстве не доверяют сгенерированному нейросетью тексту, допуская его недостоверность [3].

В результате анализа данных стало возможным подсветить этические аспекты использования нейросетей студентами в научно-исследовательской работе. Логика использования ГИИ студентами во времени проста: молодёжь активно использует появляющиеся и развивающиеся нейросети в повседневной жизни и затем при выполнении учебных и научных работ в высшем учебном заведении. Далее в учебном заведении растёт озабоченность применением ГИИ студентами, возникают различные реакции преподавателей, научных руководителей, администрации, часто негативные. Затем возникает необходимость регулирования использования ГИИ в учебной и научно-исследовательской работе студентами, создания некоего кодекса. Студенты понимают необходимость такого регулирования, появляется запрос на обучение этике использования нейросетей в образовании.

Таким образом, на наш взгляд, следует остановиться на двух основных условиях, регулирующих этическую составляющую использования ГИИ студентами в научно-исследовательской работе. Во-первых, наличие чёткого алгоритма возможностей и ограничений применения нейросетей, закрепленного локально в конкретном учебном заведении, в виде регламента или кодекса и следования ему. Во-вторых, субъекты взаимодействия – студенты и преподаватели как научные руководители – должны ориентироваться в регламенте, обладать по возможности равными цифровыми компетенциями и знать основы применения ГИИ в научной работе, соответствующие актуальному уровню их развития. Это вполне достижимо посредством курсов повышения квалификации для преподавателей и спецкурса для студентов.

Список использованных источников:

1. Алешковский И.А., Гаспаришвили А.Т., Нарбут Н.П., Крухмалева О.В., Савина Н.Е. Российские студенты о возможностях и ограничениях использования искусственного интеллекта в обучении // Вестник РУДН. Серия: Социология. – 2024. – № 24 (2). – С. 335–353. DOI: 10.22363/2313-2272-2024-24-2-335-353 EDN: OAUOBU

2. Кеннон, О.В., Пустошило, П.В., Иванцов, А.А. Проблема использования нейросетей и инструментов искусственного интеллекта обучающимися вузов: этический аспект. Russian Journal of Education and Psychology. – 2025. – № 16(3). С. 192–210. DOI: 10.12731/2658-4034-2025-16-3-862 EDN: UCXRNH

3. Костикова Л. П., Есенина Н. Е., Ольков А. С. Искусственный интеллект в образовательном процессе современного университета: результаты опроса студентов // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2025. – № 02. – С. 93–109. DOI: 10.24412/2304-120X-2025-11022 EDN: DFYRUS

4. Нурмухаметова В.В. Некоторые аспекты использования цифровых технологий и генеративного искусственного интеллекта в научно-исследовательской деятельности студентов / Международный форум KAZAN DIGITAL WEEK – 2025: сборник материалов / Сост.: Р.Ш. Ахмадиева, Р.Н. Минниханов; Под общей ред. член-корр. Академии наук Республики Татарстан, д-ра техн. наук, проф. Р.Н. Минниханова. – Казань: ГБУ «НЦБЖД», 2025. – С. 1556-1561. EDN: SXLDCT

5. Сысоев, П.В. Этика и ИИ-плагиат в академической среде: понимание студентами вопросов соблюдения авторской этики и проблемы плагиата в процессе взаимодействия с генеративным искусственным интеллектом // Высшее образование в России. – 2024. – Т. 33. № 2. – С. 31–53. DOI: 10.31992/0869-3617-2024-33-2-31-53 EDN: VTAIUO

ETHICAL ASPECTS OF USING NEURAL NETWORKS IN STUDENTS' RESEARCH WORK

V.V. Nurmukhametova, E.M. Khairutdinova

Kazan Innovative University named after V.G. Timiryasov,
Naberezhnye Chelny branch,
Naberezhnye Chelny, Russia

The article analyzes the ethical aspects of using emerging generative artificial intelligence in the research activities of university students. The logic behind the development of the practice of using neural networks by students is identified. The main ethical regulators are identified as the presence of a clear algorithm for using neural networks in an educational institution in the form of a regulation, the possession of digital competencies by teachers and students, and their knowledge of the basics of using neural networks in scientific work.

Keywords: neural networks, generative artificial intelligence, plagiarism, students, ethics, regulations

УДК 721.02

ИНТЕГРАЦИЯ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ В РАЗРАБОТКУ АРХИТЕКТУРНОЙ РАБОЧЕЙ ДОКУМЕНТАЦИИ: НОВЫЕ ФОРМАТЫ, ОШИБКИ И ЗОНЫ ОТВЕТСТВЕННОСТИ

А.А. Павлов, С.В. Ильвицкая

Государственный университет по землеустройству,
г. Москва, Россия

Статья посвящена анализу последствий внедрения нейросетевых моделей в процесс разработки архитектурной рабочей документации. Рассматриваются изменения форматов представления данных (от статичных спецификаций к динамическим артефактам), систематизируются типичные ошибки, возникающие при использовании генеративных нейросетей, и предлагаются подходы к перераспределению зон профессиональной ответственности между архитектором и алгоритмом.

Ключевые слова: архитектурная документация, нейросетевые модели, BIM, ответственность, качество данных.

Разработка архитектурной рабочей документации всегда была сферой, где высокая точность соседствует с творческим поиском, а цена ошибки измеряется

не только материальными затратами, но и безопасностью людей. Внедрение нейросетевых моделей, прежде всего генеративного искусственного интеллекта (GenAI), в процессы Building Information Modeling (BIM) и проектирование цифровых двойников открывает беспрецедентные возможности для ускорения рабочих процессов. Как показывают исследования, GenAI способен кардинально ускорить BIM- и цифровые двойниковые процессы, однако вероятностный характер выходных данных и уязвимость входных данных создают риски для целостности информации, которые не могут быть объяснены в рамках традиционных правил ответственности для строительного программного обеспечения. Таким образом, перед профессиональным сообществом встаёт сложная задача: как использовать мощь нейросетей, не потеряв при этом контроль над качеством и достоверностью проектной документации и не создав правовой вакуум в зонах ответственности [1].

Традиционная архитектурная документация строилась на принципах статичности: чертёж, спецификация или ведомость фиксировали проектное решение на определённый момент времени. Интеграция нейросетей фундаментально меняет этот формат. Документация перестаёт быть конечным продуктом и превращается в динамический артефакт, который может эволюционировать вместе с проектом в режиме реального времени. Нейросети способны не только генерировать новые проектные решения на основе заданных параметров, но и анализировать существующие проекты на предмет коллизий, оптимизировать конструктивные схемы и даже предлагать варианты реконструкции или реновации объектов. Однако этот переход требует пересмотра форматов представления данных. Традиционные модели описания архитектуры (такие как arc42 и C4), разработанные для детерминированного программного обеспечения, неспособны захватить вероятностное поведение, эволюцию, зависимую от данных, или двойные жизненные циклы ML/программного обеспечения. Для архитектурных BIM-систем это означает, что недостаточно просто зафиксировать результат работы нейросети – необходимо документировать сам процесс принятия решения. Метаданные о том, на каком наборе данных была обучена модель, какие именно вероятностные оценки она выдала и какие альтернативы были отклонены, становятся столь же важной частью документации, как и финальные рабочие чертежи [2].

Использование нейросетей в проектировании порождает принципиально новые классы ошибок, с которыми ранее архитекторы и инженеры не сталкивались. В первую очередь, это так называемые «галлюцинации» – генерация моделью правдоподобной, но фактически неверной информации. В контексте строительного проектирования это может принимать формы двух повторяющихся путей причинения вреда: автономная галлюцинация, проникающая в проектные данные, критичные для безопасности, или ввод ошибочных данных в контуры обратной связи цифровых двойников, способный привести к каскадным сбоям. Если традиционная ошибка проектировщика – это результат неверного расчёта или недосмотра, то ошибка нейросети часто является результатом статистической природы её работы, когда модель экстраполирует закономерности на области, где обучающих данных было недостаточно. Помимо этого, в сложных системах с несколькими взаимодействующими агентами возникает проблема «каскадного дрейфа», когда небольшое изменение в одном узле системы приводит к

масштабным сбоям на других уровнях. Помимо содержательных ошибок, существуют и формальные: нейросети могут генерировать документацию, которая внешне выглядит корректно, но не соответствует актуальным строительным нормам и правилам или содержит внутренние логические противоречия [3].

Внедрение нейросетей в архитектурное проектирование требует коренного пересмотра традиционных зон ответственности. Если в классической модели ответственность за каждый чертёж несёт конкретный проектировщик или главный инженер проекта, то в гибридной системе «человек – нейросеть» эта линия размывается. Предлагаемые исследователями подходы к пропорциональной ответственности в цифровом строительстве могут служить ориентиром. Оценка распределения ответственности должна учитывать такие факторы, как технический контроль, предсказуемость и способность к верификации [4]. Это означает, что архитектор, использующий нейросеть, обязан понимать ограничения модели и иметь инструментарий для проверки её результатов. Такой подход требует принципиально нового уровня квалификации: архитектор будущего – это не просто проектировщик, но и специалист по валидации данных, способный оценить риски, связанные с предложениями искусственного интеллекта. Анализ сильных и слабых сторон существующих репозиториев нейросетей и критериев эффективности позволяет сформировать реестр ключевых вариантов их использования, но эффективное применение глубоких нейронных сетей для решения проектных задач возможно только при условии систематизированных знаний, эвристик и правил. Поэтому выстраивание чётких контуров ответственности: за качество входных данных (инженер-проектировщик), за выбор и настройку модели (IT-специалист или внешний вендор) и за финальную валидацию проектного решения (главный архитектор) — становится критически важным условием безопасной цифровизации строительной отрасли [5].

Таким образом, интеграция нейросетевых моделей в разработку архитектурной рабочей документации представляет собой не просто технологический сдвиг, а фундаментальную трансформацию профессиональной среды. Она обещает колоссальное ускорение проектных работ и появление новых, ранее недоступных проектных решений, но одновременно ставит сложные вопросы о качестве данных, форматах представления информации и распределении ответственности. Переход от статичных спецификаций к динамическим артефактам, борьба с галлюцинациями и каскадным дрейфом, а также переосмысление ролей архитектора и проектировщика в мире алгоритмов – эти вызовы должны быть осмыслены не только на уровне профессиональной этики, но и в правовом поле.

Список использованных источников

1. Симакова А.А. Архитектурная визуализация с помощью нейросетей // Шаг в науку. 2025. №4. С. 50-55.

2. Павлов А. А., Ильвицкая С. В. Вариативные модели интеграции искусственного интеллекта на стадиях архитектурного проектирования // Актуальные исследования. 2025. №26 (261). Ч.I. С. 38-41.

3. Добрякова, Ю. А. К вопросу об использовании генеративного искусственного интеллекта в архитектуре и дизайне / Ю. А. Добрякова. Текст: непосредственный // Молодой ученый. 2025. № 10 (561). С. 27-29.

4. Сергиенко, С. А. Критический взгляд на использование нейронных сетей в архитектурном проектировании / С. А. Сергиенко, А. С. Пыжова. Текст: непосредственный // Молодой ученый. 2025. № 21 (572). С. 116-120.

5. Ахунзянов, А. Ф. Генеративное проектирование: история, преимущества и ограничения в области архитектуры / А. Ф. Ахунзянов. Текст : непосредственный // Молодой ученый. 2024. № 19 (518). С. 38-40.

INTEGRATION OF NEURAL NETWORK MODELS INTO DEVELOPMENT ARCHITECTURAL WORKING DOCUMENTATION: NEW FORMATS, ERRORS AND AREAS OF RESPONSIBILITY

A.A. Pavlov, S.V. Ilvitskaya

State University of Land Management,
Moscow, Russia

The article is devoted to the analysis of the consequences of the introduction of neural network models in the process of developing architectural working documentation. Changes in data representation formats (from static specifications to dynamic artifacts) are considered, typical errors that occur when using generative neural networks are systematized, and approaches to redistributing areas of professional responsibility between the architect and the algorithm are proposed.

Keywords: architectural documentation, neural network models, BIM, responsibility, data quality.

УДК 681.5:004.032.26

ЗНАЧЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Д.С. Пискунов

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева,
г. Казань, Россия

В статье рассматривается роль нейросетевых технологий в построении и совершенствовании современных систем автоматического регулирования (АСР). Проанализирована классификация систем управления по типу используемого математического аппарата – классического, основанного на нечёткой логике, и нейросетевого. Рассмотрены теоретические основы синтеза нейросетевых систем управления нелинейными динамическими объектами, а также прикладные результаты применения рекуррентных искусственных нейронных сетей в качестве регуляторов двухконтурных АСР. Показано, что нейросетевые регуляторы демонстрируют преимущества по показателям качества регулирования применительно к объектам с самовыравниванием, однако для объектов без самовыравнивания их эффективность сопоставима с традиционными схемами. Обозначены

проблемы, ограничивающие широкое внедрение нейросетевых технологий в критически важных задачах управления.

Ключевые слова: нейронные сети, автоматическое регулирование, нейрорегулятор, искусственный интеллект, системы управления, адаптивное управление, рекуррентная нейронная сеть.

В последние десятилетия наблюдается устойчивый рост интереса к применению технологий искусственного интеллекта, и в частности искусственных нейронных сетей (ИНС), в задачах автоматизации производственных и технологических процессов. Среди множества прикладных задач, решаемых с помощью нейронных сетей – распознавания образов, классификации, прогнозирования, – управление признаётся одной из наиболее сложных, поскольку его решение зачастую требует одновременного решения и других перечисленных задач [1].

Существующие сегодня системы автоматического управления принято подразделять на три группы: классические системы, построенные на основе теории автоматического управления с применением традиционных математических методов обработки данных; системы, основанные на нечёткой логике и экспертных подходах; и системы, ядром которых являются генетические алгоритмы и искусственные нейронные сети [1]. Достоинствами нейросетевого подхода к регулированию считаются отсутствие принципиальных ограничений на линейность объекта управления, возможность работы в реальном времени после завершения этапа обучения, устойчивость к шумам измерительных каналов и более высокая адаптивность к реально складывающимся условиям эксплуатации по сравнению с жёстко настроенными классическими регуляторами [1].

Теоретическую базу синтеза нейросетевых систем управления составляют методы построения и обучения многослойных нейронных сетей применительно к нелинейным динамическим объектам. В работе В.А. Терехова, Д.В. Ефимова и И.Ю. Тюкина изложены базовые функциональные структуры нейросетевых динамических систем управления и идентификации состояния объекта, рассмотрены алгоритмы обучения многослойных сетей в реальном времени и вопросы устойчивости процессов обучения на основе второго метода Ляпунова, а также приведены примеры структурного и синергетического синтеза нейросетевых систем управления многосвязными нелинейными объектами [2]. Такой подход позволяет использовать многослойный персептрон в роли нелинейного регулятора, синтез которого строится по единой методологии независимо от конкретной физической природы объекта управления [2].

Практическая эффективность нейросетевого регулирования подтверждается прикладными исследованиями. И.Ю. Казьмирук, В.Р. Сабанин и Д.А. Дементьев исследовали применение динамической рекуррентной искусственной нейронной сети в качестве единственного регулятора двухконтурной автоматической системы регулирования на примере двух энергетических объектов теплоэнергетики – температуры перегретого пара на выходе котла и уровня воды в барабане котла [3]. В отличие от классических двухконтурных схем – каскадной АСР и АСР с дифференциатором, – на вход нейрорегулятора одновременно

поступают ошибки регулирования по основному и вспомогательному контурам, а на выходе формируется единое регулирующее воздействие [3].

В результате экспериментов было установлено, что для объекта с сильным самовыравниванием (температура перегретого пара) наилучшее качество регулирования обеспечивает рекуррентная нейронная сеть с одной обратной связью, причём минимально достаточной оказалась топология из шести нейронов – одного скрытого слоя с тремя нейронами [3]. Для объекта без самовыравнивания (уровень воды в барабане) обучить рекуррентную сеть не удалось; наиболее эффективной оказалась топология модифицированного персептрона с дополнительными связями от входных нейронов непосредственно к выходному [3]. Сравнение показало, что для объекта с самовыравниванием качество работы АСР с нейрорегулятором существенно превосходит традиционную схему с дифференциатором, тогда как для объекта без самовыравнивания результаты обеих схем оказались сопоставимы [3]. При этом учёт реальных характеристик исполнительного механизма и широтно-импульсного модулятора подтвердил техническую реализуемость нейросетевого регулятора без чрезмерно частых переключений исполнительного механизма [3].

Наряду с очевидными преимуществами применение нейросетевых технологий в контуре автоматического регулирования сопряжено с рядом трудностей. Основной из них является потенциальная ненадёжность искусственных нейронных сетей, которые могут давать неточный результат даже в штатных условиях эксплуатации [1]. По этой причине для критически важных задач управления нейросетевые алгоритмы, как правило, дублируются традиционными системами регулирования, а перспективным направлением развития интеллектуального управления признаётся именно сочетание классических методов теории автоматического управления с нейросетевыми компонентами [1].

Таким образом, значение нейросетевых технологий в современных системах автоматического регулирования определяется их способностью обеспечивать управление нелинейными объектами без построения точной математической модели, адаптироваться к изменяющимся условиям эксплуатации и работать в условиях зашумлённых измерений. Вместе с тем эффективность нейрорегуляторов существенно зависит от динамических свойств объекта управления, а их внедрение в критически важные контуры регулирования требует комплексного подхода, сочетающего нейросетевые и традиционные методы теории автоматического управления.

Список использованных источников

1. Лисовский А.Л. Применение нейросетевых технологий для разработки систем управления // Стратегические решения и риск-менеджмент. – 2020. – Т. 11, № 4. – С. 378–389. DOI: 10.17747/2618-947X-923.

2. Терехов В.А., Ефимов Д.В., Тюкин И.Ю. Нейросетевые системы управления: учеб. пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 2002. – 183 с. – ISBN 5-06-004094-1.

3. Казьмирук И.Ю., Сабанин В.Р., Дементьев Д.А. Применение нейронных сетей в качестве регулятора в двухконтурных системах автоматического регулирования // Молодой учёный. – 2019. – № 4 (242). – С. 91–96.

THE SIGNIFICANCE OF NEURAL NETWORK TECHNOLOGIES IN MODERN AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS

D.S. Piskunov

Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev, Kazan, Russia

The article examines the role of neural network technologies in the design and improvement of modern automatic control systems (ACS). The classification of control systems by the type of mathematical apparatus used – classical, fuzzy-logic-based, and neural-network-based – is analyzed. The theoretical foundations of designing neural-network control systems for nonlinear dynamic objects are considered, along with applied results of using recurrent artificial neural networks as controllers in two-loop ACS. It is shown that neural controllers demonstrate advantages in control quality for self-regulating objects, while for non-self-regulating objects their efficiency is comparable to traditional schemes. Problems limiting the wide implementation of neural network technologies in safety-critical control tasks are outlined.

Keywords: neural networks, automatic control, neuro-controller, artificial intelligence, control systems, adaptive control, recurrent neural network.

УДК 681.3.06

РАЗРАБОТКА МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ЦИФРОВОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Д.С. Пискунов

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева, г. Казань, Россия

В последние десятилетия системы автоматического управления всё активнее переходят от классических аналоговых решений к цифровым. Это связано с развитием микропроцессорной техники, ростом вычислительных возможностей и доступностью средств моделирования. Цифровые автоматические системы (ЦАС) позволяют реализовывать сложные и гибкие алгоритмы управления, повышать точность, устойчивость и надёжность работы оборудования.

Одним из наиболее распространённых объектов автоматизации остаётся двигатель постоянного тока (ДПТ). Системы регулирования скорости таких двигателей часто применяются как базовый пример при изучении теории автоматического управления и микропроцессорных систем. Переход к цифровым

средствам управления в этой области позволяет не только повысить качество регулирования, но и на практике отработать принципы построения современных ЦАС.

Цель работы заключается в разработке и моделировании цифровой автоматической системы регулирования скорости двигателя постоянного тока, обеспечивающей заданные показатели качества переходных процессов.

Ключевые слова: цифровая автоматическая система, микропроцессор 8086, двигателя постоянного тока, система «генератор-двигатель», дискретное корректирующее устройство, Proteus.

Цифровая автоматическая система (ЦАС) представляет собой замкнутую систему управления, в которой обработка сигналов и выработка управляющего воздействия выполняются цифровым вычислительным устройством- микропроцессорной системой. Она включает в себя непрерывную часть (объект управления, датчики, исполнительные органы) и цифровую часть, состоящую из микропроцессорной системы, аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и цифро-аналогового преобразователя (ЦАП).

Выходной сигнал ОУ – Y(t) с выхода датчика Д поступает на вход АЦП, на цифровых выводах которого формируется код N(y), пропорциональный сигналу Y(t), который через порт ввода 1 поступает в МПС. Код N(u), определяющий задающее воздействие, поступает в МПС через порт ввода 2. Средствами программного обеспечения (ПО) производится вычисления кода сигнала ошибки N(e):

$$N(e) = N(y) - N(u) \quad (1)$$

Объектом управления является система регулирования скорости двигателя постоянного тока типа «генератор-двигатель».

Передаточная функция разомкнутой системы определяется как произведение передаточных функций всех звеньев прямого канала и цепи обратной связи:

$$W_{\text{раз}}(p) = W_{\text{ду}}(p)W_{\text{у}}(p)W_{\text{эму}}(p)W_{\text{г}}(p)W_{\text{дв}}(p)W_{\text{тг}}(p) = \frac{k_{\text{раз}}(T_1 p + 1)}{(T_{\text{в}} p + 1)(T_{\text{к}} p + 1)(T_{\text{вг}} p + 1)(T_{\text{дв}} p + 1)} \quad (2)$$

где $k_{\text{раз}} = k_{\text{фц}} k_{\text{у}} k_{\text{эму}} k_{\text{г}} k_{\text{дв}} k_{\text{тг}} = 0,01 * 108 * 62,71 * 2,12 * 0,13 * 0,764 \approx 14,26$.

На рисунке 1 представлены ЛАХ и ЛФХ разомкнутой системы, полученные в Proteus. На ЛАХ отчётливо видны точки излома, соответствующие постоянным времени звеньев. Частота среза составляет примерно 0.85 Гц (5.34 рад/с). На этой частоте запас по фазе равен $\varphi_з \approx -145^\circ - (-180^\circ) = 35^\circ$. Пересечение фазовой характеристики уровня -180° происходит на частоте около 1.3 Гц (8.16 рад/с), при этом ЛАХ на этой частоте имеет значение около $+9.3$ дБ, что соответствует запасу по амплитуде более 1 дБ. Система находится вблизи границы устойчивости. На рисунке 3 таккже приведён переходной процесс замкнутой системы, полученный в Proteus. Можно заметить, что время регулирования составляет около 2.5 с, перерегулирование – примерно 50%. Следовательно, система требует коррекции.

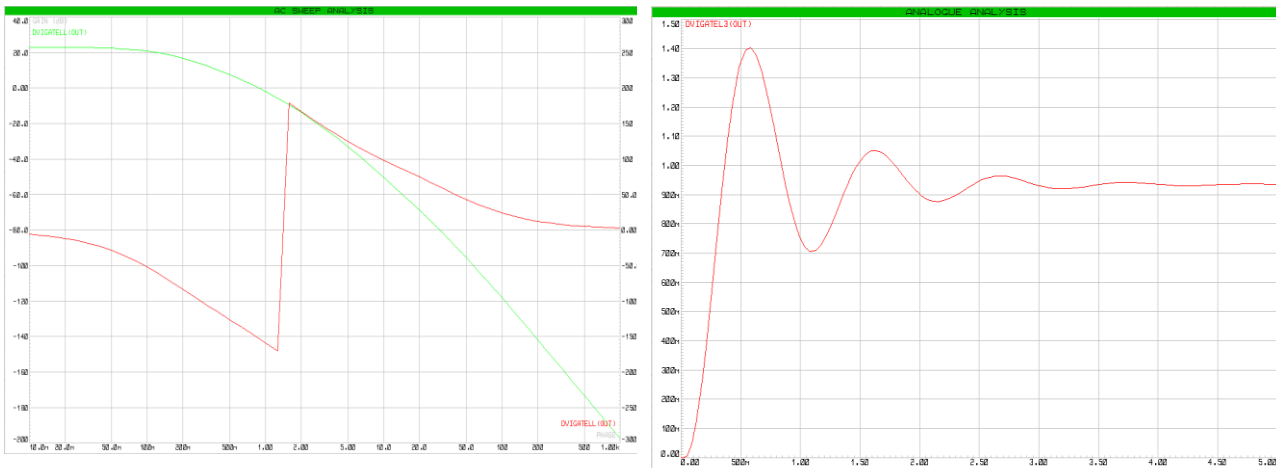


Рисунок 1 – Графики системы без коррекции

В результате синтеза, было получено дискретное корректирующее устройство. Его передаточная функция в z-области имеет следующий вид (при периоде дискретизации $T_0 = 0.04$ с):

$$W_K(z) = \frac{8{,}578\ (z-0{,}952)\ (z-0{,}9327)\ (z-0{,}9001)\ (z-0{,}7408)(z-0{,}3012)(z-0{,}2347)}{((z-0{,}9589)\ \wedge\ 2)\ (z-0{,}8607)\ (z+0{,}3794)(z+0{,}1793)\ z} \quad (3)$$

На рисунке 2 приведён переходной процесс замкнутой системы с дискретным корректирующем устройством, полученный в Proteus. Время регулирования процесса составляет 1.71с, перерегулирование – примерно 25%, период дискретности T0 = 0,04 с.

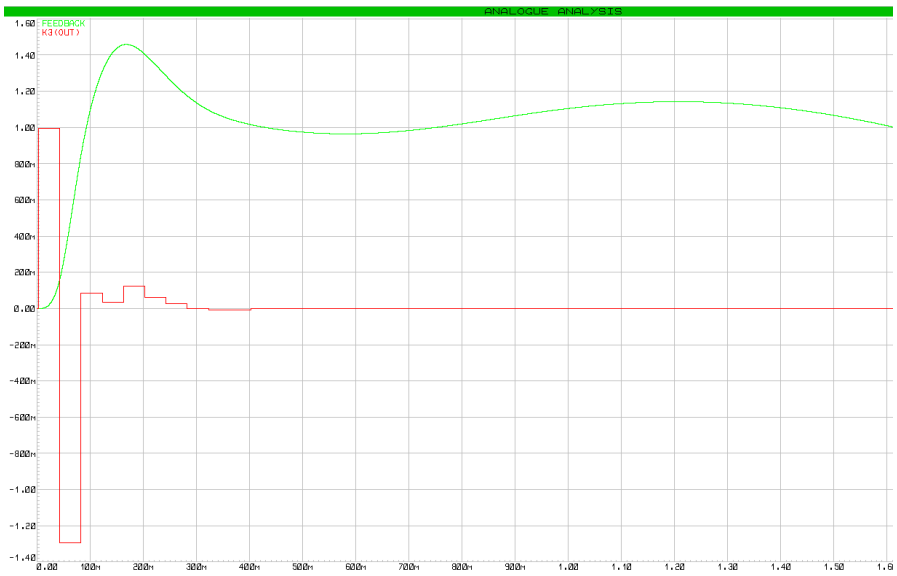


Рисунок 2 – Переходный процесс замкнутой системы после коррекции

В ходе выполнения работы разработана цифровая автоматическая система регулирования скорости двигателя постоянного тока на базе микропроцессора 8086. Система смоделирована в среде Proteus и показала выполнение требований технического задания: время регулирования – 1,71 с, перерегулирование – 25%.

Разработаны структурная и принципиальная схемы, алгоритмы функционирования и программа на языке Assembler 8086, реализующая дискретное корректирующее устройство, опрос органов управления и вывод информации на индикацию.

Полученные результаты могут быть использованы в учебном процессе при изучении дисциплин, связанных с автоматикой и микропроцессорными системами управления, а также в качестве основы для дальнейшего усложнения системы и перехода к современным микроконтроллерным платформам.

Список использованных источников

1. Бесекерский, В. А. Теория систем автоматического управления / В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. – 4-е изд., перераб. и доп. – Санкт-Петербург : Профессия, 2003. – 752 с.

2. Ключев, В. И. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов : учебник для вузов / В. И. Ключев, В. М. Терехов. – Москва : Энергия, 1980. – 360 с.

3. Анучин, А. С. Системы управления электроприводами : учебник для вузов / А. С. Анучин. – Москва : Издательский дом МЭИ, 2015. – 373 с.

DEVELOPMENT OF A MICROPROCESSOR-BASED DIGITAL AUTOMATIC SPEED CONTROL SYSTEM FOR A DC MOTOR

D.S. Piskunov

Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev, Kazan, Russia

In recent decades, automatic control systems have been increasingly transitioning from classical analog solutions to digital ones. This trend is driven by the development of microprocessor technology, growing computational capabilities, and the availability of modeling tools. Digital automatic control systems (DACS) enable the implementation of complex and flexible control algorithms, improving the accuracy, stability, and reliability of equipment operation.

One of the most common automation objects remains the DC motor (DCM). Speed control systems for such motors are often used as a basic example in studying the theory of automatic control and microprocessor-based systems. The shift to digital control solutions in this area not only improves the quality of regulation but also provides a practical way to master the principles of designing modern DACS.

The aim of the work is to develop and simulate a digital automatic speed control system for a DC motor that ensures the specified quality indicators of transient processes.

Keywords: digital automatic control system, 8086 microprocessor, DC motor, generator–motor system, discrete correcting device, Proteus.

УДК 681.3.06.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ

Д.С. Пискунов

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева, г. Казань, Россия

В статье рассматривается практический синтез системы автоматического регулирования скорости. На основе структурной схемы замкнутой системы получена передаточная функция разомкнутого контура, что позволило провести анализ устойчивости и качества регулирования. С целью обеспечения требуемых динамических показателей разработано корректирующее звено, реализованное в виде аналоговой электрической схемы на операционных усилителях. Представлены этапы преобразования математической модели в схемотехническое решение, приведена передаточная функция скорректированной системы. Результаты работы демонстрируют инженерную методику перехода от абстрактной теории управления к реальному аппаратному воплощению, что может быть полезно при проектировании регуляторов скорости электроприводов.

Ключевые слова: САУ, передаточная функция, электрическая схема, корректирующее звено, цепь.

На принципиальной схеме силовой САУ рисунок 1а приняты следующие обозначения: Д – двигатель; Г – генератор; ЭМУ – электромашинный усилитель; ТГ – тахогенератор; ЭУ – электронный усилитель. Для удобства в качестве промежуточных переменных на схемах вместо фактических напряжений приняты ЭДС выходных сигналов электронного усилителя $e_{\text{у}}$, генератора $e_{\text{г}}$, электромашинного усилителя $e_{\text{эму}}$. При этом выходное сопротивление электронного усилителя, сопротивление якоря генератора вынесено во внешнюю цепь.

По структурной схеме рисунок 1б составляется передаточная функция разомкнутой системы:

$$W_{\text{раз}}(p)=W_{\text{ду}}(p)W_{\text{у}}(p)W_{\text{эму}}(p)W_{\text{г}}(p)W_{\text{дв}}(p)W_{\text{тг}}(p)=\frac{k_{\text{раз}}(T_1p+1)}{(T_{\text{в}}p+1)(T_{\text{к}}p+1)(T_{\text{вг}}p+1)(T_{\text{дв}}p+1)},$$

где $k_{\text{раз}}=k_{\text{фц}}k_{\text{у}}k_{\text{эму}}k_{\text{г}}k_{\text{дв}}k_{\text{тг}}=0,01*62,71*2,12*0,13*0,764*k_{\text{у}}\approx 0,13k_{\text{у}}$, $T_1=0.4сек$, $T_{\text{в}}=0,05сек$, $T_{\text{к}}=0,2сек$ $T_{\text{вг}}\approx 1,22сек$, $T_{\text{дв}}\approx 0,57сек$.

По передаточной функции $W_K^*(p)$ составим электрическую схему корректирующего устройства. Для этого сначала перепишем ее в стандартном виде с учетом новых обозначений постоянных времени $T_1>T_2>T_3>T_4>T_5>T_6>T_7$:

$$W_{\kappa}(p)=\frac{(T_2p+1)\ (T_3p+1)(T_5p+1)(T_6p+1)}{(T_1p+1)(T_4p+1)(T_7p+1)^2},$$

где $T_1 = 1/0{,}7$, $T_2 = 1/1{,}15$, $T_3 = 1/1.754$, $T_4 = 1/2.5$, $T_5 = 1/5$, $T_6 = 1/20$, $T_7 = 1/20.5$.

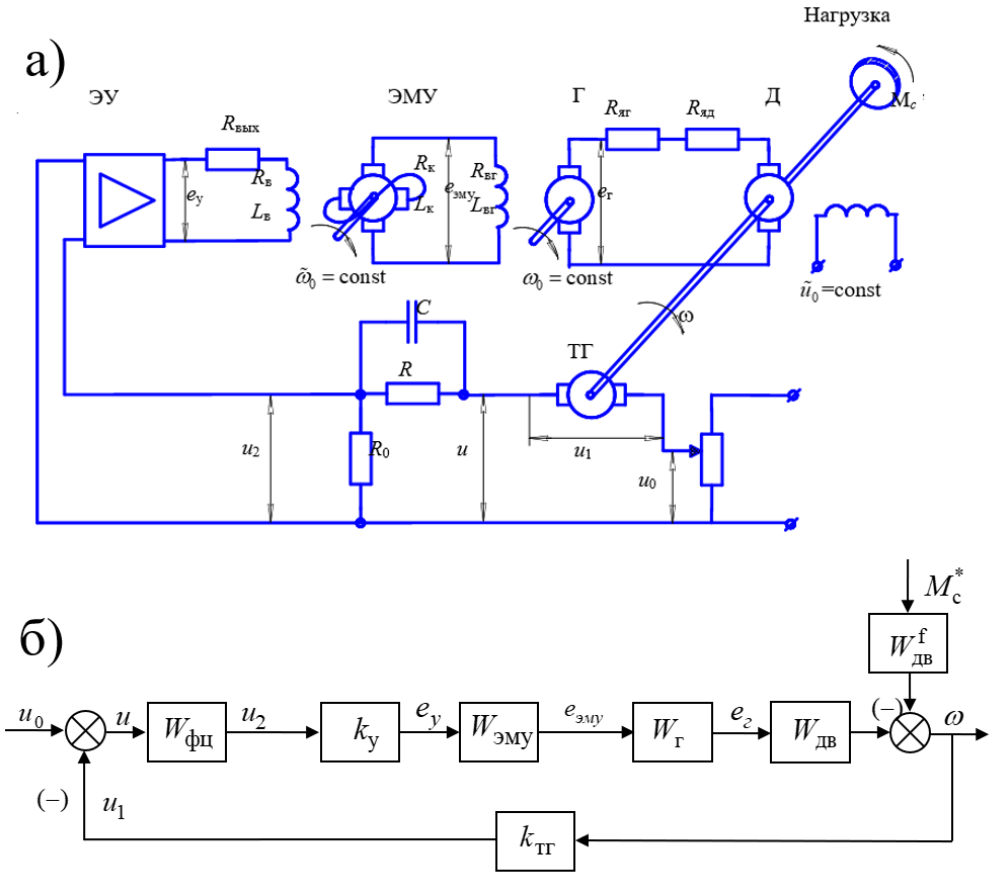


Рисунок 1 – Схема САУ: а) Принципиальная; б) Структурная

Представим $W_к(p)$ в виде произведения четырех передаточных функций типовых корректирующих цепей:

$$W_K^*(p) = \frac{T_2 p + 1}{T_1 p + 1} \cdot \frac{T_5 p + 1}{T_4 p + 1} \cdot \frac{T_3 p + 1}{T_7 p + 1} \cdot \frac{T_6 p + 1}{T_7 p + 1}.$$

Поскольку $T_1 > T_2$, $T_1 > T_3$, то первым двум передаточным функциям будут соответствовать пассивные интегрирующие цепочки, разделенные повторителем напряжения для исключения взаимного влияния цепей, в результате которого изменяется общая передаточная функция. Учитывая, что $T_4 > T_6$, $T_5 > T_6$, последним двум передаточным функциям будут соответствовать активные дифференцирующие цепи.

По известным значениям постоянных времени, задаваясь величиной емкости $C = 0{,}1$ мкФ, найдем величины:

первый каскад:

$$R_1 = \frac{T_1 - T_3}{C} = \frac{1{,}43 - 0{,}57}{0{,}1 \cdot 10^{-6}} = 8{,}6 \text{ Мом}$$

$$R_2 = \frac{T_3}{C} = \frac{0,57}{0,1 \cdot 10^{-6}} = 5,7$$ Мом

второй каскад

$$R_3 = \frac{T_2 - T_4}{C} = \frac{0,87 - 0,4}{0,1 \cdot 10^{-6}} = 4,7$$ Мом

$$R_4 = \frac{T_4}{C} = \frac{0,4}{0,1 \cdot 10^{-6}} = 4$$ Мом

третий каскад

$$R_5 = \frac{T_5 - T_7}{C} = \frac{0,2 - 0,0487}{0,1 \cdot 10^{-6}} = 1,513$$ Мом

$$R_6 = \frac{T_7}{C} = \frac{0,0487}{0,1 \cdot 10^{-6}} = 0,487$$ Мом

четвертый каскад

$$R_7 = \frac{T_6 - T_7}{C} = \frac{0,05 - 0,0487}{0,1 \cdot 10^{-6}} = 0,013$$ Мом

$$R_8 = \frac{T_7}{C} = \frac{1/20,5}{0,1 \cdot 10^{-6}} = 0,487$$ Мом

Электрическая схема корректирующего звена представлена на рисунке 2.

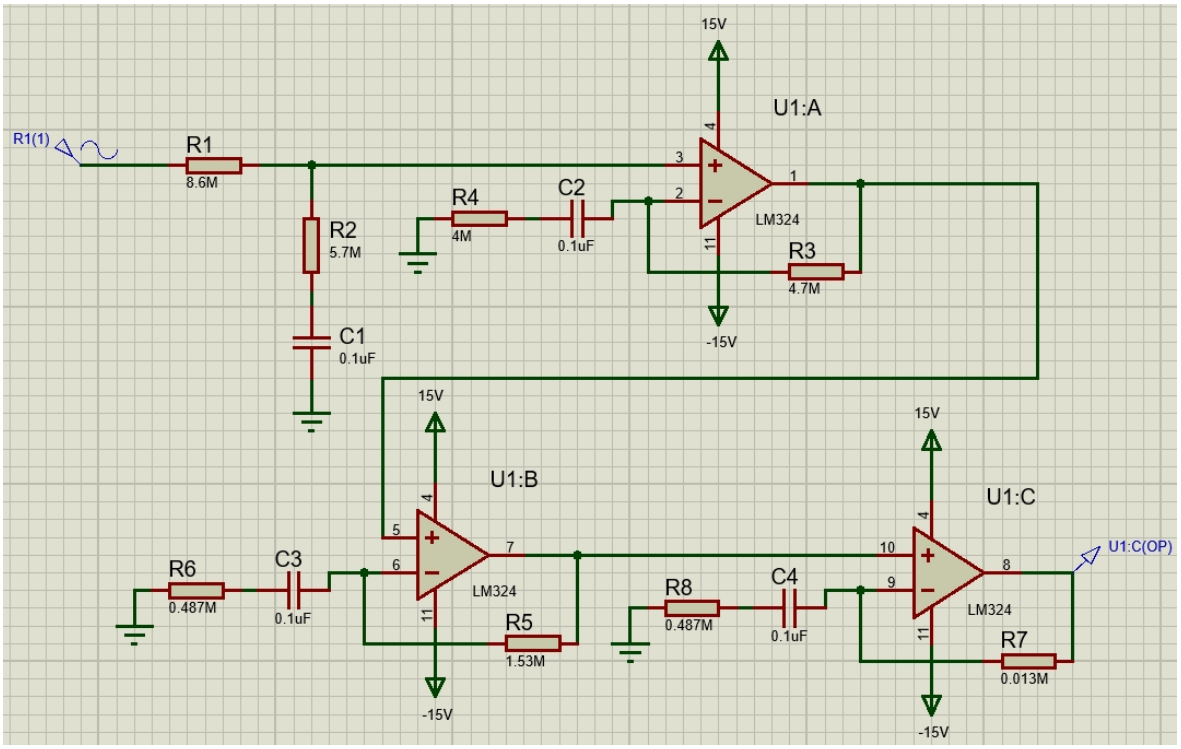


Рисунок 2 – Электрическая схема корректирующего звена

Список использованных источников

Список использованных источников

1. Бесекерский, В. А. Теория систем автоматического управления / В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. – 4-е изд., перераб. и доп. – Санкт-Петербург : Профессия, 2003. – 752 с.

2. Ключев, В. И. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов : учебник для вузов / В. И. Ключев, В. М. Терехов. – Москва : Энергия, 1980. – 360 с.

3. Анучин, А. С. Системы управления электроприводами : учебник для вузов / А. С. Анучин. – Москва : Издательский дом МЭИ, 2015. – 373 с.

DEVELOPMENT OF A SPEED CONTROL SYSTEM

D. S. Piskunov

Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev, Kazan, Russia

The paper considers the practical synthesis of an automatic speed control system. Based on the block diagram of the closed-loop system, the open-loop transfer function is obtained, which allows analyzing the stability and control quality. In order to ensure the required dynamic performance, a compensating (correcting) element is developed and implemented as an analog electrical circuit using operational amplifiers. The stages of converting the mathematical model into a circuit design solution are presented, and the transfer function of the corrected system is given. The results of the work demonstrate an engineering methodology for transitioning from abstract control theory to real hardware implementation, which can be useful in the design of speed regulators for electric drives.

Keywords: automatic control system (ACS), transfer function, electrical schematic, compensating network, circuit.

УДК 004.73

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНФОКОММУНИКАЦИЙ В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

Ю.В. Редькин, Р.А. Яковлев

Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, г. Новороссийск, Россия

Рассмотрен способ организации резервного канала передачи данных, основанный на использовании ячеистой сети ISM диапазона – Meshtastic. Представлены преимущества ее применения и указаны основные проблемы развертывания сети в городских условиях. Описаны способы расширения зоны охвата сети и повышения стабильности ее работы. Отмечено, что при правильной

организации сеть Meshtastic способна обеспечить независимый канал передачи данных, функционирующий даже в условиях полного блэкаута.

Ключевые слова: ячеистая сеть, Meshtastic, LoRa, частотный диапазон, зона охвата сети.

В эпоху повсеместной цифровизации и зависимости от централизованных операторов интернета и сотовой связи, неустойчивость работы линий коммуникаций при возникновении чрезвычайных ситуаций или отдалении от городской инфраструктуры ощущается особенно остро. В этих случаях можно использовать альтернативные системы связи, работающие независимо от существующих сетей беспроводной передачи данных в диапазоне ISM (Industrial, Scientific, Medical). Этот диапазон волн специально предназначен для организации связи между устройствами небольшой мощности без их лицензирования. Ограниченная выходная мощность устройств предполагает их небольшой радиус действия, поэтому уже продолжительное время проводятся исследования способов увеличения дальности связи в этом диапазоне волн, в частности, путем организации mesh-сетей [1, 2].

В настоящее время существует ряд проектов построения автономной сети передачи данных, использующих преимущества mesh-сетей: Meshcore, Reticulum, goTenna, Beartooth и Bluetooth LE [3, 4]. Одним из удачных проектов ISM диапазона волн, является сеть Meshtastic, основанная на принципах децентрализации и энергоэффективности [5]. Радиомодули данной сети динамически формируют ячеистую топологию (Mesh Network) с целью маршрутизации передаваемых пакетов. Эта адаптивная структура активируется по мере необходимости, что позволяет оптимизировать энергопотребление ее узлов и гарантировать доставку данных до самых отдаленных узлов сети. Применение устройств сети не предполагает лицензирования, а защищенные каналы обеспечивают передачу текстовых сообщений и геоданных. Благодаря этим особенностям, сеть Meshtastic, позволяет решать часть проблем, возникающих вследствие отсутствия сотовой связи и Wi-Fi.

С технической точки зрения Meshtastic – это децентрализованная ячеистая сеть, работающая на базе радиомодулей Long Range (LoRa) и управляющих ими контроллеров ESP32/NRF52, которые отвечают за логику передачи пакетов, управление радиомодулем и связь с устройством пользователя (смартфоном или планшетом) (рисунок 1).

В отличие от традиционных сетей, в которых все клиентские устройства подключаются к центральной точке доступа, в сети Meshtastic каждое устройство является одновременно и клиентом и ретранслятором. Как следствие, сеть не имеет единой точки отказа и способна самовосстанавливаться в случае сбоя в работе или выходе из строя части ее узлов.



Рисунок 1 – Комплект оборудования узла Meshtastic (смартфон, радиомодуль с OLED дисплеем, аккумулятор, внешняя антенна, ремешок для переноски)

Программная часть модуля включает открытую прошивку для микроконтроллера ESP32/NRF52 (реализующую mesh-логику, маршрутизацию и шифрование), клиентское приложение, устанавливаемое на конечное устройство (смартфон или планшет) и интерфейс связи с пользовательским устройством. Интерфейс (Bluetooth или USB) обеспечивает канал для обмена сообщениями и конфигурирования узла, а также передачу обновлений карты местности с отметками других узлов сети.

Мобильное приложение, установленное на смартфоне или планшете, выступает в роли пользовательского интерфейса. Существует также клиентское приложение для персональных компьютеров, использующее веб-интерфейс в браузере. Интерфейс приложения Meshtastic удобный и интуитивно понятный (рисунок 2). Он позволяет отправлять и получать сообщения, видеть маршруты передачи сообщений и топологию сети, отслеживать координаты и перемещение пользователей, а также конфигурировать радиомодуль узла.

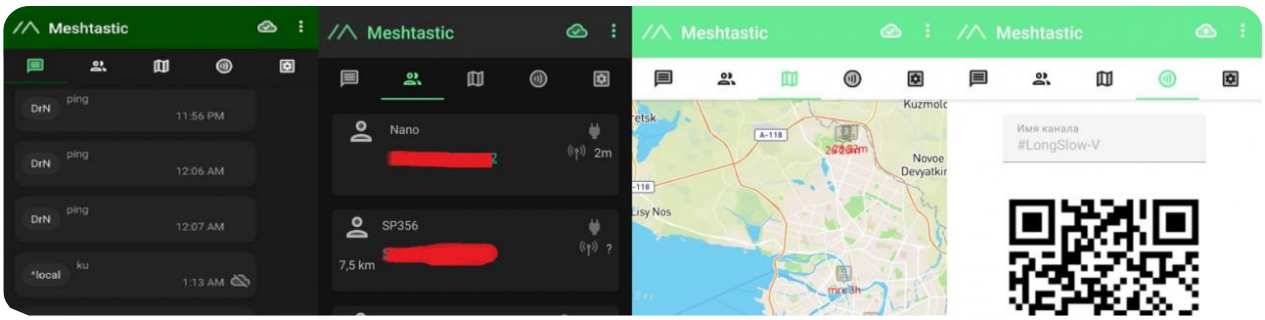


Рисунок 2 – Мобильное приложение с картой города

Уникальность сети Meshtastic заключается в том, что для своей работы она не требует наличия активных смартфонов: даже если телефоны выключены, сеть продолжает функционировать, пока радиомодули, составляющих основу радиосети, получают электропитание (от электросети, аккумуляторных или солнечных батарей).

Ключевая технология, используемая радиомодулем узла сети для передачи данных по сети, это LoRa. Используя модуляцию CSS (Chirp Spread Spectrum), технология передает данные в узкой полосе частот (125 кГц вместо 20 МГц у технологии IEEE 802.11 – Wi-Fi), что обеспечивает высокую помехоустойчивость и большую дальность связи. Реальная скорость передачи данных по сети в городских условиях невелика (0.3–5 Кбит/с) и характеризуется большими задержками в доставке сообщений, но достаточна для передачи текста и координат узла. При этом потребление энергии радиомодулем составляет не более 100 мВт в режиме передачи, что позволяет устройствам работать долгое время от аккумуляторных батарей без их подзарядки. Благодаря этим особенностям технологии LoRa находит широкое применение: от домашней автоматизации и интернета вещей (Internet of Things, IoT) до промышленного производства, транспорта, ритейла и умных городов (Smart City) [6].

Хотя на открытой местности дальность связи достигает 10–15 км, городская среда вносит серьезные коррективы в работу Meshtastic – в условиях плотной городской застройки один шлюз покрывает область радиусом 0,5-3 км. Анализ особенностей распространения сигнала сети и источников помех в городской среде позволяет выделить следующие ключевые проблемы.

Физические препятствия: железобетонные стены зданий ослабляют сигнал на 10–15 дБ, делая связь внутри помещений крайне нестабильной; эффект «городского каньона» (узкие улицы между высотными зданиями) приводит к многократным переотражениям сигналов, создавая «мертвые зоны».

Электромагнитный шум и помехи: плотная городская застройка насыщена помехами от бытовой техники (микроволновые печи, радионяни), промышленных систем, а также от «умных» счетчиков и сетей LPWAN (Sigfox, LTE/5G) работающих на соседних частотах, что приводит к потерям пакетов, и, как следствие, снижению скорости передачи данных.

Регуляторные ограничения: число частотных каналов, выделяемых регуляторными органами в ISM диапазоне, крайне ограничено (например, в Европе использование диапазона 868 МГц для Meshtastic ограничено только одним каналом передачи); вследствие этого при наличии нескольких сетей в одном районе возникает проблема их частотной совместимости.

Для снижения нагрузки на сеть узел Meshtastic вначале пытается передать сообщение наиболее удаленному от него узлу, используя мощность принимаемого сигнала как меру расстояния до этого узла. Кроме того, при повторном приеме пакета узел не ретранслируют его, что также снижает нагрузку на сеть. Чтобы расширить зону покрытия сети, можно использовать ряд технических и организационных приемов: устанавливать модули Meshtastic на высоких точках (на балконах и крышах многоэтажных зданий, деревьях и мачтах); использовать внешние направленные антенны, имеющих большой коэффициент усиления и

позволяющих установить связь с мощной базой ретранслятора или ключевого узла; обеспечивать прямую видимость между антенными устройствами узлов; увеличивать число «прыжков» между узлами сети (по умолчанию обычно используется 3-5 «прыжков»); минимизировать радиопомехи от других устройств, работающих в том же или соседнем диапазоне волн; использовать источники бесперебойного питания (UPS) или автономные источники питания с подзарядкой от солнечных батарей, позволяющие обеспечить непрерывную работу стационарных узлов сети даже в удаленных районах.

Несмотря на указанные сложности в организации работы сети, Meshtastic активно внедряется в городских и пригородных проектах как решение для обеспечения «устойчивой коммуникации». Так, Meshtastic используют для создания сетей контроля датчиков и систем оповещения, требующих передачи данных на большие расстояниях в разнообразных областях, включая экологический мониторинг, транспорт, здравоохранение. Как показывает практика, особенно эффективна централизованная организация сети Meshtastic на уровне муниципалитетов с использованием общественных высотных зданий, сооружений и мачт для установки антенн опорных узлов сети. Такое решение обеспечивает надежную альтернативную связь в городской среде в случае возникновения нештатных ситуаций (пожар, наводнение, ураган).

В тоже время, Meshtastic не является полноценной заменой сотовой связи и Wi-Fi по скорости передачи и задержке в доставке данных. Главное достоинство сети Meshtastic – ее полная автономность: она способна обеспечивать физически независимый канал связи, когда прочие виды связи оказываются недоступны, и может оказаться единственным способом связи, функционирующим в данных ситуациях даже в условиях полного блэкаута.

Список использованных источников

1. Батлер, П. Интеллектуальный модем для надежной беспроводной передачи данных в ISM диапазонах (433 МГц, 868 МГц и 902 МГц) / П. Батлер, А. Сотников, О. Харни // Беспроводные технологии. – 2008. – № 2(11). – С. 32-35. – EDN MTGBTH.

2. Redkin, Y. V. Monitoring system of distributed objects based in low-frequency ISM band / Y. V. Redkin // American Journal of Control Systems and Information Technology. – 2013. – Vol. 1, No. 1. – P. 10-12. – EDN QTUAJZ.

3. Bensky, Alan. Short-range Wireless Communication, 3rd Edition / Alan Bensky. – Cambridge: Elsevier, 2019. – 634 p.

4. Особенности реализации mesh-сети Bluetooth LE на платформе Arduino / Ю. В. Редькин, В. П. Бушланов, В. А. Ятченко [и др.] // Эксплуатация морского транспорта. – 2025. – № 1(114). – С. 172-178. – EDN ECNYBK.

5. Официальный сайт проекта Meshtastic. – URL: https://meshtastic.org/ (дата обращения: 11.07.2026).

6. LoRa Alliance RU – официальный сайт – URL: https://lora-alliance.ru/ (дата обращения: 11.07.2026).

ENSURING INFOCOMMUNICATIONS IN DENSE URBAN CONDITIONS

Y.V. Redkin, R.A. Yakovlev

Admiral Ushakov Maritime State University,
Novorossiysk, Russia

This article examines a method for establishing a backup data transmission channel based on the use of a Meshtastic ISM mesh network. The advantages of its application are presented and the main problems of network deployment in urban conditions are indicated. Methods for expanding network coverage and improving its stability are described. It is noted that, when properly configured, a Meshtastic network can provide an independent data transmission channel that functions even during a complete blackout.

Keywords: mesh network, Meshtastic, LoRa, frequency range, network coverage area.

УДК 004.8:004.912

ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ВЫЧИСЛЕНИЙ НА СТРОКОВЫХ ЗАПРОСАХ

Н.А. Ржавин

Смоленский государственный университет,
г. Смоленск, Россия

В статье обсуждаются способы обработки строковых запросов и зачем это нужно при работе с текстом. Сейчас такие запросы используются везде при поиске, фильтрации и анализе информации в компьютерных системах. Существуют различные способы работы со струнами, порядок обработки запросов, их реализации в программном обеспечении и базах данных. Автором продемонстрированно, какие преимущества и недостатки они имеют и как они влияют на скорость и функционирование систем. В выводе отмечается, как именно следует поступать с этими расчетами, чтобы быстрее и лучше работать с текстом.

Ключевые слова: информационные системы, анализ информации, поиск данных, текстовые данные, обработка строк, вычисления, строковые запросы.

Способ распознавания языков [1] является важной частью теории языков. Эти методы используются при создании компиляторов, проверки информации, поиске по шаблонам и обработке текстов. Конечные автоматы позволяют определить, принадлежит ли строка заданному языку. Они до сих пор считаются наиболее надежными инструментами для работы с последовательностями символов.

С развитием машинного обучения методы распознавания последовательностей стали применять шире. Такие архитектуры, как RNN, LSTM, GRU и

Transformer, тоже решают похожие задачи [2]. Однако, в отличие от автоматов, они ищут закономерности в данных, на которых учились, а не по заранее заданным правилам.

Основной принцип в этой области – теорема Клини. Она гласит, что регулярные выражения и конечные автоматы, по сути, одинаковы. Поэтому регулярные выражения используют для описания языков, а автоматы – для их проверки [3]. Работы таких учёных, как Хопкрофт, Мотвани, Ульман, Ахо и Сети, стали основой для современных методов распознавания и их использования в компиляторах.

Цель этой статьи – сравнить старые, классические алгоритмы для распознавания регулярных языков с новыми подходами на основе нейросетей. Мы посмотрим, в чём их особенности, преимущества и недостатки.

Язык считается регулярным, если его может распознать конечный автомат. Автомат – это модель, у которой конечное число состояний. Поскольку у автомата ограниченная память, он может описывать только те языки, которые не хранят много информации.

Структура конечного автомата включает в себя совокупность состояний, допустимый алфавит входных знаков, логику переходов, а также начальную и заключительную (принимающую) точки. В рамках детерминированного конечного автомата (ДКА) для любой комбинации текущего состояния и входящего символа предусмотрен строго единственный путь. Благодаря этому процесс распознавания строк становится максимально линейным и оперативным.

Недетерминированный конечный автомат [4] (НКА) может иметь несколько переходов для одного символа, а также переходить между состояниями, не читая входной символ. Такие автоматы проще создавать, и они работают так же мощно, как ДКА.

Для создания автомата по регулярному выражению часто используют алгоритм Томпсона. Он собирает НКА из небольших частей, которые соответствуют операциям в регулярном выражении. Этот алгоритм легко реализовать, но иногда получающийся автомат содержит лишние состояния.

Чтобы упростить детерминированные автоматы, используют алгоритм Бжозовского. Он работает, последовательно обращая автомат и делая его детерминированным. Этот метод выглядит красиво с точки зрения теории, но в худшем случае число промежуточных состояний может сильно вырасти. Поэтому на практике часто выбирают другие, более эффективные способы упрощения.

Задача распознавания заключается в проверке принадлежности входной строки заданному языку [5]. Если язык описан детерминированным конечным автоматом (ДКА), автомат последовательно считывает символы, изменяет состояние по функции переходов и после обработки строки проверяет, является ли достигнутое состояние допускающим.

Такой алгоритм имеет линейную сложность [6] и требует минимальной памяти – достаточно хранить текущее состояние и таблицу переходов. Благодаря этому ДКА широко применяются в лексических анализаторах компиляторов для распознавания токенов, описываемых регулярными выражениями.

При использовании недетерминированного конечного автомата (НКА) необходимо отслеживать множество возможных состояний, поскольку из одного состояния могут существовать несколько переходов, включая переходы без чтения символов. После обработки строки проверяется, содержит ли множество достижимых состояний допускающее состояние.

Преимущество НКА заключается в отсутствии необходимости предварительной детерминации. Это важно, поскольку преобразование НКА в ДКА может привести к экспоненциальному росту числа состояний. Для уменьшения этой проблемы применяются ленивое построение ДКА, минимизация автомата и компактное хранение множеств состояний.

Характерным примером регулярного языка является множество двоичных строк с чётным числом единиц. Для его распознавания достаточно двух состояний: при чтении единицы автомат переключается между ними, а при чтении нуля состояние не изменяется. Строка принимается, если после обработки автомат находится в состоянии, соответствующем чётному числу единиц. Данный пример демонстрирует, что конечный автомат способен распознавать язык, используя лишь конечное число состояний без необходимости хранения всей входной последовательности

Язык строк, содержащий одинаковое количество символов a, за которыми следуют символы b, напротив, не является регулярным [7]. Конечный автомат не способен сравнить произвольное число символов a и b, поскольку располагает только конечной памятью. Этот пример демонстрирует фундаментальное ограничение автоматных языков: они описывают лишь зависимости, не требующие неограниченной памяти.

Таблица 1 – Сравнение ДКА и НКА

Критерий	ДКА	НКА
Активное состояние	Одно	Множество состояний
Построение	Более сложное	Более простое
Распознавание	Быстрое	Медленнее
Основной недостаток	Большая таблица переходов	Необходимость хранения множества состояний

Рекуррентные нейронные сети (RNN) сходны с конечными автоматами тем, что последовательно обрабатывают входные данные и обновляют внутреннее состояние. Однако, в отличие от конечного автомата с дискретными состояниями, состояние RNN представляет собой обучаемый числовой вектор, поэтому её поведение лишь приближённо соответствует автоматной модели.

RNN способны распознавать регулярные зависимости [8], однако качество их работы определяется обучением, точностью вычислений и способностью обобщать данные. В отличие от детерминированного конечного автомата, который гарантированно распознаёт регулярный язык, нейросеть может ошибаться на более длинных или нестандартных последовательностях.

Для обработки долгих зависимостей были разработаны архитектуры LSTM и GRU, использующие механизмы управления памятью. Они эффективнее простых RNN, однако их внутренние представления остаются трудно интерпретируемыми, поэтому такие модели часто рассматриваются как «чёрный ящик».

Перспективным направлением являются гибридные методы, объединяющие автоматы и нейросети. Один из них заключается в извлечении конечного автомата из обученной RNN, что позволяет получить интерпретируемую модель её поведения. Однако такой автомат отражает работу конкретной сети и может наследовать её ошибки. Другой подход использует нейросети для аппроксимации автоматных функций, когда формальная спецификация отсутствует, но доступна обучающая выборка.

Transformer – это архитектура, построенная на принципе самовнимания. Она отличается от RNN отсутствием последовательных переходов между состояниями. Вместо этого она анализирует взаимосвязи между элементами входной последовательности. Из-за чего Transformer способен выявлять сложные зависимости, но далеко не идеально. Подобно другим нейросетям, он не всегда гарантирует точное обобщение на последовательностях, если они длиннее обучающих примеров.

Таблица 2 – Сравнение классических и нейросетевых методов

Критерий	Конечные автоматы	RNN/LSTM/GRU	Transformer
Основа работы	Формальные правила	Обучаемое состояние	Самовнимание
Обучение	Не требуется	Требуется	Требуется
Интерпретируемость	Высокая	Низкая	Низкая
Корректность	Гарантируется	Не гарантируется	Не гарантируется
Основное преимущество	Скорость и точность	Обработка длинных зависимостей	Выявление сложных зависимостей
Основной недостаток	Ограниченная выразительность	Слабая интерпретируемость	Высокая вычислительная сложность

Конечные автоматы по-прежнему демонстрируют высокую эффективность в распознавании регулярных языков, что обусловлено их высокой скоростью, надежной математической моделью и точностью. Несмотря на множественные плюсы, их возможности ограничены объемом памяти.

Современные модели нейронных сетей, такие как RNN, LSTM, GRU и Transformer, демонстрируют высокую эффективность в обработке последовательностей. Это происходит благодаря обучению на больших объемах данных. Тем не менее, их интерпретация конечными автоматами остается сложной задачей. Наиболее перспективный путь развития – это интеграция формальных

методов с нейросетевыми моделями. Такой подход позволит совместить эффективность и надежность распознавания.

Список использованных источников

1. Молчанов В. А. Распознавание регулярных выражений с помощью конечных автоматов / В. А. Молчанов, Р. А. Фарахутдинов // Математика. Механика. – 2017. – № 19. – С. 67-70. – EDN YWRJRR.

2. Козлов С. В. Анализ LSTM и GRU моделей для построения прогнозов временных рядов / С. В. Козлов, С. А. Седенков // International Journal of Open Information Technologies. – 2024. – Т. 12, № 7. – С. 43-50. – EDN DMKFKO.

3. Козлов С. В. Теория формальных грамматик и ее применение / С. В. Козлов, А. В. Светлаков // Системы компьютерной математики и их приложения. – 2021. – № 22. – С. 358-364. – EDN USEDOE.

4. Ключников А. В. О синтезе автоматов по конечным фрагментам их поведения: специальность 01.01.09 "Дискретная математика и математическая кибернетика»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук / Ключников Александр Валерьевич. – Москва, 1993. – 11 с. – EDN ZKYABJ.

5. Козлов С. В. О LL(1)-грамматиках, алгоритмах на них и методах их анализа в программировании / С. В. Козлов, А. В. Светлаков // International Journal of Open Information Technologies. – 2022. – Т. 10, № 3. – С. 30-38. – EDN TNSFDZ.

6. Вирт Н. Построение компиляторов / Никлаус Вирт. – М.: ДМК Пресс, 2013. – 192 с.

7. Козлов С. В. Применение регулярных выражений для обработки текстовых данных / С. В. Козлов, А. В. Светлаков // International Journal of Open Information Technologies. – 2022. – Т. 10, № 9. – С. 82-89. – EDN ZOSEER.

8. Карлов Б. Н. Теория автоматов и формальных языков: учебник / Б. Н. Карлов. – Тверь: Тверской государственный университет, 2021. – 404 с. – EDN ERXMSA.

FEATURES OF IMPLEMENTING CALCULATIONS IN STRING QUERIES

N.A. Rzhavin

Smolensk State University,
Smolensk, Russia

This article examines how to process string queries and why this is necessary for working with text. These queries are now widely used to search, filter, and analyze information in computer systems. The article describes various methods for working with strings, how to process string queries, and how this is implemented in programs and databases. It also discusses the pros and cons of these methods and how they affect system speed and performance. The article concludes by concluding that it is important to choose the right method for processing such calculations to work with text faster and more efficiently.

Keywords: string queries, calculations, string processing, text data, data retrieval, information analysis, information systems.

УДК 004.4

ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ЛОГИРОВАНИЯ В СЕРВЕРНЫХ ПРИЛОЖЕНИЯХ НА NESTJS

В.В. Рогов, А.А. Каршков

Смоленский государственный университет,
г. Смоленск, Россия

В статье рассматриваются подходы к ведению журналов событий в серверных приложениях, построенных на фреймворке NestJS. Сравниваются вывод через console.log, встроенный логгер фреймворка и библиотеки структурированного логирования winston и pino, приводятся результаты измерения их производительности. Предлагается схема организации логирования в многомодульном приложении с централизованным сбором записей в хранилище Grafana Loki, позволяющая просматривать и фильтровать журнал каждого модуля независимо от остальных.

Ключевые слова: логирование, NestJS, Node.js, структурированный лог, Grafana Loki, Prometheus, мониторинг, серверное приложение.

Значительная часть серверных систем сегодня разрабатывается на платформе Node.js, а одним из самых востребованных инструментов построения таких систем стал фреймворк NestJS [1]. Приложение на NestJS складывается из набора модулей, каждый из которых отвечает за свою предметную область: учет пользователей, обработку заказов, платежи, интеграции с внешними службами. При эксплуатации подобной системы журнал работы, или лог, оказывается главным источником сведений о том, что происходило внутри приложения в конкретный момент времени. По записям журнала разработчик восстанавливает картину сбоя, ищет причину ошибки, оценивает длительность операций.

На практике порядок ведения логов во многих командах складывается стихийно. Часть модулей выводит сообщения вызовом console.log, часть пользуется встроенным логгером фреймворка, форматы записей не согласованы, уровень детализации никак не регулируется. Пока приложение невелико, с этим можно мириться. Когда же модулей становится десять и больше, общий поток вывода превращается в хаотичную ленту: модуль, пишущий записи каждую секунду, полностью заслоняет редкие, но важные сообщения соседей. Похожая проблема наблюдаемости многокомпонентных систем разбирается в работе [2], где подчеркивается, что разрозненные журналы отдельных компонентов без централизованной обработки почти бесполезны при расследовании инцидентов.

Целью настоящей работы является сравнительный анализ основных способов ведения логов в приложениях на NestJS и построение такой схемы логирования, при которой записи каждого модуля можно просматривать отдельно от остальных без потери общей картины.

Простейший способ вывода диагностических сообщений дает функция console.log. Ее достоинства очевидны: она не требует зависимостей и доступна в любой точке программы. Недостатков заметно больше. Записи не имеют уровня

важности, поэтому ошибки нельзя отделить от отладочного шума. В сообщении отсутствуют временная метка и имя модуля, породившего запись. Вывод невозможно отключить в производственной среде без правки кода. Наконец, запись представляет собой обычную строку, машинный разбор которой затруднен.

Встроенный логгер NestJS (класс Logger из пакета @nestjs/common) снимает часть перечисленных проблем. Он поддерживает пять уровней важности, добавляет к записи временную метку и контекст, то есть имя класса, переданное в конструктор. Перечень допустимых уровней задается при старте приложения, поэтому отладочные сообщения легко отключаются в рабочей среде. Автор [1] отмечает, что для небольших служб встроенных средств вполне достаточно. Главный их недостаток состоит в текстовом формате вывода: для последующего анализа записи приходится разбирать регулярными выражениями.

Библиотеки структурированного логирования winston и pino выводят каждую запись в виде объекта JSON с фиксированным набором полей: уровень, время, контекст, текст сообщения и произвольные дополнительные атрибуты. Такие записи без предварительной обработки загружаются в системы централизованного хранения и анализа [3, 4]. Для NestJS существуют готовые модули интеграции, заменяющие встроенный логгер, поэтому прикладной код продолжает работать с привычным интерфейсом. Издержками подхода являются затраты на сериализацию и худшая читаемость «сырого» вывода для человека.

Чтобы оценить накладные расходы перечисленных способов, было измерено время записи ста тысяч однотипных сообщений каждым из них. Измерения выполнялись на Node.js 20.11, вывод перенаправлялся в файл, каждый замер повторялся три раза, в таблице 1 приведены средние значения. Для pino использовалась синхронная запись, для winston транспорт-поток со стандартным форматом JSON.

Таблица 1 – Результаты измерения производительности логгеров

Способ вывода	Формат	Время, мс	Скорость, тыс. записей/с	Память, Мбайт
console.log	текст	197	507	9,4
Logger (@nestjs/common)	текст	461	217	11,1
pino	JSON	445	225	36,1
winston	JSON	733	137	194,6

Из таблицы видно, что console.log опережает остальные способы, однако этот выигрыш достигается отказом от уровней, меток времени и структуры, то есть ровно от того, ради чего логирование вообще ведется. Среди библиотек структурированного вывода pino оказалась в полтора с лишним раза быстрее winston и потребовала примерно в пять раз меньше памяти, а по скорости практически догнала встроенный логгер NestJS, который пишет неструктурированный текст. Сходные соображения о выборе компонентов подсистемы наблюдения за серверным приложением высказаны в работе [5].

Даже структурированные записи приносят мало пользы, пока они разбросаны по файлам и контейнерам отдельных служб. Следующим шагом становится централизованный сбор. Классический стек на основе Elasticsearch требует значительных ресурсов, поскольку строит полнотекстовый индекс по содержимому записей. В последние годы широкое распространение получило хранилище Grafana Loki, которое индексирует не сами записи, а лишь небольшой набор меток, благодаря чему обходится заметно дешевле [3]. Порядок развертывания Loki вместе с агентом сбора в кластере Kubernetes подробно описан в статье [4], а в работе [3] та же связка применена для сбора логов медицинской информационной системы, работающей в среде Docker.

С учетом сказанного рекомендуемая организация логирования в NestJS-приложении из десятка модулей выглядит так. Логгером приложения назначается pino через модуль интеграции nestjs-pino. В каждом сервисе создается дочерний логгер с контекстом, совпадающим с именем модуля, например OrdersService или PaymentsService. Записи выводятся в stdout в формате JSON и собираются агентом Grafana Alloy либо Promtail в хранилище Loki. Метками записи назначаются имя приложения, окружение и контекст модуля. После этого в интерфейсе Grafana запрос вида {app="shop", context="PaymentsService"} мгновенно выделяет журнал одного модуля, и шум от соседних модулей никак не мешает анализу остальных. Дополнительно каждому HTTP-запросу присваивается сквозной идентификатор, который через механизм AsyncLocalStorage автоматически попадает во все записи, порожденные обработкой этого запроса. Так восстанавливается полная траектория прохождения запроса через модули.

Единый формат не отменяет вопроса о содержимом записей. Разумно договориться внутри команды о нескольких простых правилах: сообщение пишется так, чтобы его можно было понять без чтения исходного кода; в запись включаются идентификаторы сущностей, а не сами объекты целиком; ошибки сопровождаются стеком вызовов; персональные данные и секреты в журнал не попадают никогда. Штатным уровнем в рабочей среде считается info, а уровень debug включается точечно и только на время разбирательства. Подобные соглашения дисциплинируют команду не хуже технических ограничений.

Отметим, что логирование не заменяет метрик [6]: для количественной оценки нагрузки и быстродействия рядом с Loki обычно разворачивается Prometheus, а Grafana служит общим окном и для метрик, и для логов [7]. Комбинация журналов и метрик в одном интерфейсе сокращает время локализации неисправностей, что особенно заметно при разборе редких и плохо воспроизводимых ошибок [5].

Проведенное сравнение показывает, что использование console.log в серверных приложениях на NestJS оправдано разве что на этапе первых экспериментов. Единый структурированный формат записей, обязательный контекст модуля, управляемые уровни и централизованное хранилище с метками решают задачу изоляции журналов отдельных модулей практически без прикладного кода. Предложенная схема на основе pino, Grafana Alloy, Loki и Prometheus может использоваться как типовая при проектировании новых служб на NestJS и при наведении порядка в уже работающих системах.

Список использованных источников

1. Dolzhenko V. Development of microservices using NestJS: architecture and practical examples // Universum: технические науки. 2024. № 6-6 (123). С. 7-11. EDN ETSEHY.

2. Максимов В.Ю. Преодоление трудностей наблюдаемости в микросервисной архитектуре // Инновационная наука. 2024. № 2-1. С. 30-35. EDN EVAUTV.

3. Шевченко И.О. Централизованный сбор и анализ логов медицинской информационной системы на базе Grafana, Loki и Grafana Alloy // Вестник науки. 2026. Т. 3, № 6 (99). С. 1697-1705. EDN WASQEF.

4. Васин Ю.В., Аббакумов А.А., Егунова А.И., Сидоров Д.П. Развертывание и интеграция Grafana, Loki и Alloy в среде Kubernetes // Инженерный вестник Дона. 2025. № 7 (127). С. 206-215. EDN PJMFBU.

5. Альфара А.Ю.А., Королев Д.В., Зайцев К.С., Дунаев М.Е. Разработка системы мониторинга для серверного приложения // International Journal of Open Information Technologies. 2023. Т. 11, № 8. С. 24-31. EDN OCTBSB.

6. Козлов С. В. Применение норм, весов и мер близости в качестве метода оптимизации поисковых запросов / С. В. Козлов, А. В. Кирикова // Наука. Исследования. Практика: сборник избранных статей по материалам Международной научной конференции. – Санкт-Петербург, 2021. – С. 68-70. – DOI 10.37539/SRP299.2021.96.29.003. – EDN ERZRJS.

7. Шевченко И.О. Организация мониторинга доступности и производительности медицинской информационной системы на базе Prometheus и Grafana // Вестник науки. 2026. Т. 3, № 6 (99). С. 1690-1696. EDN AKNNWU.

ORGANIZATION OF A LOGGING SYSTEM IN SERVER APPLICATIONS BASED ON NESTJS

V.V. Rogov, A.A. Karshkov

Smolensk State University,
Smolensk, Russia

The article considers approaches to keeping event logs in server applications built with the NestJS framework. Output via console.log, the built-in logger of the framework and the structured logging libraries winston and pino are compared, the results of measuring their performance are given. A logging scheme for a multi-module application with centralized collection of records in the Grafana Loki storage is proposed, which makes it possible to view and filter the log of each module independently of the others.

Keywords: logging, NestJS, Node.js, structured log, Grafana Loki, Prometheus, monitoring, server application.

УДК 004.912

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ЗАДАЧИ ОЦЕНКИ ТОНАЛЬНОСТИ ТЕКСТА

М.А. Романова

Смоленский государственный университет,
г. Смоленск, Россия

В статье поднимается вопрос актуальности исследования настроений текста. На рассмотрение предоставлен единый набор данных, являющийся объектом тестирования для следующих моделей: BERT, RoBERTa, DistilBERT. По результатам обозревающиеся модели оценивались в соответствии со следующими критериями: основные показатели качества классификации (Accuracy, Precision, Recall, F1-score), а также время обработки данных. После этого проведён их сравнительный анализ, ставящий в соответствие условиям применения определённую модель.

Ключевые слова: обработка естественного языка, оценка тональности, BERT, RoBERTa, DistilBERT, динамическое маскирование, дистилляция знаний.

В настоящее время социальные медиа порождают довольно великое множество несистематизированных данных [1]. К примеру, пользователи ежедневно оставляют отзывы на приобретённые товары. Однако, анализ такого набора данных вручную затруднителен. На сегодняшний день это достаточно актуальная проблема. Решением является один из методов обработки естественного языка, а именно – оценка тональности текста при помощи моделей архитектуры Transformer. Они зарекомендовали себя как эффективный инструмент. Для анализа рационально рассмотреть модели BERT, RoBERTa и DistilBERT.

BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) является одной из базовых моделей обработки естественного языка. Её главное отличие от более ранних языковых моделей в использовании двунаправленного анализа текста. Благодаря этому она учитывает контекст анализируемого слова как слева, так и справа, что позволяет более точно определять эмоциональную окраску текста. Предварительное обучение модели основывается на двух задачах: статистическое маскирование, заключающееся в замене части слов случайным токеном и проведение анализа, который определяет является ли одно предложение логическим продолжением другого. Но несмотря на то, что тональность данных эффективно определяется, модель содержит немалое количество параметров (примерно 110 миллионов) и требует большого объёма памяти.

Усовершенствованной версией BERT является RoBERTa (Robustly Optimized BERT Approach) – имеет более эффективный процесс обучения с использованием большего объёма данных. Количество параметров составляет около 125 миллионов. Процесс обучения основывается на динамическом маскировании, которое подразумевает сокрытие на каждой эпохе случайно выбранных слов. В отличие от статистического маскирования, применяемого в BERT, такой

подход позволяет модели обучаться на более разнообразных примерах и лучше усваивать языковые закономерности [2]. Благодаря этому она демонстрирует более высокую точность при анализе данных, особенно когда нужно учитывать сложные контекстные зависимости. Её недостатком являются повышенные требования к вычислительным ресурсам по сравнению с BERT.

Сравнивая эти модели, можно сделать вывод, что BERT представляет собой решение с достаточным уровнем точности, а RoBERTa – наилучшее качество определения тональности текста. Выбор будет зависеть от условий применения: приоритет максимальной точности – RoBERTa.

DistilBERT – упрощённая форма модели BERT. Обучается при помощи метода дистилляции знаний, благодаря которому она перенимает знания предварительно обученной модели. При этом она довольно компактна и оперативна, т.к. размер оригинальной модели уменьшен на 40%, а скорость работы увеличена на 60%. Тем не менее функциональность сохранена на 97%. Это делает её выбором в ситуациях, где важны быстродействие и экономия памяти [3]. Количество её параметров составляет приблизительно 66 миллионов. Несмотря на преимущества, модель имеет и недостатки, – она уступает двум другим моделям по критерию точности.

Для проведения сравнительного анализа использовался датасет отзывов на фильмы, а именно Internet Movie Database (IMDb). Всего в нём содержится 50 000 мнений, которые разделены на две равные части: обучающую и тестовую. В качестве начальных данных извлечена выборка из второй группы, сформированная из 200 отобранных отзывов. Также предварительно были даны оценки тональности каждому отзыву.

В роли параметров я посчитала рациональным взять Accuracy, Precision, Recall, F1-score [4]. Именно на их основе будет сделан анализ качества и точности. Вдобавок было зафиксировано время выполнения оценки тональности. Это позволит определить какая модель наиболее быстро справляется со своей задачей. Результаты тестирования представлены ниже.

Таблица 1 – Итоги испытаний

Модель	Accuracy (точность)	Precision (точность положительного класса)	Recall (полнота)	F1-score (F-мера)	Inference time (скорость обработки)
BERT	0,855	0,8681	0,8229	0,8449	13,12 сек.
RoBERTa	0,885	0,8687	0,8958	0,8821	21,31 сек.
DistilBERT	0,79	0,77	0,8021	0,7857	11,61 сек.

Первый показатель отвечает за количество правильных прогнозов из всех имеющихся. Он рассказывает о том, как часто модель права. Если говорить о втором параметре, то он отображает сколько позитивных отзывов из найденных являются действительно таковыми. Полнота демонстрирует какую часть

занимают положительно определённые отзывы из всех таких имеющихся в выборке. F-мера же связывает два предыдущих ему показателя.

Делая заключение из исхода тестирования, можно сказать, что наиболее точной моделью оказалась RoBERTa. С моей точки зрения, на это повлияло в первую очередь обучение модели при помощи динамического маскирования. Отмечу, что объём данных, на котором оно проходит, довольно большой. Что также существенно.

Заслуживает внимания и BERT, так как её показатель точности незначительно ниже. К тому же время работы впечатляет - 13 секунд. Это гораздо меньше, чем у модели, о которой выше шла речь. Одним из вариантов её применения может быть рассмотрение и направление неотложных обращений и жалоб в службу клиентской поддержки. К примеру, если пользователь написал слишком негативный или эмоциональный текст.

Следует отметить, что самая точная модель имеет наилучшее качество. Применение RoBERTa было бы довольно эффективно при анализировании отзывов на маркетплейсах и комментариев в соцсетях [5]. А также других платформах, где требуется оценка тональности. Однако всякая модель может иметь как плюсы, так и минусы. Время выполнения задачи при помощи RoBERTa достигает наибольшего значения среди всех остальных. DistilBERT имеет более низкие значения метрик качества, относительно полноразмерных моделей. Но стоит учитывать, что благодаря уменьшению количества параметров, было значительно сокращено время обработки данных. При этом без существенной потери качества. Результаты это подтверждают, так как эта модель справилась довольно быстро – всего 11 секунд.

DistilBERT является самой быстрой моделью, поэтому в случаях обработки большого объёма данных за короткий промежуток времени без значительных затрат рекомендуется использовать именно её [6]. Если приоритетом является максимальная точность – целесообразно использовать BERT или RoBERTa. Результаты в целом соответствуют архитектурным характеристикам моделей, так как при увеличении вычислительной сложности повышается уровень качества модели. При этом идёт рост времени выполнения обработки данных.

Можно сделать вывод, что все рассмотренные модели эффективны и способны решать поставленную задачу оценки тональности текста. Тем не менее универсальной модели, подходящей по всем критериям, не существует. Выбор определяется требованиями к качеству классификации, скорости обработки данных и доступным вычислительным ресурсам. Если целью является получение точных результатов, то предпочтение рекомендуется отдавать моделям BERT и RoBERTa. При важности скорости работы – DistilBERT.

Список использованных источников

1. Сериков М. К. Автоматизированный анализ мультимодальных данных социальных медиа на основе моделей обработки неструктурированной информации / М. К. Сериков // Вестник СКУ им. М. Козыбаева. – 2026. – № 1(69). – С. 309-320. – DOI 10.54596/2958-0048-2026-1-309-320. – EDN GLKJHW.

2. Зоткина А. А. RoBERTa как инструмент анализа текста и эмоционального настроения пользователей / А. А. Зоткина // Современные информационные технологии. – 2025. – № 42(42). – С. 55-57. – EDN NRDRFF.

3. Шарапова Е. В. Использование DistilBERT для обнаружения сгенерированных текстов / Е. В. Шарапова // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. – 2024. – № 1(48). – С. 39-43. – EDN CTULRT.

4. Козлов С. В. Применение норм, весов и мер близости в качестве метода оптимизации поисковых запросов / С. В. Козлов, А. В. Кирикова // Наука. Исследования. Практика: сборник избранных статей по материалам Международной научной конференции, Санкт-Петербург, 26 октября 2021 года. – Санкт-Петербург: Гуманитарный национальный исследовательский институт НАЦРАЗВИТИЕ, 2021. – С. 68-70. – DOI 10.37539/SRP299.2021.96.29.003. – EDN ERZRJS.

5. Козлов З. В. Сравнительный анализ предобученных моделей для анализа тональности отзывов / З. В. Козлов // Слова и цифры: материалы I Международной научно-практической конференции, Йошкар-Ола - Москва, 04 мая – 05 2025 года. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2025. – С. 50-52. – EDN IHQCVX.

6. Анализ эмоциональной окраски текста с использованием модели distilbert / Н. С. Драгунский, Р. Р. Хусамов, Ш. И. Ганиев, С. В. Шилин // Информационные технологии обеспечения комплексной безопасности в цифровом обществе : Материалы VIII Всероссийской молодёжной научно- практической конференции с международным участием, Уфа, 23–24 мая 2025 года. – Уфа: Уфимский университет науки и технологий, 2025. – С. 77-80. – EDN AXFUGY.

COMPARATIVE ANALYSIS OF MODELS FOR THE TASK OF ASSESSING THE TONALITY OF THE TEXT

M.A. Romanova

Smolensk State University,
Smolensk, Russia

The article raises the question of the relevance of the study of the mood of the text. A single data set is provided for consideration, which is the object of testing for various models: BERT, RoBERTa, DistilBERT. According to the results, the observed models were evaluated in accordance with the following criteria: accuracy, speed of work, number of parameters, learning time, as well as size. After that, their comparative analysis was carried out, which puts a certain model in line with the situation.

Keywords: natural language processing, key score, BERT, RoBERTa, DistilBERT.

УДК 378.147:005.6

ЭЛЕКТРОННЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ КАК ИНСТРУМЕНТ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ В ОБЛАСТИ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА НА ПРЕДПРИЯТИИ

М.Ф. Рубан

Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина, г. Саратов, Россия

В статье рассматриваются возможности применения электронных образовательных ресурсов (ЭОР) для формирования профессиональных компетенций персонала в области системы менеджмента качества (СМК) предприятия. Предложена структурно-функциональная модель формирования компетенций на основе ЭОР. Определены состав формируемых компетенций и соответствующие им виды электронных образовательных ресурсов, сформулированы критерии оценки результативности их применения.

Ключевые слова: электронные образовательные ресурсы, система менеджмента качества, компетенции, предприятие, персонал, электронное обучение, ГОСТ Р ИСО 9001-2015, информационные технологии.

В условиях усиления конкуренции и роста требований потребителей к качеству продукции и услуг система менеджмента качества становится неотъемлемым элементом управления современным предприятием. Международные стандарты ИСО серии 9000 и национальный стандарт ГОСТ Р ИСО 9001-2015 определяют компетентность персонала как один из ключевых ресурсов организации: предприятие обязано определять необходимую компетентность работников, обеспечивать её достижение посредством обучения и оценивать результативность предпринятых мер [2].

Традиционные формы корпоративного обучения (очные семинары, инструктажи, курсы повышения квалификации с отрывом от производства) характеризуются высокой стоимостью, ограниченной масштабируемостью и сложностью актуализации содержания при изменении нормативной базы и документации СМК, такие ограничения особенно ощутимы для территориально распределённых предприятий и организаций с высокой текучестью персонала. Электронные образовательные ресурсы, реализуемые на базе современных информационных технологий, позволяют преодолеть указанные ограничения и обеспечить непрерывное, персонализированное и экономически эффективное обучение персонала требованиям и методам менеджмента качества [8].

Под «компетенцией» в области системы менеджмента качества будем понимать интегральную характеристику работника, отражающую его готовность и способность результативно выполнять трудовые функции, связанные с планированием, обеспечением, управлением и улучшением качества, на основе знаний требований стандартов, умений применять методы и инструменты менеджмента качества и опыта практической деятельности в рамках процессов СМК предприятия [1]. В соответствии с ГОСТ Р 53620-2009 под электронным

образовательным ресурсом понимается образовательный ресурс, представленный в электронно-цифровой форме и включающий в себя структуру, предметное содержание и метаданные о них. Применительно к задачам обучения персонала предприятия в области СМК целесообразно выделить следующие виды ЭОР:

1) электронные учебные курсы и видеолекции, раскрывающие требования стандартов ИСО серии 9000, принципы менеджмента качества, содержание процессного подхода [4];

2) интерактивные тренажёры и симуляторы, моделирующие типовые ситуации деятельности в рамках СМК: обработку несоответствующей продукции, регистрацию записей о качестве, построение контрольных карт;

3) виртуальные практикумы и деловые кейсы, в том числе имитацию внутреннего аудита с формированием отчёта о несоответствиях;

4) электронные базы знаний и глоссарии, интегрированные с документированной информацией СМК предприятия;

5) средства автоматизированного контроля знаний - тесты, контрольные задания, средства взаимного оценивания [6].

Ключевым преимуществом ЭОР в корпоративном обучении является возможность их интеграции с электронной информационно-образовательной средой предприятия (LMS - Learning Management System), что обеспечивает автоматизированное назначение курсов по должностям и ролям в СМК, фиксацию результатов обучения в качестве записей СМК, а также формирование объективных данных для анализа со стороны руководства [7].



Рисунок 1 – Модель формирования компетенций персонала в области СМК на основе электронных образовательных ресурсов

Предлагаемая структурно-функциональная модель формирования компетенций персонала в области СМК на основе электронных образовательных ресурсов представлена на рисунке 1. Модель включает три взаимосвязанных блока ЭОР - теоретический, практический и контрольный, - объединённых в рамках электронной информационно-образовательной среды предприятия и ориентированных на формирование знаний, умений и владений, составляющих компетенции в области менеджмента качества [5].

Теоретический блок обеспечивает освоение понятийного аппарата и нормативных требований; практический блок направлен на отработку умений применения методов и инструментов менеджмента качества в моделируемых производственных ситуациях; контрольный блок реализует диагностику уровня сформированности компетенций и обратную связь. Электронная информационно-образовательная среда выполняет интегрирующую функцию: управляет траекториями обучения, накапливает статистику по обучающимся и передаёт данные о компетентности персонала в СМК предприятия в качестве документированной информации [3].

Соответствие между компонентами формируемых компетенций и видами электронных образовательных ресурсов представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Соответствие компонентов компетенций в области СМК и видов электронных образовательных ресурсов

Компонент компетенции	Содержание подготовки	Виды ЭОР
Нормативно-правовой	Требования ИСО серии 9000, ГОСТ Р ИСО 9001-2015, внутренние документы СМК	Электронные курсы, видеолекции, базы знаний, глоссарии
Процессный	Процессный и риск-ориентированный подходы, показатели процессов	Интерактивные схемы процессов, симуляторы, кейсы
Методический	Инструменты управления качеством, статистические методы, цикл PDCA	Тренажёры построения контрольных карт, диаграмм Парето и Исикавы
Документационный	Разработка и ведение документированной информации СМК	Шаблоны и виртуальные практикумы по работе с документами
Аудиторский	Планирование и проведение внутренних аудитов, корректирующие действия	Деловые игры, имитация аудита, тесты и кейс-задания

Внедрение предложенной модели на предприятии целесообразно осуществлять в несколько этапов:

1) анализ требований к компетентности персонала на основе матрицы ответственности СМК, профессиональных стандартов и результатов оценки персонала;

2) проектирование модульной структуры ЭОР с учётом ролей работников в процессах СМК (высшее руководство, владельцы процессов, внутренние аудиторы, исполнители);

3) разработка и наполнение ЭОР, включая адаптацию содержания под документацию СМК конкретного предприятия;

4) опытная эксплуатация, сбор обратной связи и корректировка ресурсов;

5) полномасштабное внедрение с интеграцией результатов обучения в процедуры управления персоналом и внутреннего аудита СМК.

Особое значение имеет персонализация обучения: электронная среда позволяет назначать работнику индивидуальную траекторию в зависимости от его роли в СМК, результатов входного тестирования и выявленных при аудитах несоответствий, связанных с человеческим фактором. Тем самым обучение из периодического мероприятия превращается в непрерывный процесс, встроенный в цикл PDCA системы менеджмента качества.

Для последующей оценки результативности применения ЭОР предлагается использовать следующие группы показателей:

1) образовательные - доля работников, успешно завершивших обучение; средний балл итогового контроля; динамика результатов входного и выходного тестирования;

2) процессные - снижение числа несоответствий, выявляемых при внутренних аудитах и связанных с недостаточной компетентностью персонала; сокращение времени адаптации новых сотрудников;

3) экономические - снижение затрат на обучение в расчёте на одного работника; сокращение потерь от брака и рекламаций.

Практика промышленных предприятий, внедривших электронное обучение в контур СМК, свидетельствует о сокращении затрат на подготовку персонала на 25–40 % по сравнению с очными формами при одновременном повышении охвата обучения и объективности контроля знаний.

Подводя итоги, можно сделать вывод, что электронные образовательные ресурсы являются эффективным инструментом формирования компетенций персонала в области системы менеджмента качества предприятия. Предложенная модель, объединяющая теоретический, практический и контрольный блоки ЭОР в рамках электронной информационно-образовательной среды, обеспечивает системное формирование нормативно-правовых, процессных, методических, документационных и аудиторских компетенций. Интеграция результатов электронного обучения с документированной информацией СМК позволяет объективно оценивать результативность обучения.

Список использованных источников

1. Баранова, И. П. Формирование и развитие механизма управления персоналом в системе менеджмента качества предприятия / И. П. Баранова, А. А. Сакович // Инновации и инвестиции. – 2023. – № 8. – С. 151-154. – EDN SEOTGT.

2. Бунькова, И. П. Организация системы обучения персонала и оценка его эффективности / И. П. Бунькова, К. Ю. Балковая // Человек. Общество. Наука. – 2024. – Т. 5, № 2. – С. 22-31. – DOI 10.53015/3034-3151_2024_5_2_22. – EDN UWIGHK.

3. Развитие качества образовательных услуг с применением инновационного обучения / Н. Л. Фоменко, В. В. Матвеева, И. М. Кублин [и др.] // Аудит и финансовый анализ. – 2017. – № 3-4. – С. 561-568. – EDN YOWIMI.

4. Ем, А. В. Факторы, определяющие эффективность внедрения инновационных технологий в систему менеджмента качества современных предприятий / А. В. Ем, В. В. Григорьева // Финансовые рынки и банки. – 2026. – № 2. – С. 344-348. – EDN RANRQV.

5. Информационные технологии как инструмент трансформации российской и мировой экономики: новые операционные, маркетинговые и контрольные возможности / А. А. Манаев, И. М. Кублин, С. А. Кучерявенко, А. А. Воронов // Экономика устойчивого развития. – 2023. – № 2(54). – С. 127-131. – DOI 10.37124/20799136_2023_2_54_127. – EDN OVUSVW.

6. Максакова, И. В. Разработка экосистемы подготовки HR-менеджеров для индустрии 4.0 / И. В. Максакова, С. В. Чистякова // Современные проблемы науки и образования. – 2022. – № 1. – С. 31. – DOI 10.17513/spno.31478. – EDN UWTVOR.

7. Рубан, М. Ф. К вопросу о цифровизации системы менеджмента качества на машиностроительном предприятии / М. Ф. Рубан // Современные материалы, техника и технологии. – 2025. – № 3(60). – С. 52-56. – EDN QGJHOK.

8. Рубан, М. Ф. Обучение и развитие персонала как составная часть системы менеджмента качества в современных компаниях / М. Ф. Рубан, И. М. Кублин // Цифровая экономика: перспективы развития и совершенствования : Сборник научных статей 6-й Международной научно-практической конференции. В 2-х томах, Курск, 29 мая 2026 года. Том 1. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2026. – С. 320-324.

ELECTRONIC EDUCATIONAL RESOURCES AS A TOOL FOR DEVELOPING COMPETENCIES IN THE FIELD OF QUALITY MANAGEMENT SYSTEMS AT AN ENTERPRISE

M.F. Ruban

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, Russia

This article examines the potential of using electronic educational resources (EER) to develop personnel's professional competencies in the area of an enterprise's quality management system (QMS). A structural and functional model for developing competencies based on EER is proposed. The composition of the competencies being developed and the corresponding types of EER are defined, and criteria for assessing the effectiveness of their application are formulated.

Keywords: electronic educational resources, quality management system, competencies, enterprise, personnel, e-learning, GOST R ISO 9001-2015, information technology.

УДК 681.518

ОБОСНОВАНИЕ КОНЦЕПЦИИ ПЛАТФОРМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ УНИФИКАЦИИ API-ДОКУМЕНТАЦИИ ДЛЯ СИСТЕМ ИИ

А.Ю. Садикова

Общество с ограниченной ответственностью «Инноталент», г. Санкт-Петербург, Россия

В статье рассматривается концепция платформы «Documentic» – системы актуальной документации, предназначенной как для разработчиков, так и для AI-агентов. Основная цель разработки – преодоление фрагментации и семантической неоднородности API-документации в современных распределённых системах. Обоснована актуальность создания автоматизированных средств преобразования неструктурированных технических текстов в машиночитаемые спецификации для искусственного интеллекта. Разрабатываемая платформа «обеспечивает полный цикл интеллектуальной обработки документации с помощью OCR, методов NLP, больших языковых моделей и векторных хранилищ. Особое внимание уделено архитектуре модуля «Documentic. Унификация API» на основе микросервисной организации, агентной оркестрации и гибридном конвейере обработки. Подчёркивается практическая ценность решения для обеспечения технологического суверенитета и повышения надёжности корпоративных AI-систем.

Ключевые слова: AI-агенты, API-документация, интеллектуальная обработка документации, Documentic, Human-in-the-loop.

Введение

Стремительный рост распределённых систем и повсеместный переход на микросервисную архитектуру резко повысили требования к документации интерфейсов. Современные программные платформы насчитывают сотни сервисов, каждый из которых нуждается в актуальном, стандартизированном и машиночитаемом описании. Переход к парадигме API-first усугубляет объём и сложность технической документации.

Дополнительным фактором, определяющим новые требования к качеству документации, является развитие интеллектуальных программных агентов, RAG и автоматизированных конвейеров разработки. Для таких систем критически важны полнота, согласованность и структурированность используемых API-описаний, поскольку качество извлекаемого контекста непосредственно влияет на корректность принимаемых решений и результаты генерации программного кода [1]. На практике документация нередко создаётся в различных форматах, поддерживается разными командами и обновляется неравномерно. В результате возникают разночтения в терминологии, нарушается согласованность описаний и снижается возможность их автоматизированного использования при интеграции программных компонентов, сопровождении информационных систем и автоматизированной генерации программного кода [2].

Используемые форматы различаются по структуре, уровню детализации и способам описания интерфейсов, что приводит к возникновению семантической неоднородности, дублированию информации и высоким трудозатратам на поддержку актуальности спецификаций. Наиболее остро описанная проблема проявляется в ходе использовании AI-агентов, эффективность которых напрямую зависит от качества и полноты поступающих в RAG-контур контекстных данных.

Наиболее распространённым стандартом описания REST API является OpenAPI Specification (OAS), сформировавшаяся на основе проекта Swagger и обеспечивающая единый способ представления HTTP-методов, параметров запросов, моделей данных и механизмов аутентификации, что значительно упрощает разработку, тестирование и интеграцию сервисов [3]. Применение OAS способствует автоматизации разработки, тестирования и интеграции сервисов, при этом опыт практического применения показывает, что возможности OAS ограничены при моделировании сложных сценариев взаимодействия, характерных для событийно-ориентированных архитектур, асинхронного обмена сообщениями и специализированных протоколов передачи данных [4,5].

Появление инструментов управления жизненным циклом API, основанных на использовании формальных коллекций запросов, привело к широкому распространению одной из наиболее известных платформ Postman, предоставляющей средства документирования, тестирования и преобразования спецификаций между собственным форматом и OpenAP [6]. Ограничения описанного подхода проявляются при необходимости масштабной автоматической нормализации и интерпретации неструктурированных документов. Кроме того, применение проприетарных компонентов повышает зависимость от конкретной программной экосистемы и ограничивает возможности построения независимых корпоративных решений.

Существующие средства автоматизации API-документации нередко предполагают генерацию спецификаций непосредственно из исходного кода либо характеризуются высокими требованиями к степени структурированности входных данных [7]. Вследствие этого возможности интеллектуального анализа неформализованной технической документации остаются ограниченными. Автоматическое восстановление структуры API, выявление семантических связей между различными разделами документации и их последующая унификация реализованы лишь частично [8].

Эксплуатация в защищённых корпоративных инфраструктурах, где особое значение имеют автономность функционирования, локальное исполнение моделей искусственного интеллекта и соответствие требованиям технологического суверенитета, сопряжены с дополнительным ограничением существующих платформ в связи с их недостаточной адаптивностью.

Эффективная обработка разноформатной документации предполагает комплексное применение технологий распознавания текста, методов обработки естественного языка и инструментов семантического анализа. Первичное преобразование текстовой информации обеспечивают технологии OCR на основе глубоких сверточных сетей и специализированных моделей, в том числе Tesseract,

PaddleOCR, EasyOCR и др. Несмотря на высокую эффективность подобных решений, качество распознавания снижается при работе с низкоконтрастными изображениями, сложной вёрсткой, техническими схемами и многоуровневыми таблицами, что требует дополнительной интеллектуальной обработки полученных данных [9]. Современные гибридные модели (например, LayoutLM) позволяют учитывать не только текст, но и визуальную структуру документов [10,11]. LLM и агентные системы создают новые возможности для автоматического анализа и генерации спецификаций.

Для извлечения, определения связей и формирования онтологических представлений интерфейсов используются NLP методы, в частности, трансформерные архитектуры (BERT, RoBERTa, T5 и др.) и доменно-специфические NER-модели, которые также чувствительны к качеству обучающих корпусов, доменным вариациям и смешанным текстам, содержащим одновременно естественноязычные описания и фрагменты кода [12]. В задачах автоматического построения OpenAPI спецификаций из неструктурированных источников применяется семантический парсинг, направленный на перевод естественноязыковых описаний в формализованные структуры [13].

В основе RAG архитектур и систем семантического поиска лежат эмбеддинги и векторные представления текста для поиска релевантных фрагментов документации [14]. Появление больших языковых моделей (LLM) и агентных архитектур расширяет возможности автоматического анализа и генерации технической документации. Архитектуры AI агентов и RAG систем, интегрирующие LLM, векторные БД и механизмы оркестрации, представляют собой основу современных интеллектуальных платформ обработки документации [15].

Таким образом, существующие программные средства на данном этапе не обеспечивают комплексного решения задачи автоматической унификации API-документации, представленной в разнородных форматах. По-прежнему сохраняется потребность в программном модуле, способном объединить технологии OCR, методы обработки естественного языка, семантический парсинг, векторное представление данных и механизмы интеллектуальной оркестрации для автоматического формирования спецификаций OpenAPI 3.0. Полученные таким образом описания могут использоваться в системах семантического поиска, интеллектуальных агентах и современных конвейерах CI/CD.

С ростом сложности корпоративных экосистем и потребностью в технологическом суверенитете, увеличением числа API и распределённых сервисов, требующих постоянной актуализации и унификации документации; развитием генеративного ИИ и AI-assisted разработки, формирующими потребность в стандартизированном машиночитаемом контексте, пригодном для автоматизированного анализа и генерации программного кода связана актуальность разработки подхода к интеллектуальной унификации API-документации на основе агентной архитектуры ИИ, объединяющей NLP, OCR, семантический маппинг и механизмы explainability в рамках единого конвейера обработки данных. Разработка модуля предполагает использование ИИ-конструктора планов обмена, обеспечивающего динамическое формирование правил преобразования документации без модификации базовой логики системы, а также реализацию Human-in-the-loop

подхода, предусматривающего участие эксперта в критически важных этапах верификации автоматически сгенерированных спецификаций.

Технологическую инновационность определяет применение микросервисной архитектуры, асинхронной шины событий, векторных баз данных и локального контура исполнения AI-моделей в режиме Air-gap. Предлагаемое решение ориентировано на промышленную эксплуатацию в высоконагруженных корпоративных средах и обеспечивает масштабируемость, отказоустойчивость, безопасность обработки данных и интеграцию с современными DevOps-практиками.

Методы

Модуль «Documentic. Унификация API» разрабатывается как функциональная подсистема Продукта «Documentic – платформа актуальной документации для разработчиков и AI-агентов». В ходе исследования проведены анализ источников API-документации, выявление структурных элементов и оценка их семантической неоднородности.

Технологический стек, с помощью которого реализуются архитектурные решения модуля, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технологический стек модуля «Documentic. Унификация API»

Категория	Технология	Назначение
Язык программирования (Backend)	Python	Реализация ядра домена, конвейеров, ML-интеграций
Фреймворк (Backend)	FastAPI	Построение асинхронных REST/gRPC эндпоинтов, валидация схем
Язык программирования (Frontend)	TypeScript	Типизированная разработка интерфейсов, снижение runtime-ошибок
Фреймворк (Frontend)	Next.js + React	SPA/PWA-архитектура, SSR, реактивное управление состоянием
СУБД (Реляционная)	PostgreSQL	Хранение метаданных, аудит-логов, ролей, версий спецификаций
Расширение векторного поиска	pgvector	Векторизация эмбеддингов, семантический поиск, резерв Qdrant
Векторная БД	Qdrant	Хранение и индексирование эмбеддингов, HNSW-поиск
Брокер сообщений	RabbitMQ	Асинхронная шина событий, оркестрация пайплайнов, гарантированная доставка
Оркестрация	Kubernetes	Управление жизненным циклом подов, автомасштабирование, самовосстановление
Мониторинг и логи	Prometheus + Grafana + Loki	Сбор метрик, визуализация, централизованное логирование, трассировка

Категория	Технология	Назначение
Аутентификация	Keycloak	Централизованная аутентификация, SSO, управление ролями и сессиями
Управление секретами	HashiCorp Vault	Хранение ключей, сертификатов, динамические секреты для БД
OCR-движок	Tesseract OCR + PaddleOCR	Распознавание текста из PDF/изображений, многоязычная поддержка
NLP-обработка	spaCy + NLTK	Токенизация, лемматизация, извлечение именованных сущностей
ИИ-оркестрация	LangChain	Управление контекстом, шаблонами, взаимодействие с LLM

Результаты исследования.

В результате проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ разработана и зарегистрирована в Федеральной службе по интеллектуальной собственности [16] программа для ЭВМ «Documentic. Унификация API».

Разработанный программный модуль представляет собой независимую микросервисную подсистему для полного цикла трансформации документации. Модуль спроектирован как самостоятельный технологический компонент распределённой платформы «Documentic», предназначенный для последующей интеграции в единую корпоративную экосистему заказчика и последующей передачи в контур RAG-подсистемы. Таким образом, модуль «Documentic. Унификация API» выполняет задачу первичной поставки верифицированных данных для RAG-подсистем, обеспечивая преобразование «сырых» данных в машиночитаемый формат и их векторизацию.

Архитектура построена на микросервисной декомпозиции с асинхронным взаимодействием через RabbitMQ. Конвейер обработки данных имеет многоуровневую структуру и включает следующие уровни:

1. Уровень приема, обеспечивающий единую точку входа для разноформатных источников; применяются механизмы OCR (Tesseract, PaddleOCR) для извлечения текста из графических файлов и сканов с сохранением визуальной структуры (таблиц, схем);

2. Уровень NLP-обработки и семантического парсинга, на котором используется извлечение именованных сущностей (NER) для идентификации HTTP-методов, параметров, типов данных и бизнес-сущностей. Контекстуальные эмбеддинги позволяют выявлять скрытые семантические связи между разрозненными фрагментами документации;

3. Уровень ИИ-оркестрации представлен центральным агентом-оркестратором на базе LLM, координирующим работу специализированных агентов посредством формирования планов трансформации неструктурированного текста в строгие JSON-схемы и спецификации OpenAPI 3.0.;

4. Уровень векторизации и хранения, в рамках которого нормализованные спецификации и их семантические эмбеддинги сохраняются в векторных базах

данных (Qdrant, pgvector), что формирует готовую базу знаний для RAG-контуров [4].

Внутренняя архитектура модуля (рис. 1) основана на агентно-оркестраторной парадигме, где специализированные ИИ-агенты решают узкие задачи классификации, маппинга и валидации, а центральный оркестратор координирует их работу, управляет контекстом и обеспечивает отказоустойчивость.

Для обеспечения безопасности и интерпретируемости в концепцию заложен протокол MCP (Model Context Protocol), стандартизирующий обмен контекстом между LLM и внешними корпоративными сервисами, а также паттерн Human-in-the-loop (HITL). HITL предусматривает участие эксперта-разработчика в критических узлах конвейера для верификации автоматически сгенерированных спецификаций, что минимизирует риски внедрения некорректных контрактов в CI/CD.

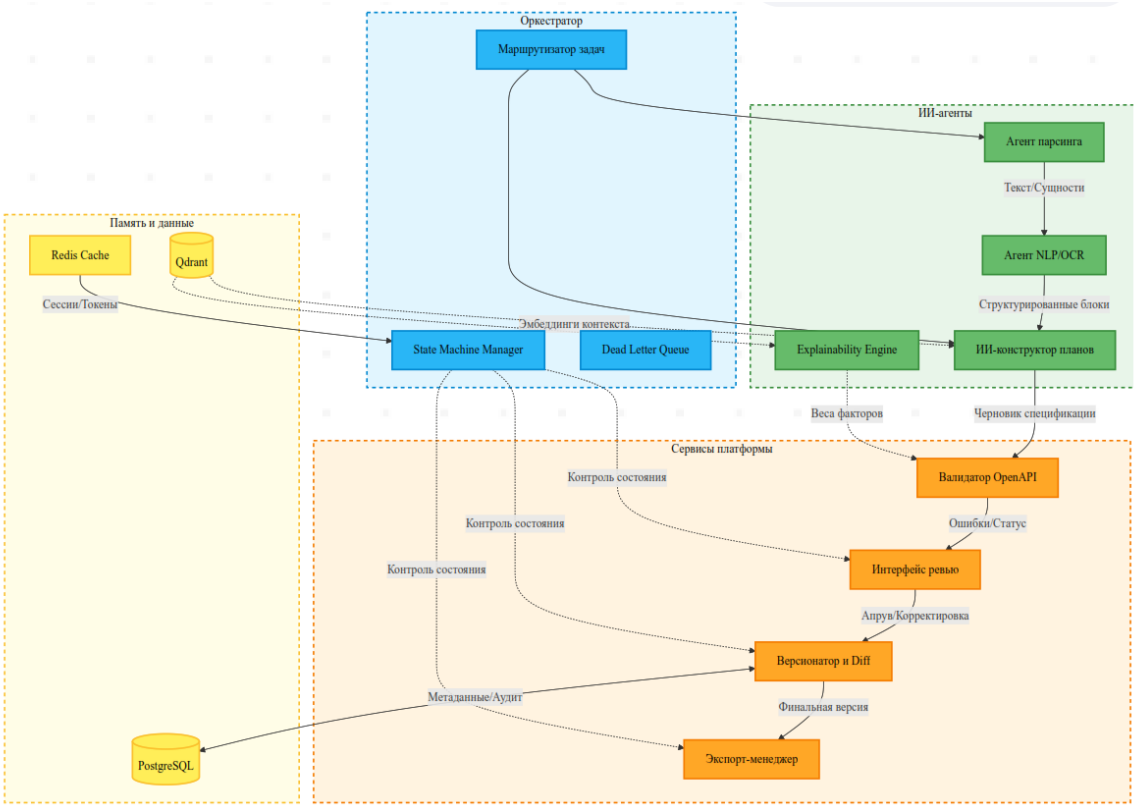


Рисунок 1 – Внутренняя агентная архитектура модуля «Documentic. Унификация API»

Заключение

В ходе исследования обоснована концепция платформы «Documentic», обеспечивающей интеллектуальную унификацию API-документации и её преобразование в спецификации OpenAPI 3.0 для дальнейшего использования в AI-агентах и RAG-системах. Показано, что сочетание OCR, NLP, семантического парсинга, эмбеддингов и агентной оркестрации позволяет реализовать сквозной цикл обработки разноформатной документации и подготовку верифицированного машиночитаемого контента для корпоративной AI-инфраструктуры.

Разработан и зарегистрирован программный модуль «Documentic. Унификация API» на основе микросервисной архитектуры с использованием векторных

баз данных и механизма Human-in-the-loop, благодаря чему повышается надёжность спецификаций и адаптируемость решения к требованиям технологического суверенитета и эксплуатации в защищённых контурах. Полученные результаты подтверждают практическую значимость платфлрмы и создают основу для дальнейшего развития методов автоматизированной обработки технической документации и интеграции AI-агентов в корпоративные программные экосистемы.

Финансирование

Исследование проведено в рамках Программы НИОКР участника проекта по созданию и обеспечению функционирования инновационного научно-технологического центра «Аэрокосмическая инновационная долина» - ООО «Инноталент».

Список использованных источников

1. Bhosale V., Gawande R. Replacing Web Interfaces with Intelligent Multi-Agent REST API Orchestration // 2025 IEEE International Conference on Advanced Systems and Emergent Technologies (IC_ASET), Mammamet-Yasmine, Tunisia, 2025. – P. 1–6. – DOI: 10.1109/IC_ASET65966.2025.11232145.

2. Волушкова В.Л., Волушкова А.Ю. – Единый формат спецификации в качестве API-артефакта микросервиса при использовании API-First // Программные системы и вычислительные методы. – 2022. – № 4. – С. 54-61. DOI: 10.7256/2454-0714.2022.4.39235 EDN: MFEXNN URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=39235

3. Chen H., Li Y., Chen C., Lin F., Li W. OOPS: Automated generation of REST API specification via LLMs // Journal of Systems and Software. – 2026. – Vol. 239. – Art. 112914. – ISSN 0164-1212. – DOI: 10.1016/j.jss.2026.112914.

4. Lercher A., Glock J., Macho C., Pinzger M. Microservice API Evolution in Practice: A Study on Strategies and Challenges // Journal of Systems and Software. – 2024. – Т. 215. – Art. 112110. – DOI 10.1016/j.jss.2024.112110.

5. Martin-Lopez A., Segura S., Müller C., Ruiz-Cortés A. Specification and Automated Analysis of Inter-Parameter Dependencies in Web APIs // IEEE Transactions on Services Computing. – 2022. – Т. 15, № 4. – С. 2342–2355. – DOI 10.1109/TSC.2021.3050610.

6. Joshi M. API Testing Using Postman: A Practical Approach for Ensuring Software Quality // International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology. – 2026. – Т. 14. – С. 33–35. – DOI: 10.22214/ijraset.2026.76748.

7. Rodriguez, C. REST APIs: A Large-Scale Analysis of Compliance with Principles and Best Practices. / C. Rodriguez, M. Baez, F. Daniel, F. Casati, J. C. Trabucco, L. Canali, G. Percannella. – 2016. – pp. 21-39. – DOI: 10.1007/978-3-319-38791-8_2. – Текст : электронный.

8. Robillard M. P. What Makes APIs Hard to Learn? Answers from Developers // IEEE Software. – 2009. – Vol. 26(6). – P. 27–34. – DOI: 10.1109/MS.2009.193.

9. Prakash, T. G. Text Recognition in Complex Images Using Deep Learning Models: A Survey / T. G. Prakash, V. Sravani // Proceedings of International

Conference on Advances in Computer Engineering and Communication Systems / eds. C. Kiran Mai, B. V. Kiranmayee, M. N. Favorskaya [et al.]. – Singapore : Springer, 2021. – (Learning and Analytics in Intelligent Systems ; vol. 20). – P. 347–358. – DOI: 10.1007/978-981-15-9293-5_36. – URL: https://doi.org/10.1007/978-981-15-9293-5_36 (дата обращения: 22.07.2026). – Текст : электронный.

10. Li, D. Printed Document Layout Analysis and Optical Character Recognition System Based on Deep Learning / D. Li, S. K. Lee, Y. T. Liu // Scientific Reports. – 2025. – Vol. 15. – Art. 23761. – DOI: 10.1038/s41598-025-07439-y. – URL: https://doi.org/10.1038/s41598-025-07439-y (дата обращения: 22.07.2026). – Текст : электронный.

11. Lvov, D. Enhancing Technical Question Answering Quality Through Multimodal Document Segmentation / D. Lvov, I. Smirnov, V. Volokha [et al.] // IEEE Access. – 2026. – Vol. 14. – P. 12733–12743. – DOI: 10.1109/ACCESS.2026.3655813. – URL: https://doi.org/10.1109/ACCESS.2026.3655813 (дата обращения: 22.07.2026). – Текст : электронный.

12. Devlin, J. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding / J. Devlin, M.-W. Chang, K. Lee, K. Toutanova // Proceedings of the 2019 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies, Volume 1 (Long and Short Papers) : Minneapolis, Minnesota, USA, 2–7 June 2019. – Minneapolis : Association for Computational Linguistics, 2019. – P. 4171–4186. – DOI: 10.18653/v1/N19-1423. – URL: https://doi.org/10.18653/v1/N19-1423 (дата обращения: 22.07.2026). – Текст : электронный.

13. Lazar K. Generating OpenAPI Specifications from Online API Documentation with Large Language Models. / K. Lazar, M. Vetzler, K. Kate [et al.] // Proceedings of the 63rd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 6: Industry Track) : Vienna, Austria, 27 July – 1 August 2025. – Vienna : Association for Computational Linguistics, 2025. – P. 237–253. – DOI: 10.18653/v1/2025.acl-industry.24. – URL: https://doi.org/10.18653/v1/2025.acl-industry.24 (дата обращения: 22.07.2026). – Текст : электронный.

14. Kukreja, S. Vector Databases and Vector Embeddings-Review / S. Kukreja, T. Kumar, V. Bharate, A. Purohit, A. Dasgupta, D. Guha // 2023 International Workshop on Artificial Intelligence and Image Processing (IWAIIP). – Yogyakarta, Indonesia : IEEE, 2023. – P. 231–236. – DOI: 10.1109/IWAIIP58158.2023.10462847. – Текст : электронный.

15. Sanikommu, N. R. Model Context Protocol: Enhancing LLM Performance for Observability and Analytics / N. R. Sanikommu // European Journal of Computer Science and Information Technology. – 2025. – Vol. 13, № 29. – P. 112–126. – Текст : электронный.

16. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2026669965 Российская Федерация. Программный комплекс " Documentic. Унификация API" : заявл. № 2026668473 от 05.06.2026: опубл. 10.07.2026 ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «Инноталент».

JUSTIFICATION OF THE CONCEPT OF AN INTELLIGENT API DOCUMENTATION UNIFICATION PLATFORM FOR AI SYSTEMS

A.Ju. Sadikova

Limited Liability Company «Innotalent», Saint Petersburg, Russia

The article examines the concept of the "Documentic" platform–a system of up-to-date documentation designed for both developers and AI agents. The primary objective of the development is to overcome fragmentation and semantic heterogeneity of API documentation in modern distributed systems. The relevance of creating automated tools for transforming unstructured technical texts into machine-readable specifications for artificial intelligence is substantiated. The proposed platform provides a full cycle of intelligent documentation processing using OCR, NLP methods, large language models, and vector databases. Particular attention is given to the architecture of the "Documentic: API Unification" module, based on a microservices approach, agent-based orchestration, and a hybrid processing pipeline. The practical value of the solution is emphasized in terms of ensuring technological sovereignty and improving the reliability of enterprise AI systems.

Keywords: AI agents, API documentation, intelligent document processing, Documentic, Human-in-the-loop.

УДК 532.517, 519.6, 681.121

ВЫБОР ЧИСЛЕННОГО МЕТОДА ДЛЯ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ТУРБУЛЕНТНОГО ПОТОКА В ЗАДАЧЕ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА ДЫМОВЫХ ГАЗОВ

А.М. Садуллаев, М.Л. Шустрова, В.А. Фафурин

Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань, Россия

В работе решается задача выбора численного метода, наилучшим образом подходящего для моделирования характеристик потока дымовых газов в измерительном трубопроводе при оценке метрологических характеристик ультразвуковых расходомеров. Поведен анализ факторов, влияющих на метрологические характеристики ультразвуковых расходомеров и численных методов, применяемых для моделирования потоков в задачах метрологии.

Ключевые слова: дымовые газы, ультразвуковой расходомер, корректирующий коэффициент, численные методы.

Современные требования [1] к охране окружающей среды диктуют необходимость в точном измерении расхода дымовых газов производственными комплексами. Для решения данной задачи в промышленности применяются

различные типы расходомеров, в том числе расходомеры на основе измерения перепада давления, термоанемометрические массовые расходомеры, вихревые и ультразвуковые расходомеры (УЗР) [2]. УЗР находят широкое применение ввиду возможности установки на действующих трубопроводах без существенного изменения конфигурации технологических линий. Отсутствие подвижных элементов и возможность бесконтактного исполнения также снижают уровень требований к обслуживанию в условиях агрессивной среды дымовых газов [2] и непрерывного характера производственного процесса.

Обеспечение метрологических характеристик, заявленных в паспорте прибора, гарантировано лишь в условиях, соответствующих методике измерений, согласно которым ИТ должен располагаться в области полностью развитого турбулентного течения поскольку вихревые структуры, закрутка потока и неравномерность профиля скорости потока могут привести к дополнительным методическим погрешностям измерения, требующим оценки и учета.

Как правило, условие развитости течения обеспечивается наличием прямолинейных участков трубопровода до и после участка ИТ [3]. На практике трубопроводы обладают сложной геометрической формой, что не позволяет установить УЗР в измерительном трубопроводе (ИТ), соответствующем рекомендуемым характеристикам. Помимо неравномерности профиля скоростей на ИТ влияние на метрологические характеристики УЗР оказывают шероховатость стенок, изменение температуры рабочей среды и диаметр проточной измерительной части.

Применение численных методов позволяет оценить гидродинамические параметры течения дымовых газов в ИТ и внести соответствующие поправки, учитывающие влияние структуры потока на результат измерений [4]. Современные методы вычислительной гидродинамики (CFD) включают широкий спектр математических моделей, выбор которых основывается режимом течения и свойствами рабочей среды. В связи с этим подбор подходящей модели для оценки характеристик течения в ИТ является важной практической задачей.

Целью настоящей работы является выбор численного метода, наилучшим образом подходящего для моделирования характеристик потока дымовых газов в измерительном трубопроводе при оценке метрологических характеристик ультразвуковых расходомеров.

С позиции моделирования поток дымовых газов может быть рассмотрен как несжимаемая изотермическая квази-однофазная среда при допущении о стационарном характере течения без учета гравитационных сил при малой концентрации дисперсной фазы. Принимая во внимание высокие скорости течения и значительные диаметры ИТ, перечисленные допущения позволяют заключить о высокорейнольсовском режиме течения.

Современные методы вычислительной гидродинамики предусматривают широкий спектр подходов к моделированию турбулентных течений.

В работе [6] проведен анализ моделей турбулентности в контексте расчета профиля скорости и гидравлических потерь в гладких трубах с применением

сужающих устройств и показано, что гидродинамические характеристики потока на участке трубопровода до сужения наиболее точно воспроизводят модели семейства $k-\varepsilon$ с усовершенствованной пристеночной функцией (ewt) и SST $k-\omega$. В работе [6] также приведены рекомендации по построению расчетной сетки, обеспечивающей корректное применение данной пристеночной функции. Также указывается, что модели турбулентности SST и S-A не отражают тенденции более ранней стабилизации давления по сравнению с полем скоростей при развитии структуры потока.

С учетом указанных данных в настоящей работе было принято решение ограничить спектр анализируемых моделей семейством $k-\varepsilon$ с усовершенствованной пристеночной функцией (ewt) и SST $k-\omega$.

Гидродинамические параметры потока связаны с метрологическими параметрами УЗР посредством корректирующего коэффициента k, представляющего отношение среднерасходной скорости $\sigma_{\text{ср}}$ к действительной скорости σ:

$$k=\frac{\sigma_{\text{ср}}}{\sigma}.$$

В работе [6] определено, что для невозмущенных осесимметричных профилей потока $0{,}94 \le k \le 0{,}99$, и при этом k имеет вид:

$$k=\left(1+0{,}01\sqrt{6{,}25+431Re^{-0{,}237}}\right)^{-1}.$$

Зависимость для определения k на основе экспериментальных данных Никурадзе имеет вид [6]:

$$k=(1{,}12-0{,}011*lgRe)^{-1} \qquad (1)$$

Результаты сравнения расчетного значения k, определенного на основе вышеуказанных моделей для диапазона чисел Рейнольдса от 5·103 до 5·106, с эмпирическими данными (1), представлены на рисунке 1.

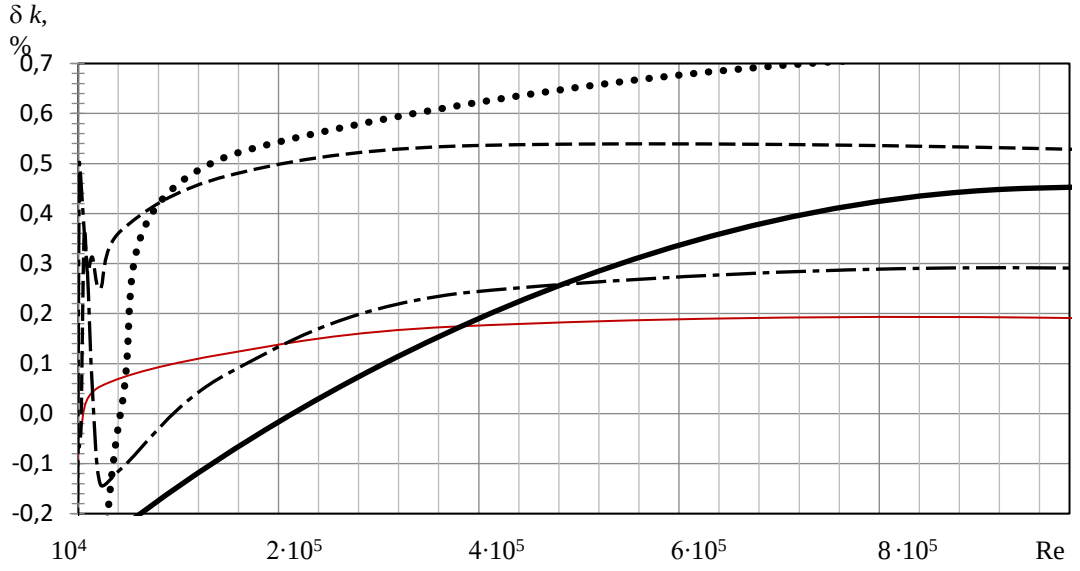


Рисунок 1 – Оценка отклонения результатов численного моделирования с применением анализируемых моделей турбулентности:
_____ – RNG k-ε; ------- –k-ε (стандартная); _.-._.-. – Realizable k-ε; - - - - – k-ω (стандартная), ... – SST k-ω

Анализ представленных на рисунке зависимостей показывает, что наименьшее отклонение корректирующего коэффициента k от экспериментальной зависимости наблюдается при использовании модели RNG $k-\varepsilon$ (ewt). При этом анализируемая разность характеризуется относительно стабильным характером изменения значения корректирующего коэффициента во всем исследуемом диапазоне чисел Рейнольдса, что свидетельствует о способности данной модели наиболее корректно воспроизводить профиль скорости турбулентного течения в круглых трубах при $Re > 10^4$ по сравнению с другими рассмотренными в данной работе моделями.

Список использованных источников

1. Об охране окружающей среды : Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ (ред. от 25.12.2023) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: КонсультантПлюс. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ (дата обращения: 07.08.2026).

2. Патель М. Как выбрать расходомер для мониторинга дымовых газов [Электронный ресурс] // Control Engineering Россия. – 2022. – Март. – Режим доступа: https://controleng.ru/wp-content/uploads/9821.pdf (дата обращения: 07.08.2026).

3. ГОСТ 8.611–2024. Государственная система обеспечения единства измерений. Расход и объем газа. Методика (метод) измерений с применением ультразвуковых преобразователей расхода. – Москва : Российский институт стандартизации, 2025. – 62 с.

4. Felaco E., Gasser I. Modelling, asymptotic analysis and simulation of the gas dynamics in a chimney // Journal of Mathematics in Industry. – 2013. – Vol. 3, Art. 3. – DOI: 10.1186/2190-5983-3-3.

5. Садуллаев А. М., Шустрова М. Л., Фафурин В. А. Численные методы расчета параметров турбулентного потока в задаче измерения расхода дымовых газов // Булатовские чтения : сборник статей. – 2026. – Т. 4. – С. 124–127.

6. Тырышкин Р. А., Сабирзянов А. Н., Фафурин В. А., Фефелов В. В., Явкин В. Б. Расчет профиля скорости и метрологических характеристик ультразвуковых расходомеров при развитом турбулентном течении в гладких трубах // Труды Академэнерго. 2010. № 2. С. 31–39 EDN: MNLKRL. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_14871775_51078927.PDF (дата обращения: 7.08. 2026)

7. Фафурин В. А., Галеев М. К. Расчет корректирующего коэффициента ультразвукового расходомера // Вестник Казанского технологического университета. 2011. С. 152–155. EDN: ONAHOB. URL: https://www.elibrary.ru /download/elibrary_17228505_42171761.pdf (дата обращения: 7.08. 2026)

SELECTION OF A NUMERICAL METHOD FOR CALCULATING TURBULENT FLOW PARAMETERS IN FLUE GAS FLOW MEASUREMENT

A.M. Sadullaev, M.L. Shustrova, V.A. Fafurin

Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

This paper addresses the problem of selecting the numerical method best suited for simulating the flow characteristics of flue gases in a measuring pipeline to evaluate the metrological performance of ultrasonic flowmeters. An analysis is carried out of the factors affecting the metrological performance of ultrasonic flowmeters, as well as of the numerical methods used for flow simulation in metrological applications.

Keywords: flue gases, ultrasonic flowmeter, correction factor, numerical methods.

УДК 004.418, 621.98.044

КОНЦЕПЦИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ И АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ФОРМОВКИ ДЕТАЛЕЙ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНЫМ НАГРУЖЕНИЕМ

Ж.В. Самохвалова[1], Н.В. Самохвалов[2]

[1]Приволжский государственный университет путей сообщения, г. Самара, Россия

[2]Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Россия

Рассматривается концепция информационной системы принятия решений при проектировании технологических процессов магнитно-импульсной обработки материалов и алгоритм инженерного расчёта параметров формовки деталей давлением импульсного магнитного поля. Изложена четырёхэтапная методика расчёта. Описана архитектура программного комплекса, реализующего инженерный и административный режимы работы, как инструмента оперативной оценки параметров процесса перед их уточнением методами численного моделирования.

Ключевые слова: магнитно-импульсная обработка металлов, информационная система, инженерная методика расчёта.

Магнитно-импульсная обработка материалов (МИОМ) – технология формоизменения заготовок кратковременным силовым воздействием импульсного электромагнитного поля, создаваемого разрядом батареи конденсаторов через индуктор. Численное конечно-элементное моделирование с явными решателями

даёт наиболее точное решение прямой задачи, но требует значительных вычислительных ресурсов и не даёт готового решения обратной задачи – определения технологических параметров (энергии разряда, конфигурации индуктора, рабочей частоты) по требуемой форме детали. На практике для первого приближения широко используют инженерные методики, однако соответствующие расчёты обычно выполняются вручную, что снижает воспроизводимость режимов и повышает трудоёмкость подготовки производства.

Цель работы – изложить концепцию информационной системы и алгоритм автоматизированного расчёта технологических параметров формовки деталей магнитно-импульсным нагружением, объединяющий инженерные аналитические методы оперативной оценки с возможностью последующего уточнения параметров численным моделированием.

Нелинейность процессов в системе «индуктор – заготовка» затрудняет создание универсальной методики расчёта параметров МИОМ. Наиболее точные результаты даёт численное моделирование с явными решателями (например, LS-DYNA или KRUG24), однако оно ресурсоёмкое и не решает обратную задачу определения исходных параметров по требуемой форме детали или собираемого узла [1–3]. Для оперативной практики востребованы инженерные (аналитические) методики, опирающиеся на упрощённые модели электрической цепи, распределения поля в зазоре, скин-эффекта и приближённые представления о динамических свойствах материалов.

В отечественной практике наиболее распространены методики [4] и [5]. На их основе в НИЛ-41 Самарского национального исследовательского университета разработана расширенная инженерная методика [6], позволяющая рациональную комбинацию подходов: быстрый инженерный расчёт для первоначальных приближений и выбора оборудования с последующим уточнением режимов численным моделированием для окончательной валидации. Эта методика положена в основу алгоритма расчёта разрабатываемой информационной системы.

Методика расчёта параметров формовки давлением импульсного магнитного поля разбита на четыре последовательных этапа. Первый – определение механических характеристик деформационного процесса: работы деформации, кинетической энергии разгоняемого участка заготовки, требуемого магнитного давления и его связи с рабочей частотой разрядного тока. Второй – выбор МИУ по энергоёмкости с учётом эксплуатационного запаса. Третий – расчёт геометрии индуктора (шаг, число витков и др.) по длине рабочей зоны, собственной индуктивности МИУ, геометрии заготовки и электрофизическим характеристикам материалов. Четвёртый – определение режима работы МИУ: формы токовой кривой и энергии разряда, служащих исходными данными для последующего численного моделирования.

Удельная работа деформации при степенной аппроксимации кривой упрочнения определяется через интенсивность деформации и показатель степенной аппроксимации динамического упрочнения материала. Работа при формоизменении заготовки находится как произведение удельной работы деформации на объём деформируемой части заготовки.

Для трубчатых заготовок (схемы раздачи и обжима) основными технологическими операциями являются формовка цилиндра, конуса, сферы и рифта. При формовке листовых заготовок основными технологическими схемами являются отбортовка отверстий, формовка тороидальных рифтов, формовка сферической, конусной или плоской пуклёвки. При этом необходимо учитывать основные характеристики МИУ: собственную частоту разряда (частота короткого замыкания), максимальную запасаемую энергию. Необходимая величина энергии заряда МИУ определяется по полученной расчетом работе деформации при формоизменении заготовки с учётом оценочной величины коэффициента полезного действия данной операции.

Инженерная методика [6] позволяет рассчитать число витков спирали индуктора, на основании чего производится выбор сечения токопровода индуктора, а также определяется рабочая частота разрядного тока. Исходными данными для этого являются собственная индуктивность магнитно-импульсной установки, удельная электропроводность материала спирали индуктора и материала заготовки. Геометрия деформируемой зоны заготовки определяется по чертежу детали. Доля энергии заряда конденсаторов МИУ, переданной в рабочий зазор между спиралью индуктора и заготовкой, определяется коэффициентом согласования параметров индуктора и МИУ [5]. Его величина зависит от индуктивности системы «индуктор–заготовка» и величины паразитной индуктивности разрядного контура.

Энергия разряда, необходимая для операции с учетом работы деформации, определяется через амплитудное давление импульсного магнитного поля, площадь индуктора, перемещение заготовки к моменту максимума давления, величину зазора и коэффициенты паразитных потерь в системе «установка – индуктор – заготовка» [7]: коэффициент согласования, коэффициент индуктивных потерь в установке и подводящем тракте, коэффициент активных потерь в индукторе и заготовке, коэффициент краевых эффектов (неоднородность поля в зазоре и просачивание поля сквозь материал заготовки). Ввиду трудоёмкости точного расчёта для трёх последних коэффициентов допустимо использовать среднестатистические значения 0,55, 0,75 и 0,95 соответственно [7]; отдельный коэффициент потерь на поле во внутренней полости индуктора учитывается только при раздаче трубчатой заготовки, в остальных схемах принимается равным единице.

Последовательность вычислений – от работы деформации к выбору МИУ, далее к параметрам индуктора и энергии разряда – формирует замкнутый расчётный алгоритм, который непосредственно реализуется программным комплексом информационной системы.

Разработанная информационная система позволяет инженеру-технологу произвести предварительный подбор параметров индуктора и рассчитать в первом приближении параметры процессов формовки деталей при МИОМ. На входе в систему загружаются (выбираются из встроенной библиотеки) данные о заготовке, материале. Технолог задает схему формоизменения заготовки и выбирает доступную МИУ. На выходе системы он получает: требуемую энергию разряда МИУ, необходимые параметры индуктора, рабочую частоту и оценочный КПД процесса. Целью разработки информационной системы является быстрый

расчёт параметров технологического процесса и индуктора, необходимый для принятия предварительных решений на этапе подготовки производства. Затем необходима отработка технологии. Для этого необходима последующая верификации результатов численным моделированием или экспериментальная отработка технологии.

Информационная система работает в двух режимах: 1) инженерном (по умолчанию, для расчётов и формирования отчётов технологом) и 2) административном (поддержка справочной базы и методик расчёта). Система ориентирована на инженерные приближения. Окончательная оптимизация проводится численным моделированием или экспериментом, а во всех отчётах указываются допущения и область применимости используемых формул.

Технология расчёта параметров технологического процесса включает следующие последовательные этапы:

– выбор схемы деформирования и вида технологической операции;

– ввод параметров заготовки, детали и геометрии индуктора;

– расчёт работы деформации при заданном формоизменении;

– выбор МИУ по требуемой энергоёмкости;

– расчёт параметров индуктора (число витков, шаг спирали, сечение шины);

– расчёт режима обработки и необходимой энергии разряда.

Режим администратора включает весь функционал инженерного режима, а также обеспечивает формирование, поддержку и верификацию справочной базы и методик расчёта. Производится полное управление справочными массивами (свойства материалов, параметры МИУ, номенклатура шины, значения КПД). Имеется встроенный визуальный редактор расчётных формул с отображением зависимостей в математической вёрстке LaTeX и изменением их через интерфейс перетаскивания Возможен просмотр текущих расчётных зависимостей и вычисленных значений переменных для верификации методики.

Разработанная информационная модель включает четыре массива данных: 1) свойства материалов заготовок и индукторов; 2) ориентировочные значения КПД для типовых схем; 3) характеристики существующих и проектируемых МИУ; 4) номенклатура медной шины для многовитковых индукторов. Переход в режим администратора защищён двойным нажатием на заголовок «О разработчиках» в окне справки. Это исключает случайное изменение справочных данных.

Инженерный режим обеспечивает быстрый ввод исходных параметров через взаимосвязанные формы с навигацией по кнопкам и наглядный вывод результатов. Элементы интерфейса снабжены подсказками по единицам измерения и допустимым диапазонам, что минимизирует ошибки ввода. Пользователь не имеет прав на изменение справочников и формул. При необходимости он обращается к администратору, обладающему расширенными возможностями и доступом к отладочной информации.

Результаты расчёта можно распечатать или сохранить в текстовом формате. Отчёт включает:

– выбранная МИУ и выполняемая технологическая операция;

– параметры деформируемой заготовки, марка ее материала и размеры;

– длина рабочей зоны индуктора, количество его витков и размеры шины;

– требуемое давление импульсного магнитного поля и частота разрядного тока в индукторе;

– необходимая (рассчитанная) энергия разряда и значения расчётных коэффициентов.

Заключение. Разработанная система передана в опытную эксплуатацию в научно-исследовательскую лабораторию НИЛ-41 «Научно-исследовательская лаборатория прогрессивных технологических процессов пластического деформирования» Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева. В ходе опытной эксплуатации система использовалась для расчёта параметров реальных технологических операций МИОМ. Результаты расчётов, полученные с помощью разработанной системы, находились в пределах допустимой погрешности применяемой методики, что подтверждает практическую пригодность системы для инженерных расчётов. Внедрение системы в опытную эксплуатацию подтверждёно актом внедрения.

Дальнейшее развитие информационной системы связано с расширением справочных массивов о материалах и оборудовании. Следующим этапом является интеграция результатов инженерного расчёта с программными комплексами конечно-элементного моделирования для автоматизированной передачи первичных приближений в качестве исходных данных. При этом возможно накопление статистики применения разработанной методики для уточнения расчётных коэффициентов из опыта производственной апробации системы.

Список использованных источников

1. Самохвалов В.Н. Магнитно-импульсный метод получения прессуемых зажимов многопроволочных проводов контактной сети / В.Н. Самохвалов, Ж.В. Самохвалова, В.С. Целиковская // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2012. – № 3. – С. 53–57. – EDN PBEUJF.

2. Самохвалова Ж.В. Исследование процесса магнитно-импульсной сборки проводов контактной подвески / Ж.В. Самохвалова, В.Л. Григорьев, В.Н. Самохвалов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2006. – № 3 (23). – С. 25–30. – EDN JVYLZJ.

3. Самохвалов В.Н. Моделирование процесса магнитно-импульсного обжима втулки на податливую оправку / В.Н. Самохвалов, Ж.В. Самохвалова // Технологическое обеспечение качества машин и приборов: сборник статей, Пенза, 01–30 апреля 2005 года. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2005. – С. 62–65. – EDN WOBXDV.

4. Белый И.В. Справочник по магнитно-импульсной обработке металлов / И.В. Белый, С.М. Фертик, Л.Т. Хименко. – Харьков: Выща школа, 1977. – 168 с.

5. Попов Ю.А. Некоторые особенности расчета процессов, использующих силовое воздействие импульсного магнитного поля / Ю.А. Попов // Электрофизические процессы при импульсном разряде. – 1977. – № 4. – С. 84– 104.

6. Глущенков В.А. Инженерная методика расчета процессов магнитно-импульсной обработки материалов / В.А. Глущенков, В.Ф. Карпухин. – Самара: Издательский дом «Фёдоров», 2018. – 64 с.

7. Карпухин В.Ф. Определение параметров магнитно-импульсной формовки / В.Ф. Карпухин // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета). – 2012. – № 5-1(36). – С. 228-232. – EDN RTGOHV.

THE CONCEPT OF AN INFORMATION SYSTEM AND AN ALGORITHM FOR CALCULATING THE PARAMETERS OF TECHNOLOGICAL PROCESSES FOR FORMING PARTS BY MAGNETIC-PULSED LOADING

Zh.V. Samokhvalova[1], N.V. Samokhvalov[2]

[1]Volga Region State Transport University, Samara, Russia
[2]Samara National Research University, Samara, Russia

This article examines the concept of an information system for decision-making in the design of magnetic pulse machining processes and an algorithm for engineering calculations of the forming parameters of parts using a pulsed magnetic field. A four-stage calculation methodology is presented. The architecture of a software package implementing engineering and administrative operating modes is described as a tool for quickly assessing process parameters before refining them using numerical modeling methods.

Keywords: magnetic pulse machining of metals, information system, engineering calculation methodology.

УДК 004.4

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ РАСЧЕТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССОВ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ФОРМОВКИ ДЕТАЛЕЙ

Н.В. Самохвалов

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Россия

В статье рассматривается разработка автономной настольной информационной системы, предназначенной для инженерных расчётов технологических параметров процессов магнитно-импульсной обработки металлов. Обосновывается выбор слоисто-модульной монолитной архитектуры и технологического стека на основе Electron, React и Zustand. Описаны этапы инфологического проектирования с применением UML (диаграмма классов предметной области, диаграмма вариантов использования), спроектированный пошаговый пользовательский интерфейс, механизм межпроцессного взаимодействия для доступа к

файловой системе, а также результаты опытной эксплуатации системы в научно-исследовательской лаборатории. Показано, что предложенные архитектурные и технологические решения обеспечивают детерминированность вычислений, простоту сопровождения и удобство работы инженера-технолога.

Ключевые слова: информационная система, инженерный калькулятор, архитектура программного обеспечения, монолитная архитектура.

Расчёт параметров магнитно-импульсной обработки металлов – энергии разряда, рабочей частоты контура, геометрии индуктора, числа витков обмотки, формы токовой кривой – требует совместного учёта электрических характеристик установки, физико-механических свойств материала заготовки и геометрии технологической схемы [1–3]. Выполнение подобных расчётов вручную трудоёмко и подвержено ошибкам, что делает актуальной задачу создания специализированного инженерного калькулятора, автоматизирующего расчёт технологических параметров МИОМ.

Целью работы являлась разработка информационной системы, обеспечивающей инженеру-технологу пошаговый интерфейс ввода исходных данных, автоматизированный расчёт совокупности технологических параметров и формирование отчётной документации по результатам расчёта.

Проектирование – процесс создания прототипа новой системы, удовлетворяющего предъявляемым к ней требованиям [4]. Применительно к разрабатываемому инженерному калькулятору наибольшее значение имеют логическое, архитектурное и интерфейсное проектирование, поскольку конечными пользователями системы являются инженерно-технические работники предприятия, не обладающие специальной подготовкой в области программирования.

Были сформулированы следующие ключевые задачи: выбор и обоснование архитектуры системы; построение структурной схемы; разработка спецификации требований; проектирование прототипа пользовательского интерфейса; выбор комплекса программных средств; проектирование взаимодействия компонентов и обеспечение безопасности данных при работе с файловой системой.

Архитектура программной системы определяет её структуру, состав компонентов, характер их взаимодействия и принципы обработки данных [5]. Среди распространённых архитектурных стилей рассматривались монолитная, клиент-серверная, микросервисная и событийно-ориентированная архитектуры [6]. Поскольку разрабатываемая система выполняет все вычисления локально на компьютере пользователя без обращения к внешним сервисам, а справочные данные хранятся непосредственно рядом с приложением, наиболее обоснованным решением стал выбор монолитной архитектуры, обеспечивающей детерминированность вычислений, простоту развёртывания и удобство сопровождения кода.

Для внутренней организации монолита выбрана комбинация слоистого и модульного подходов. Слоистая организация обеспечивает разделение ответственности между уровнем представления (Presentation), расчётной логикой (Domain/Business) и уровнем доступа к данным (Data Access), а модульная декомпозиция выделяет самостоятельные функциональные области: модуль

расчётов, модуль справочников, модуль формирования отчётов – что облегчает тестирование и создаёт задел для будущего расширения системы.

С точки зрения топологии развёртывания система реализована как автономное настольное приложение: весь стек выполняется на одной машине пользователя без сетевого соединения, а справочные данные встроены в дистрибутив. По степени нагрузки, принимаемой клиентом, приложение относится к категории «толстого» клиента – вся бизнес-логика и расчётные алгоритмы выполняются локально.

Требования определяют свойства, которыми должно обладать программное обеспечение для корректного выполнения предъявляемых к нему функций [7]. Формализация требований осуществлялась в форме функциональной спецификации, назначение которой заключалось в уточнении и детализации необходимых функций расчётного модуля, снижении риска ошибок проектирования и формировании базы для последующего тестирования корректности вычислений.

К числу основных функциональных требований отнесены: пошаговый ввод исходных данных технологической операции; выбор технологической схемы формоизменения (раздача, обжим, листовая формовка); подбор материала заготовки, установки МИУ и токопроводящей шины индуктора из встроенных справочников; автоматизированный итерационный расчёт числа витков индуктора; построение и визуализация токовой кривой разрядного контура; экспорт результатов расчёта и данных токовой кривой в форматах, пригодных для дальнейшего использования, в том числе для конечно-элементного моделирования.

Разработка структурной схемы выполнялась на основе методологии структурного проектирования с использованием алгоритмической декомпозиции: связи между элементами внутри подсистем сильнее, чем связи между самими подсистемами. Структурно система включает три подсистемы. Процесс рендерера отвечает за пользовательский интерфейс – страницы приложения, компоненты пошагового расчёта, хранилище состояния и расчётные модули. Главный процесс управляет жизненным циклом окна приложения, регистрирует обработчики межпроцессного взаимодействия (IPC) для операций с файловой системой и предоставляет безопасный контекстный мост. Файловая система хранит встроенные справочники, загружаемые в приложение при запуске, а также принимает файл результатов расчёта.

Подсистема страниц включает заставку, пошаговый мастер расчёта, редактор формул и справочники (доступны администратору), руководство пользователя и сведения о системе. Расчётный модуль реализует алгоритмы вычисления деформации, работы и скорости деформирования, геометрии индуктора, итерационного расчёта числа витков и построения токовой кривой; все модули вызываются синхронно в процессе рендерера.

Для формализации концептуальной модели предметной области использовался унифицированный язык моделирования UML, обеспечивающий стандартизацию и наглядность представления [8]. Диаграмма классов предметной области отражает ключевые понятия прикладной области и связи между ними без привязки к деталям программной реализации.

Предметная область системы включает семь ключевых классов. Центральным агрегатом модели выступает класс «Расчёт», объединяющий входные параметры всех шагов расчётного процесса и хранящий вычисленные результаты – энергию разряда, рабочую частоту, давление импульсного магнитного поля и др. Класс «Заготовка» характеризуется геометрическими параметрами детали и связан отношением агрегации с классом «Материал», хранящим физико-механические свойства (плотность, пределы текучести и прочности, удельное электрическое сопротивление). Класс «Технологическая схема» определяет вид формоизменения и связанный набор обязательных параметров. Класс «Установка МИУ» описывает электрические параметры разрядного контура и связан отношением ассоциации с классом «Индуктор», который через агрегацию связан с классом «Шина», определяющим материал и сечение токопровода. Справочные классы хранятся в JSON-файлах на диске, а классы, отражающие текущий сеанс расчёта, – в оперативной памяти через хранилище Zustand.

Диаграмма вариантов использования применялась для описания функциональности системы с точки зрения инженера-пользователя: определялись актёры, сценарии их взаимодействия с системой и связи между вариантами использования [9]. Согласно построенной диаграмме, инженер, запустив программу, может ознакомиться с руководством пользователя и сведениями о разработчиках либо перейти к выполнению расчёта. В процессе расчёта пользователь последовательно заполняет поля на каждом из семи шагов мастера; по завершении он может просмотреть график токовой кривой, экспортировать результаты и данные кривой во внешние форматы, а также сбросить текущий расчёт.

В качестве основного языка программирования выбран JavaScript – интерпретируемый язык с динамической типизацией, нативно поддерживаемый средой Node.js и полностью совместимый с фреймворком Electron и сборщиком Vite [10]. Единый язык для всех уровней приложения исключает необходимость трансляции между разнородными технологическими стеками.

Реализация настольного приложения выполнена на базе фреймворка Electron, объединяющего браузерный движок Chromium и среду выполнения Node.js [11]. Формирование интерфейса реализовано средствами декларативной библиотеки React с функциональными компонентами и хуками [12]; маршрутизация – средствами React Router DOM с ограничением доступа к административным разделам через компоненты-охранники маршрутов [13]. Управление состоянием организовано библиотекой Zustand [14], выбранной ввиду меньшего объёма шаблонного кода по сравнению с Redux.

Для отображения расчётных формул применена библиотека KaTeX [15], для построения графика токовой кривой – Recharts (на основе D3.js) [16], для drag-and-drop в редакторе формул – @dnd-kit [17], для стилизации – Tailwind CSS [18]. Сборка проекта выполняется инструментом Vite, формирование итогового портативного исполняемого файла для Windows – пакетом electron-builder. Справочные данные хранятся без применения СУБД – в виде JSON-файлов, что соответствует объёму и характеру информации.

Разработанное приложение является многопроцессным, что определяется архитектурой Electron (рис. 1): при запуске операционная система создаёт главный процесс (electron/main.js), процесс рендерера, выполняющий React-приложение, и процесс графического ускорения.

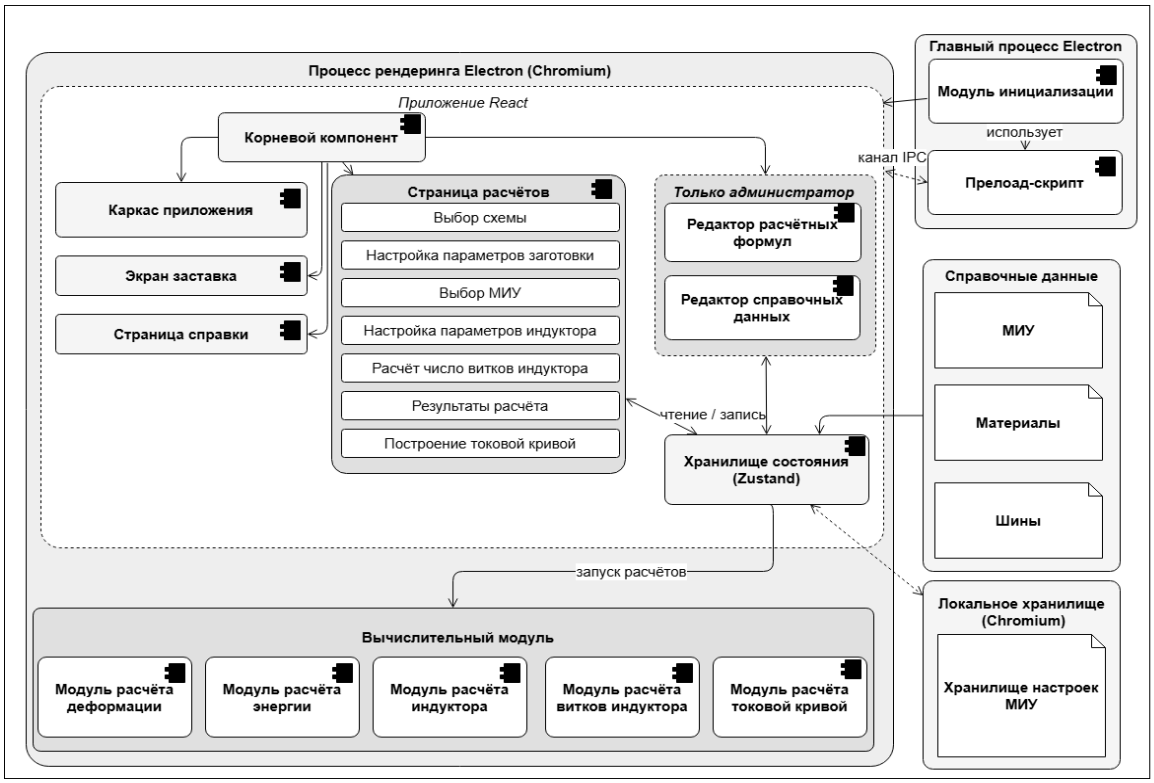


Рисунок1 – Диаграмма компонентов системы

Главный процесс отвечает за создание и управление окном приложения, регистрацию IPC-обработчиков операций с файловой системой и обработку событий жизненного цикла приложения. Поскольку процесс рендерера выполняется в изолированной среде Chromium и по умолчанию не имеет доступа к файловой системе, для его получения используется механизм межпроцессного взаимодействия (IPC): файл electron/preload.js через contextBridge безопасно предоставляет в рендерер функцию window.electronAPI.saveFile(), а файл electron/main.js регистрирует обработчик ipcMain.handle('save-file', ...), открывающий системный диалог сохранения и записывающий данные средствами модуля fs. Весь доступ к файловой системе инкапсулирован в главном процессе, что соответствует модели безопасности Electron.

По завершении расчёта пользователь может сохранить результаты в текстовый файл. Формирование отчёта выполняется в три этапа: сборка данных текущего расчёта из хранилища Zustand, формирование текстовой структуры с разбиением на именованные разделы и приведением числовых значений к читаемым единицам измерения, и сохранение сформированной строки через IPC-вызов диалога «Сохранить как». Пользователь может самостоятельно выбрать разделы, включаемые в отчёт (параметры установки МИУ, заготовки, индуктора, витков, результатов и коэффициентов).

Функциональность расчёта реализована в форме пошагового мастера из семи шагов с индикатором прогресса. На первом шаге инженер выбирает технологическую схему МИОМ (раздача, обжим или листовая формовка); на втором – вводит геометрические параметры заготовки и выбирает материал из справочника (14 алюминиевых и медных сплавов); на третьем – подбирает установку МИУ с отображением её энергетических характеристик и оценкой пригодности для выполнения операции; на четвёртом – задаёт параметры индуктора (материал обмотки, типоразмер шины, величины зазоров).

На пятом шаге система выполняет итерационный расчёт числа витков индукторной обмотки с возможностью ручной корректировки и раздельного отображения внутренних и внешних витков для двухрядных обмоток. Шестой шаг представляет структурированные результаты расчёта – механические характеристики деформации, параметры токовой цепи и геометрию индуктора – с возможностью сохранения отчёта. На седьмом шаге строится интерактивный график затухающей синусоиды разрядного тока с экспортом данных в форматы CSV и k-файл LS-DYNA для использования в качестве кривой нагружения при конечно-элементном моделировании.

Помимо режима инженера, предусмотрен режим администратора, активируемый двойным щелчком по логотипу на странице сведений о системе. В этом режиме доступны визуальный редактор расчётных формул с перетаскиванием переменных и LaTeX-вёрсткой выражений, а также табличный редактор трёх справочников с возможностью добавления, удаления и редактирования записей непосредственно в ячейках.

Сборка дистрибутива выполняется в два этапа: инструмент Vite компилирует React-приложение в набор статических файлов с удалением неиспользуемых CSS-классов Tailwind, после чего пакет electron-builder упаковывает скомпилированные файлы, main-процесс Electron и исполняемую среду (Chromium и Node.js) в единый портативный исполняемый файл для Windows, не требующий установки. Итоговый объём дистрибутива составляет около 106 МБ, из которых порядка 102 МБ приходится на встроенную среду Electron – соотношение, типичное для приложений данного класса.

Разработанная система передана в опытную эксплуатацию в научно-исследовательскую лабораторию НИЛ-41 Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королёва. В процессе опытной эксплуатации система применялась для расчёта параметров реальных технологических операций МИОМ. Полученные результаты находились в пределах допустимой погрешности применяемой инженерной методики, что подтверждает практическую пригодность разработанного средства. Факт внедрения подтверждён соответствующим актом.

Заключение. В результате выполненной работы разработана автономная настольная информационная система для расчёта технологических параметров процессов магнитно-импульсной формовки деталей. Обоснован выбор слоисто-модульной монолитной архитектуры, отвечающей требованиям детерминированности вычислений и автономности работы приложения. Средствами UML

построены диаграмма классов предметной области и диаграмма вариантов использования, формализующие структуру данных и функциональность системы. Реализован пошаговый пользовательский интерфейс, охватывающий полный цикл расчёта – от выбора технологической схемы до визуализации токовой кривой и экспорта результатов, в том числе для конечно-элементного моделирования. Практическая пригодность системы подтверждена результатами опытной эксплуатации в профильной научно-исследовательской лаборатории. Дальнейшее развитие системы связано с расширением библиотеки поддерживаемых технологических схем и материалов, а также с переходом к более гибкой модульной декомпозиции при возрастании функциональных требований.

Список использованных источников

1. Самохвалов, В. Н. Магнитно-импульсный метод получения прессуемых зажимов многопроволочных проводов контактной сети / В. Н. Самохвалов, Ж. В. Самохвалова, В. С. Целиковская // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2012. – № 3. – С. 53-57. – EDN PBEUJF.

2. Самохвалова, Ж. В. Исследование процесса магнитно-мпульсной сборки проводов контактной подвески / Ж. В. Самохвалова, В. Л. Григорьев, В. Н. Самохвалов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2006. – № 3(23). – С. 25-30. – EDN JVYLZJ.

3. Самохвалов В.Н. Моделирование процесса магнитно-импульсного обжима втулки на податливую оправку / В.Н. Самохвалов, Ж.В. Самохвалова // Технологическое обеспечение качества машин и приборов: сборник статей, Пенза, 01–30 апреля 2005 года. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2005. – С. 62–65. – EDN WOBXDV.

4. ГОСТ 34.003-90. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2009. – 14 с.

5. Фаулер, М. Шаблоны корпоративных приложений / М. Фаулер; пер. с англ. – М.: Вильямс, 2010. – 544 с.

6. Буч, Г. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений / Г. Буч, Р. Максимчук, М. Энгл и др.; пер. с англ. – 3-е изд. – М.: Вильямс, 2010. – 720 с.

7. Методы и средства инженерии программного обеспечения [Электронный ресурс].URL: https://intuit.ru/studies/courses/2190/237/lecture/6118 (дата обращения 08.08.2026).

8. UML: что за язык моделирования, преимущества использования [Электронный ресурс]. URL: https://practicum.yandex.ru/blog/uml-diagrammy/ (дата обращения 08.08.2026).

9. Диаграмма прецедентов [Электронный ресурс]. URL: https://docs.system-analyst-base.ru/hard-skills/proektirovanie/notacii-i-diagrammy/uml/diagramma-precedentov-use-case (дата обращения 08.08.2026).

10. JavaScript. Справочник по языку на MDN Web Docs [Электронный ресурс]. – URL: https://developer.mozilla.org/ru/docs/Web/JavaScript (дата обращения: 08.08.2026).

11. Electron. Кроссплатформенный фреймворк. Официальная документация [Электронный ресурс]. – URL: https://www.electronjs.org/docs/latest (дата обращения: 08.08.2026).

12. React. Декларативная UI-библиотека. Официальная документация [Электронный ресурс]. – URL: https://react.dev (дата обращения: 08.08.2026).

13. React Router. Библиотека маршрутизации. Официальный сайт [Электронный ресурс]. – URL: https://reactrouter.com/ (дата обращения: 08.08.2026).

14. Zustand. Библиотека управления состоянием. Документация проекта на GitHub [Электронный ресурс]. – URL: https://github.com/pmndrs/zustand (дата обращения: 08.08.2026).

15. KaTeX. Библиотека математической вёрстки. Официальный сайт [Электронный ресурс]. – URL: https://katex.org (дата обращения: 08.08.2026).

16. Recharts. Библиотека диаграмм для React. Официальный сайт [Электронный ресурс]. – URL: https://recharts.org (дата обращения: 08.08.2026).

17. dnd kit. Набор библиотек для реализации drag-and-drop в React. Официальный сайт [Электронный ресурс]. – URL: https://dndkit.com/ (дата обращения: 08.08.2026).

18. Tailwind CSS. Утилитарный CSS-фреймворк. Официальный сайт [Электронный ресурс]. – URL: https://tailwindcss.com (дата обращения: 08.08.2026).

DEVELOPMENT OF AN INFORMATION SYSTEM FOR CALCULATION OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF MAGNETIC PULSE FORMING PROCESSES

N.V. Samokhvalov

Samara National Research University,
Samara, Russia

This article discusses the development of a standalone desktop information system designed for engineering calculations of process parameters for magnetic pulse metal processing. The choice of a layered, modular monolithic architecture and a technology stack based on Electron, React, and Zustand is justified. The article describes the stages of information design using UML (domain class diagram, use case diagram), the designed step-by-step user interface, the interprocess communication mechanism for accessing the file system, and the results of a pilot run of the system in a research laboratory. It is shown that the proposed architectural and technological solutions ensure deterministic calculations, ease of maintenance, and ease of use for the process engineer.

Keywords: information system, engineering calculator, software architecture, monolithic architecture.

УДК 004.94

РАЗЛОЖЕНИЕ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ ИСХОДА ПО ВЕРОЯТНОСТИ ПОБЕДЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ БАЛАНСА И ДИНАМИЧНОСТИ БОЕВЫХ ВСТРЕЧ В НАСТОЛЬНЫХ РОЛЕВЫХ ИГРАХ

А.Г. Свириденков, К.Э. Фадеев

Смоленский государственный университет,
г. Смоленск, Россия

В статье рассматривается приложение метода Монте-Карло к двум задачам мастера D&D 5-й редакции – оценке баланса боя и его динамичности. Официальные инструменты (Challenge Rating, бюджет опыта) неточны систематически. Альтернатива такова: бой прогоняется в симуляторе тысячи раз, доля побед оценивает вероятность победы партии, а колебания этой доли от раунда к раунду – неопределённость исхода, или «бюджет драмы». Соответствующее тождество выводится через мартингальное свойство вероятности победы; затем подключается разложение неопределённости на вклад выбора и вклад удачи, благодаря чему тактическая насыщенность боя становится измеримой величиной.

Ключевые слова: имитационное моделирование, метод Монте-Карло, вероятность победы, настольные ролевые игры, Dungeons & Dragons, игровой баланс.

Среди задач, которые мастер решает при подготовке сессии, бой – пожалуй, самая ответственная. Особенно в системах, где правила повернуты в первую очередь на игру, а не на нарратив или симуляцию, и где ведущий – единственный арбитр за столом, контролирующий всё, что происходит. D&D 5-й редакции относится именно к таким системам: бóльшая часть правил в ней регулирует бой, а сам бой подан как вызов, в котором игроки могут и победить, и проиграть. На практике, однако, эти два исхода неравнозначны. Победа – игра продолжается, мастер вознаграждает персонажей и подводит их к следующим сценам, в том числе новым боям; поражение – игра, как правило, просто заканчивается.

И эта асимметрия тем сильнее, чем ниже уровень, на котором идёт игра. На низких уровнях летальность выше, а у игроков механически меньше способов свести бой к нелетальному для персонажей финалу – скажем, к организованному побегу. Тем не менее именно низкие уровни остаются самым частым выбором; это понятно – меньше сущностей и опций, проще планировать и отслеживать, проще при подготовке достичь того, что можно назвать сбалансированностью и динамичностью встречи.

Что это два разных свойства – стоит проговорить отдельно. Сбалансированность: встреча ни тривиальна, ни заведомо смертельна, у игроков есть реальный шанс на победу, но и риск поражения не иллюзорен. Динамичность: развитие боя во времени. У плохой встречи исход ясен рано и дальше уже не меняется; у хорошей – неопределённость держится до последних бросков костей. Эти два требования, что немаловажно, логически независимы. Встреча может быть идеально честной по начальным шансам – и при этом скучной, если перевес одной

из сторон выявляется уже в первых раундах и дальше только нарастает. Бывает и наоборот: встреча, объективно опасная, способна держать напряжение до самого финала.

Сложность задаче добавляет то, что исход встречи определяется не какой-то одной величиной, а взаимодействием многих величин: состава партии персонажей, набора её способностей, расстановки и ландшафта карты, очерёдности хода (инициативы), накопленных за игровой день ресурсов, а также собственно случайности – результат большинства действий определяется бросками костей. При таком количестве вводных возможность точно свести подготовку встречи к одному табличному показателю естественно отпадает, и появляется требование расчётного подхода, который описывал бы встречу не единственным ярлыком «легко/сложно», а более содержательными количественными характеристиками – распределением возможных исходов и профилем напряжения.

Прежде чем переходить к предлагаемому подходу, стоит разобраться, почему штатные инструменты с этой задачей плохо справляются. Правила дают ведущему связку из двух величин: рейтинг вызова противника (Challenge Rating, CR), приблизительно характеризующий опасность отдельного существа, и бюджет опыта (XP), который рассчитывается по уровню и числу персонажей под заданную трудность встречи. CR существа сводит воедино его наступательные характеристики (число и точность атак, наносимый урон, особые способности) и оборонительные (запас очков здоровья, класс доспеха, спасброски, сопротивления), после чего переводится в опыт. Схема выглядит простой; однако её систематическая неточность подтверждается с нескольких независимых сторон.

Во-первых, методика плохо учитывает так называемую экономику действий (action economy) – суммарное число действий, которое каждая из сторон успевает совершить за раунд. Поскольку боевая эффективность во многом определяется тем, сколько атак и способностей разыгрывается в единицу времени, добавление к встрече лишнего противника или, наоборот, лишнего персонажа меняет её реальную трудность сильнее, чем предсказывает простое суммирование опыта. Один сильный противник против партии из нескольких персонажей оказывается в невыгодном положении: он действует один раз за раунд против нескольких действий партии и нередко гибнет, не успев себя проявить; и напротив, несколько слабых противников совокупно гораздо опаснее, чем подсказывает их суммарный CR. Чтобы как-то отразить этот эффект, прежняя редакция вводила поправочный множитель, повышавший расчётную сложность группы существ; но и сам этот множитель был откалиброван неудачно.

Дальше – о нелинейности. Опыт начисляется по CR, но боевая сила существа складывается из запаса здоровья, урона и числа действий – а эти величины растут по своим шкалам, не совпадающим со шкалой опыта. В итоге две встречи с одинаковым бюджетом XP по фактической смертоносности могут различаться существенно. Бюджет систематически недооценивает и одиночных усиленных противников, и крупные группы слабых – и именно эту нестыковку предлагаемый ниже метод позволяет измерить напрямую, а не через табличные допущения.

Наконец, показатель сложности по построению не видит контекста – состава партии, её ресурсов, рельефа, инициативы. Хотя все эти факторы меняют исход сильно: хорошо отдохнувшая партия с удачным набором заклинаний справится с номинально опасной встречей, измотанная за день проиграет формально лёгкую.

Но для нашей задачи существеннее другое обстоятельство: даже если бы CR и XP идеально предсказывали летальность, они оценивали бы лишь усреднённый исход и по-прежнему ничего не сообщали бы о том, как напряжение распределено во времени, – то есть о динамичности, втором из двух поставленных требований.

В качестве расчётной альтернативы в настоящей работе применяется имитационное моделирование, а именно метод Монте-Карло – численный метод решения задач посредством многократного моделирования случайных величин [1, 2]. Метод восходит к работам середины XX века (Дж. фон Нейман, С. Улам, Н. Метрополис; в отечественной традиции – Н.П. Бусленко, И.М. Соболь, С.М. Ермаков) и опирается на простую идею: вместо аналитического вычисления искомой величины проводят большое число случайных испытаний и оценивают её по их статистике, причём погрешность оценки убывает примерно как корень из числа испытаний [3, 4]. Применительно к бою это означает следующее. Реализуется упрощённый симулятор, воспроизводящий правила игры – броски двадцатигранного кубика на попадание, броски на урон, очерёдность ходов, выбор целей и гибель участников, – после чего одно и то же столкновение прогоняется тысячи или десятки тысяч раз с независимыми случайными бросками. Доля побед оценивает вероятность победы партии; при этом в отличие от ярлыка сложности численный эксперимент даёт целое распределение исходов. Главный риск – TPK (Total Party Kill): гибнут все персонажи, приключение обрывается. Бой в D&D дискретен, пошагов и насквозь случаен, поэтому метод Монте-Карло для него особенно уместен: правила прямо задают переход между состояниями.

Центральным понятием подхода является текущая вероятность победы партии, которую далее мы обозначаем через W. Идея характеризовать конфликт вероятностью победы и связывать её с соотношением сил сторон давно применяется в отечественном математическом моделировании боевых действий [5]; здесь она переносится на масштаб отдельной боевой встречи ролевой игры. Существенно, что эту величину можно оценивать методом Монте-Карло не только в начале боя, но и из любого промежуточного состояния: достаточно зафиксировать текущее положение дел (оставшиеся очки здоровья всех участников и то, чья очередь ходить) и запустить из него множество дополнительных прогонов до конца боя. По мере того как столкновение развивается, величина W меняется от раунда к раунду, и именно эти колебания содержательно отражают напряжение. Пока W заметно колеблется – то поднимаясь, то опускаясь, – исход остаётся неопределённым, и бой воспринимается как напряжённый и динамичный; если же W быстро уходит к нулю или единице и далее почти не меняется, значит, бой «решился» преждевременно, и оставшиеся раунды лишь доигрывают предрешённый результат. Родственная интуиция – что увлекательные игры дольше

прочих сохраняют неопределённость исхода – ниже получает количественное выражение через те же колебания W.

Ключевой результат, который мы применяем, связывает суммарное напряжение боя с его начальным балансом и допускает аккуратное обоснование. Будем измерять полную «драму» столкновения как сумму квадратов изменений вероятности победы по всем раундам. Оказывается, что среднее значение этой суммы в точности равно начальной неопределённости боя:

$$E[\Sigma(\Delta W\_t)^2] = W_0(1 - W_0)$$

где W_0 – вероятность победы в самом начале столкновения, а ΔW – изменение этой вероятности за очередной раунд. Чтобы обосновать тождество, заметим, что корректно вычисленная вероятность победы образует мартингал. В самом деле, значение W после очередного раунда есть условное математическое ожидание итогового исхода боя (победа – единица, поражение – ноль) при всей информации, известной к этому моменту; поэтому по свойству повторного математического ожидания ожидаемое значение W в следующем раунде равно её текущему значению [6]. Содержательно это означает, что заранее нельзя предсказать, в какую сторону в среднем сместятся шансы в следующем раунде, – если бы было можно, текущая оценка уже была бы другой. Следовательно, приращения ΔW имеют нулевое условное среднее. Запишем полное изменение вероятности как телескопическую сумму приращений (от начального W_0 до итогового значения, равного нулю или единице), возведём её в квадрат и возьмём математическое ожидание. Все смешанные произведения приращений за разные раунды обращаются в ноль, поскольку приращения мартингала некоррелированы, и остаётся равенство среднего суммы квадратов приращений математическому ожиданию квадрата полного изменения. Последнее же есть дисперсия итога, принимающего значения нуль или единица со средним W_0, то есть равно $W_0(1 - W_0)$. Отсюда и следует искомое тождество.

Эта величина достигает максимума при $W_0 = 0{,}5$, когда шансы сторон изначально равны: предельно сбалансированная встреча несёт наибольший запас драмы. Практический смысл соотношения важен для проектирования встреч. Объём доступной драмы задаётся исключительно начальным балансом боя и не может быть увеличен никакими ухищрениями по ходу столкновения – его можно лишь по-разному распределить во времени. Один и тот же «бюджет» можно израсходовать на немногочисленные крупные колебания ближе к развязке, и тогда бой ощущается кинематографичным, с напряжённой кульминацией; а можно размазать на множество мелких незначительных изменений, и тогда столкновение, формально оставаясь сбалансированным, кажется затянутым и вялым. Распределение драмы во времени, а не только её суммарный объём, оказывается отдельной проектной характеристикой встречи.

Драму естественно разложить не только по времени, но и по источнику. Внутри одного раунда изменение вероятности победы происходит в два этапа: сначала игрок принимает осознанное решение (куда переместиться, какую способность или ресурс потратить, какого противника атаковать), а затем результат этого решения разыгрывается броском кубика. Соответственно приращение вероятности распадается на вклад выбора – насколько принятое решение сдвинуло

шансы ещё до броска, в ожидании, – и вклад удачи – насколько сам бросок сдвинул шансы относительно этого ожидания. Применяя к каждому раунду закон полной дисперсии (дисперсия складывается из дисперсии условных средних и среднего условных дисперсий) и суммируя по раундам с тем же мартингальным тождеством, получаем, что бюджет драмы делится между двумя источниками без остатка [6]:

$$W_0(1 - W_0) = D\_выбор + D\_удача$$

Здесь первое слагаемое – «межгрупповая» составляющая дисперсии, отвечающая за то, насколько различаются ожидаемые исходы при разных доступных решениях; второе – «внутригрупповая», отвечающая за разброс результатов от бросков при уже зафиксированном решении. Это разложение делает измеримой ту характеристику боя, которую мастера обычно описывают лишь интуитивно как «тактическую глубину». Тактически насыщенный, «думательный» бой – это бой с высокой долей драмы от выбора: решения игроков (выбор позиции, цели, момента для траты сильной способности) реально и заметно влияют на исход. Напротив, деградация боя в режим «стоять и бить», когда оптимальная стратегия очевидна и сводится к механическому повторению одного и того же действия, означает, что почти вся драма приходится на удачу, а доля выбора близка к нулю – игроки лишь наблюдают за бросками. Тем самым расплывчатая и обычно непроверяемая цель «не скатываться в стоять-и-бей» превращается в конкретную измеримую долю, которую можно отслеживать и сознательно повышать.

У предлагаемой метрики есть границы применимости, которые следует оговорить явно. Самое прямое ограничение: она измеряет лишь механическую способность боя порождать напряжение – то, насколько правила и состав встречи в принципе позволяют исходу оставаться неопределённым и зависеть от решений, – но не то, было ли реально интересно за столом. За пределами модели остаётся целый класс факторов, во многом и определяющих удовольствие от игры: драматургия и обстановка сцены, отыгрыш ролей, мотивация и взаимоотношения персонажей, сыгранность и настроение конкретной группы, мастерская подача и темп повествования, а также небоевые цели встречи – спасение заложника, удержание позиции в течение нескольких раундов, организованное отступление. Метрика к таким целям нечувствительна и для встреч, где победа измеряется не истреблением противника, требует переопределения самого события «победы».

Далее, любые её выводы осмысленны лишь при условии, что симулятор откалиброван: предсказанные им вероятности должны систематически проверяться на исходах реально сыгранных боёв. При этом принципиально важно калибровать симуляцию именно по фактическим результатам игры, а не по официальным CR и XP: в противном случае модель просто впитает и воспроизведёт ошибки тех самых инструментов, недостатки которых мы стремимся преодолеть, и анализ окажется замкнутым на себе.

Наконец, оценка доли выбора неявно предполагает, что моделируемые участники принимают разумные тактические решения: если симулятор играет за стороны заведомо плохо или, наоборот, идеально-оптимально, измеренная доля агентности будет смещена и потребует осторожной интерпретации.

Для иллюстрации – учебная реализация на Python. Бой упрощён: два персонажа против двух противников; каждый живой участник бьёт врага с наименьшим здоровьем, бросая d20 против класса доспеха и при попадании нанося урон d6+бонус. Раунд – ход партии плюс ответный ход противников; бой идёт до гибели одной из сторон. Функция win_prob оценивает вероятность победы из любого состояния методом Монте-Карло. Главная часть программы оценивает начальную W_0, затем – среднюю «драму» как сумму квадратов изменений W по раундам, и сравнивает с теоретическим $W_0(1 - W_0)$. Параметры вынесены в начало; рост числа внутренних прогонов уменьшает смещение оценки драмы.

```
import random
PC_HP, PC_HIT, PC_DMG, PC_AC = 10, 5, 3, 13
MON_HP, MON_HIT, MON_DMG, MON_AC = 14, 5, 3, 13
def attack(hit_bonus, dmg_bonus, target_ac):
    """Бросок d20 на попадание, при успехе – бросок урона."""
    roll = random.randint(1, 20)
    if roll == 20 or (roll != 1 and roll + hit_bonus >= target_ac):
        return random.randint(1, 6) + dmg_bonus
    return 0
def play_round(pc, mon):
    """Один раунд: ход партии, затем ход противников."""
    for _ in [h for h in pc if h > 0]:
        alive = [j for j, h in enumerate(mon) if h > 0]
        if not alive: break
        t = min(alive, key=lambda j: mon[j])
        mon[t] -= attack(PC_HIT, PC_DMG, MON_AC)
    for _ in [h for h in mon if h > 0]:
        alive = [j for j, h in enumerate(pc) if h > 0]
        if not alive: break
        t = min(alive, key=lambda j: pc[j])
        pc[t] -= attack(MON_HIT, MON_DMG, PC_AC)
def over(pc, mon):  return all(h <= 0 for h in pc) or all(h <= 0 for h in mon)
def win(pc, mon):   return all(h <= 0 for h in mon) and any(h > 0 for h in pc)
def rollout(pc0, mon0):
    """Полный прогон боя из заданного состояния."""
    pc, mon = list(pc0), list(mon0)
    while not over(pc, mon):
        play_round(pc, mon)
    return 1 if win(pc, mon) else 0
def win_prob(pc0, mon0, m):
    """Оценка вероятности победы по m прогонам."""
    return sum(rollout(pc0, mon0) for _ in range(m)) / m
START_PC, START_MON = [PC_HP, PC_HP], [MON_HP, MON_HP]
W0 = win_prob(START_PC, START_MON, 10000)
print(f"W0 = {W0:.3f}, W0*(1-W0) = {W0 * (1 - W0):.4f}")
K, M, dramas = 600, 600, []
for _ in range(K):
```

```
    pc, mon, w_prev, d = list(START_PC), list(START_MON), W0, 0.0
    while not over(pc, mon):
      play_round(pc, mon)
      w_now = (1.0 if win(pc, mon) else 0.0) if over(pc, mon) \
            else win_prob(pc, mon, M)
      d += (w_now - w_prev) ** 2
      w_prev = w_now
    dramas.append(d)
print(f"Средняя драма = {sum(dramas) / len(dramas):.4f}")
# Пример результата:
#   W0 = 0.466, W0*(1-W0) = 0.2489
#   Средняя драма = 0.2514
# Эмпирическая драма практически совпадает с W0*(1-W0); небольшое
# превышение объясняется конечным числом внутренних прогонов M.
```

Запуск подтверждает тождество: для сбалансированной встречи W_0 выходит около 0,47, «драма» – около 0,25, что практически совпадает с теоретическим $W_0(1 - W_0)$. Даже предельно простая модель численно воспроизводит ключевое свойство метрики [7].

Отметим, где это может пригодиться мастеру. Прежде всего – заблаговременная оценка риска TPK и тонкая настройка сложности под конкретную партию, а не под усреднённые табличные значения. Далее – сознательный уход от «стоять и бить» через рост доли выбора (рельеф, позиционирование, ограниченные ресурсы). Сюда же относятся сравнение нескольких вариантов одной встречи между собой, балансировка серии столкновений в пределах игрового дня и проектирование «боссов» с удержанием неопределённости до поздних раундов. Наконец, это обучение начинающих мастеров через наглядную количественную обратную связь.

Сразу оговоримся: настоящая работа не предлагает принципиально нового метода. Она применяет и адаптирует к задаче проектирования боевых встреч в Dungeons & Dragons уже известные подходы – имитационное моделирование методом Монте-Карло и представление конфликта через вероятность победы [8, 9]. Объединённые же в виде метрик на основе вероятности победы, перечисленные идеи дают мастеру содержательный и проверяемый инструмент оценки баланса и динамичности встреч, заметно более информативный, чем официальные CR и XP. Естественными направлениями дальнейшей работы являются калибровка симулятора по реальным сыгранным боям с контролем качества прогнозов, расширение модели боя за счёт более богатой механики (состояния, реакции, заклинания, особенности местности) и эмпирическая проверка того, насколько измеренная доля выбора согласуется с экспертными оценками тактической глубины встреч.

Список использованных источников

1. Метод статистических испытаний (метод Монте-Карло) / Н. П. Бусленко, Д. Голенко, И. М. Соболь [и др.]. – Москва : Физматгиз, 1962. – 332 с. – EDN ZGEMDT.

2. Ермаков С. М. Метод Монте-Карло и смежные вопросы / С. М. Ермаков. – 2-е издание, переработанное и дополненное. – М.: Наука, 1975. – 472 с.– EDN SVZXDT.

3. Бусленко Н. П. Метод статистического моделирования / Н. П. Бусленко. – М.: Статистика, 1970. – 109 с. – EDN LWFSDJ.

4. Михайлов Г. А. Численное статистическое моделирование. Методы Монте-Карло: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки "Прикладная математика" / Г. А. Михайлов, А. В. Войтишек. – М: Академия, 2006. – 367 с. – EDN QMQLKT.

5. Шумов В. В. Математические модели боевых и военных действий / В. В. Шумов, В. О. Корепанов // Компьютерные исследования и моделирование. – 2020. – Т. 12, № 1. – С. 217-242. – DOI 10.20537/2076-7633-2020-12-1-217-242. – EDN OVCWLH.

6. Ширяев А. Н. Вероятность : В 2-х кн. Кн. 1. / А. Н. Ширяев. – М.: МЦНМО, 2007. – 552 с. – ISBN 978-5-94057-105-6. – EDN SDSFEL.

7. Козлов С. В. Применение норм, весов и мер близости в качестве метода оптимизации поисковых запросов / С. В. Козлов, А. В. Кирикова // Наука. Исследования. Практика: сборник избранных статей по материалам Международной научной конференции, Санкт-Петербург, 26 октября 2021 года. – Санкт-Петербург: Гуманитарный национальный исследовательский институт НАЦРАЗВИТИЕ, 2021. – С. 68-70. – DOI 10.37539/SRP299.2021.96.29.003. – EDN ERZRJS.

8. Пономарева В. А. Разработка визуальной новеллы с использованием фреймворка Ren'Py / В. А. Пономарева // Развитие научно-технического творчества детей и молодежи: Сборник материалов IX Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Смоленск, 18 апреля 2025 года. – Киров: Межрегиональный центр инновационных технологий в образовании, 2025. – С. 52-57. – EDN PGDXAS.

9. Козлов С. В. Взаимодействие языка программирования C# с межплатформенной средой разработки Unity / С. В. Козлов, И. О. Меженцев // Системы компьютерной математики и их приложения. – 2019. – № 20-1. – С. 193-199. – EDN IDESXB.

ASSESSING THE BALANCE AND DYNAMISM OF COMBAT ENCOUNTERS IN TABLETOP ROLE-PLAYING GAMES VIA OUTCOME UNCERTAINTY

A.G. Sviridenkov, K.E. Fadeev

Smolensk State University,
Smolensk, Russia

The article examines the application of the Monte Carlo method to two tasks of the 5th edition D&D master – assessing the balance of battle and its dynamism. The method: the encounter is replayed thousands of times in a simulator with independent rolls; the win fraction estimates the party’s win probability, and its round-to-round fluctuations estimate the outcome uncertainty – the «drama budget». The matching

identity is derived through the martingale property of the win probability; a known decomposition of uncertainty into a choice component and a luck component then turns the tactical richness of a fight into a measurable quantity.

Keywords: simulation modelling, Monte Carlo method, win probability, tabletop role-playing games, Dungeons & Dragons, game balance.

УДК 004.8:336.76

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ЦИФРОВЫХ СТРАТЕГИЯХ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ФОНДОВ

А.С. Скрипка, А.В. Базеенков

Смоленский государственный университет,
г. Смоленск, Россия

В работе рассматривается применение искусственного интеллекта в формировании стратегий инвестиционных фондов. Проведено сравнение инвестиционного портфеля, сформированного чат-интерфейсом DeepSeek, со стратегиями высокодоходных фондов акций. Установлено, что рекомендации искусственного интеллекта близки к профессиональным стратегиям по диверсификации и использовании деривативов, но отличаются горизонтом инвестирования и доле защитных активов. В заключение отмечается возможность применения гибридных систем, как инструмента аналитики в руках эксперта.

Ключевые слова: искусственный интеллект, инвестиционные фонды, инвестиционный портфель, риск-менеджмент, цифровизация.

Сегодня финансовый рынок меняется очень быстро, для увеличения прибыли фонды активно применяют компьютерные технологии и инструменты искусственного интеллекта (ИИ) [1, 2]. Традиционные методы анализа уже испытывают трудность с обработкой больших количества данных. Статистика показывает, что именно инвестиционные фонды зарабатывают больше всех (рентабельность составляет 24%), потому что они внедряют цифровые технологии и умные алгоритмы быстрее и больше остальных [3]. ИИ стал главным помощником инвестора: он помогает обрабатывать огромные объемы данных, находить скрытые закономерности и прогнозировать изменения рынка в условиях постоянного риска и больших колебаний цен активов [4]. Сравнительный анализ ключевых секторов (банков, страховых компаний, негосударственных пенсионных фондов и микрофинансовых организаций) наглядно показывают лидерство инвестиционных структур по рентабельности активов и капитала.

Таблица 1 – Общая прибыльность участников финансового рынка, 2023–2025 г.

Сектор	2023 г., млрд руб.	2024 г., млрд руб.	2025 г., млрд руб.	ROA, %	ROE, %
Банки	1120	1050	1100	1,9	21,8
Страховые компании	340	360	385	2,3	19,7
Негосударственные пенсионные фонды	120	130	145	2,0	16,5
Инвестиционные фонды	85	95	110	3,1	24,0
Микрофинансовые организации	25	28	32	2,5	18,2

По данным таблицы 1 несмотря на то, что большую часть занимает банковская отрасль, хотя наивысшая результативность у инвестиционных фондов, рентабельность капитала (ROE) составляет 24%, что на 2,2% больше самой большой части. Это подтверждает эффективность их работы с инвестиционным портфелем. При этом наибольший прирост (41,7%) показали фонды, стратегии которых строились на высокой концентрации рисковых активов (до 80% акций) с ориентацией на долгосрочный горизонт в 1-3 года, что максимизировало доходность в обмен на высокую волатильность. Так же можем заметить, что с ростом прибыльности наблюдается ускоренная цифровизация сектора. Это позволяет предположить, что высокий уровень цифровизации является ключевым фактором высокой доходности.

В противовес такой стратегии рассмотрим портфель, сформированный ИИ. В качестве примера возьмём чат-интерфейс DeepSeek, который основывался на данных Московской биржи. ИИ предложил сверхдиверсифецированную структуру из 11 активов: акционная часть составила лишь 35% (GAZP, SBER, MTSS, ALRS), фиксированно-доходная часть (ОФЗ и корпоративные облигации) – 30%, защитные активы и ETF (золото, индексные фонды) – 20%, а инструменты ликвидности – 15% [5].

Таблица 2 – Сравнение стратегий ИИ и инвестиционных фондов

Параметр	Инвестиционные фонды [4])	Искусственный Интеллект (DeepSeek) [5]
Целевая доходность	Максимальная (41,7% за 2023-2025 г.)	Умеренная, с поправкой на риск
Горизонт инвестирования	Долгосрочный (1-3 года)	Краткосрочный (3-6 месяца)
Структура активов	Концентрация на акциях (до 80%)	Сбалансированный: 35% акций, 30% облигаций, 35% инструменты ликвидности и защитные активы
Степень диверсификации	Умеренная	Высокая
Управление рисками	Высокая волатильность активов	Защита от рисков с помощью опционов и фьючерсов

Анализ таблицы 2 показывает различия двух подходов. Инвестиционные фонды осознанно идут на большие риски ради большой максимальной доходности, пока ИИ выбрал путь максимальной диверсификации и минимизации рисков.

Таким образом, ИИ демонстрирует навыки способности в управлениях рисками. В отличие от традиционных методов, алгоритмы глубокого обучения способны выявлять нелинейные зависимости в данных и адаптироваться к резким изменения рынка [6, 7]. ИИ обработала колоссальные объемы информации (ликвидность эмитентов, дивидендную историю, корреляцию активов) и выстроила портфель, который устойчив к краткосрочным шокам. Но ИИ не смог обеспечить ту агрессивную доходность, которые показывали фонды.

Это приводит к выводу: ИИ не должен заменять человека в принятии стратегического решения. Нейросети превращаются в инструмент для извлечения данных из информационного шума и создания закономерности рынка [8]. Наиболее эффективным направлением является развитие гибридных систем. В такой связке ИИ берет на себя рутинные задачи: анализирует ликвидность, считает риски и автоматически страхует портфель с помощью деривативов, а эксперт задает общие цели и принимает финальные решения. Как отмечают исследователи, такой подход позволяет использовать всю мощь алгоритмов, но при этом сохранять человеческий контроль. Кроме того, будущее управления рисками связано с переходом от простого реагирования на проблемы к их предсказанию. В руках грамотного специалиста ИИ становится незаменимым помощником в создание доходного и надежного портфеля.

Список использованных источников

1. Козлов С. В. Анализ LSTM и GRU моделей для построения прогнозов временных рядов / С. В. Козлов, С. А. Седенков // International Journal of Open Information Technologies. – 2024. – Т. 12, № 7. – С. 43-50. – EDN DMKFKO.

2. Быков А. А. Соответствие Галуа как интеллектуальный инструмент принятия решений / А. А. Быков, С. В. Козлов // Естественные и технические науки. – 2024. – № 5(192). – С. 253-255. – EDN DPQYEX.

3. Копылов М. Р. Искусственный интеллект в управлении финансовыми рисками: современные вызовы и перспективы / М. Р. Копылов // Актуальные вопросы современной экономики. – 2025. – № 4. – С. 256-260. – EDN UISQHE.

4. Носова Т. П. Стратегии улучшения эффективности деятельности участников финансового рынка / Т. П. Носова, А. Е. Кусая // Кластерные инициативы в формировании прогрессивной структуры национальной экономики и финансов: Сборник научных статей 9-й Международной научно-практической конференции с международным участием, Курск, 07 апреля 2026 года. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2026. – С. 245-249. – EDN AKPTTO.

5. Головань С. А. Сравнительный анализ эффективности чат-интерфейсов искусственного интеллекта при формировании инвестиционного портфеля на основе данных фондового рынка / С. А. Головань, В. В. Тетенькина // Журнал монетарной экономики и менеджмента. – 2026. – № 4. – С. 63-71. – DOI 10.26118/2782-4586.2026.90.99.063. – EDN HKNUXM.

6. Хаберьянова А. А. Искусственный интеллект в управлении рисками и прогнозировании трендов на цифровом финансовом рынке / А. А. Хаберьянова // Экономика в социокультурном пространстве современности: проблемы, решения, прогнозы: Материалы XII Международной научно-практической конференции, Владимир, 27 ноября 2025 года. – Владимир: ООО "Аркаим", 2025. – С. 255-259. – EDN GGCXAX.

7. Козлов С. В. Исследование возможностей использования искусственного интеллекта в бизнес-процессах / С. В. Козлов, Н. М. Романов // Энергетика, информатика, инновации - 2025: Материалы XV Международной научно-технической конференции. В 3-х томах, Смоленск, 19–20 ноября 2025 года. – Смоленск: ООО "Универсум", 2025. – С. 58-62. – EDN YKLUPX.

8. Люй Г. Трансформация роли искусственного интеллекта в принятии управленческих решений / Г. Люй, Ю. Цю // Экономика: вчера, сегодня, завтра. – 2025. – Т. 15, № 8-1. – С. 365-371. – DOI 10.34670/AR.2025.83.20.039. – EDN UPPGYF.

THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN DIGITAL STRATEGIES OF INVESTMENT FUNDS

A.S. Skripka, A.V. Bazeenkov

Smolensk State University,
Smolensk, Russia

The paper considers the use of artificial intelligence (AI) in the formation of investment fund strategies. The investment portfolio formed by the DeepSeek chat interface is compared with the strategies of high-yield equity funds. It was found that the AI recommendations are close to professional strategies for diversification and the use of derivatives, but differ in the investment horizon and the share of protective assets.

In conclusion, the possibility of using hybrid systems is noted – AI analytics in the hands of an expert.

Keywords: artificial intelligence, investment funds, investment portfolio, risk management, digitalization.

УДК 004.021:004.722

АЛГОРИТМ РОСТА МИЦЕЛИЯ ГРИБА AMANITA MUSCARIA КАК МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ СЕТЕВОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ

И.О. Смирнов, А.А. Ковалев

Смоленский государственный университет,
г. Смоленск, Россия

Статья представляет собой обзор, как устроен мицелий мухомора красного (Amanita muscaria) и можно ли применить этот принцип в алгоритмах маршрутизации. Мицелий растет без центрального управления и сам находит эффективные пути, что должно хорошо ложиться на задачи сетевой оптимизации. В статье разобрано чем мицелиальная сеть отличается от алгоритма Дейкстры в контексте прокладки путей. Представлена программная симуляция на графе, проанализированы результаты её работы на нескольких сценариях, в том числе с отказами каналов и постепенной деградацией соединений. По маршруту оба алгоритма работают примерно одинаково, но мицелиальная модель лучше справляется, когда топология меняется или каналы переставали быть доступными.

Ключевые слова: мицелий, Amanita muscaria, биоинспирированный алгоритм, маршрутизация, оптимизация сети, алгоритм Дейкстры, транспортные сети.

Оптимизация маршрутизации в компьютерных сетях остается актуальной задачей по мере роста объемов передаваемых данных и усложнения сетевых топологий. Классические алгоритмы, в частности алгоритм Дейкстры, хорошо зарекомендовали себя в условиях стабильной топологии, однако имеют существенный недостаток: при изменении структуры сети требуется полный пересчет маршрутов. В распределенных системах, где состав узлов и качество каналов могут меняться непредсказуемо, это снижает эффективность маршрутизации. Это заставляет искать другие подходы, в частности обращаться к принципам самоорганизации, наблюдаемым в живой природе.

Биоинспирированные алгоритмы – это методы оптимизации, которые придумали подсмотрев за живой природой. К наиболее известным относятся алгоритмы роевого интеллекта – муравьиный алгоритм, алгоритм пчелиной колонии, алгоритм серых волков [1]. Общая черта этих методов состоит в том, что приемлемое глобальное решение формируется через множество локальных взаимодействий без централизованного управления [2]. В отличие от детерминированных

алгоритмов, биоинспирированные методы способны адаптироваться к изменениям задачи в ходе работы, не требуя перезапуска с нуля. На наш взгляд, именно это качество делает их интересными для применения в сетях с нестабильной топологией.

Среди биологических объектов, принципы которых могут быть применены в задачах оптимизации маршрутов, особое место занимает мицелий гриба мухомора красного (Amanita muscaria). Мицелий представляет собой разветвленную сеть гиф, которая в процессе роста самостоятельно находит эффективные пути распределения питательных веществ между узлами без какого–либо централизованного управления. Неэффективные каналы постепенно истощаются, а результативные укрепляются – механизм, принципиально схожий с работой муравьиного алгоритма, однако реализованный на уровне единственного организма. Такая саморегуляция может быть формализована и применена в задачах построения субоптимальных маршрутов в сетях с переменной топологией [3].

Алгоритм Дейкстры не умеет работать с меняющейся сетью – при любом изменении топологии он считает заново. Мицелиальная модель в этом плане удобнее: потоки перераспределяются сами, без полного пересчета. Перестал работать канал – нагрузка ушла на соседние пути, и всё. Мицелиальная модель не знает, что такое пересчет с нуля, она просто всё время немного подстраивается. Это принципиально другой подход к маршрутизации и для динамических сетей он выглядит логичнее. В задачах, где сеть нестабильна это важно, и практика это подтверждает [4, 5]. На больших графах биоинспирированные методы к тому же обычно выигрывают у перебора по качеству решения [6, 7]. Правда за эту гибкость приходится платить: алгоритм требует нескольких сотен итераций, что на очень больших графах может стать проблемой.

Стоит уточнить почему именно мухомор, а не более изученные организмы вроде Physarum polycephalum. Мицелий Amanita muscaria отличается тем, что формирует достаточно плотную и при этом экономичную сеть гиф даже в условиях неравномерного распределения питательных веществ. Это делает его поведение ближе к реальным сетевым топологиям, где нагрузка тоже распределена неравномерно. Кроме того, механизм усиления и ослабления каналов у мицелия достаточно хорошо изучен биологически, что упрощает его формализацию.

Для проверки мы написали простую симуляцию. Граф из 20 узлов и 45 рёбер, веса случайные от 1 до 10. Из стартового узла запускалось несколько маршрутов одновременно с одинаковой пропускной способностью. На каждом шаге алгоритм смотрел что загружено и усиливал эти каналы с коэффициентом 1.2, а те, что простаивали ослаблял на 0.85. После 500 шагов всё устаканилось. Результат сравнили с тем что дал алгоритм Дейкстры [8, 9] на том же графе. На первых 50-100 итерациях потоки «скакали» между путями и ничего не «устаканивалось». Где-то после 200 итераций картина начала стабилизироваться и к 500 пришла к финальному виду. Похоже на то, как молодой мицелий сначала «тыкается» во все стороны и только потом формирует нормальные транспортные пути.

По длине маршрута особой разницы не вышло, около 4 процентов, что вполне нормально. Местами мицелиальная модель даже обходила Дейкстру, возможно, это связано с тем как инициализируются параллельные пути. Куда показательнее оказались тесты с отказами: убрали два ребра из графа, Дейкстра пересчитал всё заново, мицелиальная модель уложилась в 37 итераций. Похожая история с деградацией канала: когда вес ребра рос постепенно, мицелиальная модель начинала перекидывать трафик почти сразу, тогда как Дейкстра вообще не реагировал пока изменение не достигало порога.

У метода есть два важных момента которые стоит честно признать. Коэффициенты 1.2 и 0.85 подбирались на глаз под конкретный граф, на другой топологии они могут не сработать так же хорошо. Плюс чем граф больше, тем дольше алгоритм сходится, и на больших сетях это начинает сильно ощущаться. Для корпоративных задач, где графы обычно небольшие – это не критично, но если масштабировать до уровня провайдера, то вопрос об оптимальности подхода будет актуальным. Ещё одна проблема вылезла при тестировании на графах с изолированными подграфами. Узлы, которые изначально недостижимы из стартового просто выпадают из алгоритма, потоки до них не доходят. В реальных сетях такое редкость, но при синтетических тестах это надо иметь в виду.

Мицелий мухомора как источник идей для IT звучит странно, но эксперимент показал, что это работает. Алгоритм Дейкстры считает быстро но не умеет подстраиваться под ситуацию, мицелиальная модель медленнее но гибче и сама восстанавливается при отказах. По качеству маршрута они сопоставимы, зато в нестабильной сети мицелиальная модель ведет себя заметно лучше. Дальше планируется проверить это на реальных топологиях и разобраться с автоматическим подбором коэффициентов.

Список использованных источников

1. Козлов С. В. Проектирование и реализация графической модели "Мира" для решения задачи коммивояжера / С. В. Козлов, Д. В. Подгорный // Развитие научно–технического творчества детей и молодежи – НТТДМ 2021. Сборник материалов V Всероссийской научно–практической конференции с международным участием. – Киров, 2021. – С. 47–52. EDN: HDINBV.

2. Тюхин М. В. Применение биоинспирированных алгоритмов роевого интеллекта для решения задач оптимизации / М. В. Тюхин, В. А. Ломазов // Вопросы устойчивого развития общества. – 2021. – № 6. – С. 811–815. – EDN PRDGCJ.

3. Иванов С. В. Методика построения субоптимальных маршрутов для группы беспилотных летательных аппаратов на основе биоинспирированных алгоритмов при наличии препятствий / С. В. Иванов // Системы управления, связи и безопасности. – 2022. – № 2. – С. 1–23. – DOI 10.24412/2410–9916–2022–2–1–23. – EDN HGCCSB.

4. Лебедев Б. К. Параллельно последовательный биоинспирированный алгоритм построения минимального дерева Штейнера / Б. К. Лебедев, О. Б.

Лебедев, Е. О. Лебедева // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2019. – № 4(206). – С. 174–186. – DOI 10.23683/2311–3103–2019–4–174–186. – EDN XWLJSQ.

5. Хритоненко Ю. А. Особенности проектирования web–сервиса дидактических материалов / Ю. А. Хритоненко, С. В. Козлов // Современные информационные технологии и ИТ–образование. – 2024. – Т. 20, № 2. – С. 416–424. – DOI 10.25559/SITITO.020.202402.416–424. – EDN XNUXZY.

6. Демидова Л. А. Применение биоинспирированных алгоритмов глобальной оптимизации для повышения точности прогнозов компактных машин экстремального обучения / Л. А. Демидова, А. В. Горчаков // Russian Technological Journal. – 2022. – Т. 10, № 2. – С. 59–74. – DOI 10.32362/2500–316X–2022–10–2–59–74. – EDN WCFZVD.

7. Быков А. А. Использование web–платформы "smartteach" как инструмента построения образовательных карт / А. А. Быков, С. В. Козлов, М. А. Исаков // Естественные и технические науки. – 2024. – № 10(197). – С. 171–173. – EDN BHYICU.

8. Кормен Т. Алгоритмы: построение и анализ / Т. Кормен ; Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест ; [пер. с англ. под ред. А. Шеня]. – [2–е изд., стер.]. – М.: БИНОМ. Лаб. знаний, 2004. – 955 с. – (Классические учебники: Computer Science). – ISBN 5–94774–197–0. – EDN QJNRGX.

9. Листопад Н. И. Маршрутизация в мультисервисных сетях телекоммуникаций на основе модифицированного алгоритма Дейкстры / Н. И. Листопад, Ю. И. Воротницкий, А. А. Хайдер // Вестник БГУ. Серия 1, Физика. Математика. Информатика. – 2015. – № 1. – С. 70-76. – EDN TIZFED.

MYCELIUM GROWTH ALGORITHM OF AMANITA MUSCARIA AS A MODEL FOR NETWORK ROUTING OPTIMIZATION

I.O. Smirnov, A.A. Kovalev

Smolensk State University,
Smolensk, Russia

The article is an overview of how the mycelium of the red fly agaric (Amanita muscaria) works and whether this principle can be applied in routing algorithms. Mycelium grows without central control and finds effective ways itself, which should fit well into network optimization problems. The paper breaks down how the mycelial network differs from Dijkstra's algorithm in the context of pathway routing. Software simulation on the graph is presented, the results of its work on several scenarios are analyzed, including with channel failures and gradual degradation of connections. Along the route, both algorithms work approximately the same, but the mycelial model does better when the topology changes or the channels are no longer available.

Keywords: mycelium, Amanita muscaria, bioinspired algorithm, routing, network optimization, Dijkstra's algorithm, transportation networks.

УДК 623.746-519:656.08

ДРОНЫ В НЕБЕ: НОВЫЕ ВЫЗОВЫ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ

А.А. Смирнов[1], К.А. Грачев[2], Д.Р. Мундштуков[1], Я.И. Олейникова[1], И.Н. Шаго[1]

[1]Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А. В. Хрулёва Министерства обороны Российской Федерации, г. Санкт-Петербург, Россия

[2]Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А. В. Хрулёва, Военный институт (Железнодорожных войск и военных сообщений), г. Санкт-Петербург, Россия

В статье рассматриваются актуальные риски, связанные с повсеместным распространением беспилотных летательных аппаратов, и их влияние на безопасность дорожных подразделений. Автор анализирует ключевые особенности современных дронов – от компактности и высокой маневренности до возможности автономного управления и оснащения специализированным оборудованием. Особое внимание уделено угрозам скрытного наблюдения, сбора разведданных и потенциального использования БПЛА для совершения атак. В работе подчеркивается необходимость разработки комплексных стратегий защиты и оперативного реагирования, которые позволят дорожным подразделениям эффективно противостоять новым вызовам в условиях меняющейся технологической среды.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, дорожные подразделения, малые дроны, маневренность БПЛА, оператор БПЛА.

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) становятся все более доступными и широко используемыми в различных сферах, включая коммерцию, сельское хозяйство и безопасность. Однако их рост в использовании также сопряжен с увеличением угроз, которые они могут представлять для дорожных подразделений. Основные характеристики БПЛА, которые могут представлять опасность, включают в себя их размеры, маневренность, технологии, используемые для управления, и возможности для оснащения различными системами.

Малые дроны, которые могут быть использованы для наблюдения или сбора информации, трудно обнаружить. Их компактные размеры позволяют им скрываться в городской среде, что делает их идеальными для проведения разведывательных операций. Такие дроны могут легко пролетать над дорожными подразделениями, собирая данные об их перемещениях и действиях, что может быть использовано против них [1]. Например, симбирское конструкторское бюро (СКБ) «Пиранья» разработало и успешно испытало многофункциональный дрон-разведчик с возможностью вести ретрансляции «Сова-13» - рис.1, позволяющий военным прямо перед боевым вылетом самостоятельно менять частоты на необходимые. Главным преимуществом дрона стала его модульность. Благодаря этому боец после выбора определенной частоты может самостоятельно извлечь

видеопередатчик, камеру, антенны и заменить на любую необходимую частоту непосредственно перед боевым вылетом. На борту беспилотника находится цифровая камера со стабилизацией [2]. Цифровой видеосигнал преобразовывается в аналоговый и поступает непосредственно на очки оператора. Несмотря на аналоговый сигнал, качество видео существенно выше, чем на большинстве аналогичных решений. Также «Сова-13» может вести разведку свыше полутора часов и способен работать на стандартных частотах 5.8 ГГц.



Рисунок 1- Инновационый дрон – разведчик «Сова – 13»

Маневренность БПЛА также представляет собой серьезную угрозу. Современные дроны способны выполнять сложные маневры, что позволяет им избегать обнаружения и перехвата [3]. Они могут быстро менять высоту и направление полета, что затрудняет их отслеживание и нейтрализацию. Это создает дополнительные сложности для дорожных подразделений, которые могут оказаться в уязвимом положении, когда дрон совершает неожиданные маневры.

Технологии, используемые для управления БПЛА, также могут представлять угрозу. Многие дроны управляются с помощью радиосигналов или GPS, что делает их уязвимыми для вмешательства. Однако, некоторые дроны могут быть оснащены системами автономного управления, что позволяет им действовать независимо от операторов. Это создает дополнительные риски, так как такие дроны могут быть использованы для выполнения заданий без контроля человека, что затрудняет их нейтрализацию.

Кроме того, возможности для оснащения БПЛА различными системами также представляют собой угрозу. Многие дроны могут быть модифицированы для выполнения специфических задач, таких как доставка грузов, наблюдение

или даже атаки. Оснащение дронов камерами, сенсорами и другими устройствами позволяет им собирать информацию и передавать ее в реальном времени. Это может быть использовано для планирования атак на дорожные подразделения или для сбора данных об их действиях. Например, дрон камикадзе FPV Ведьма – рис.2.

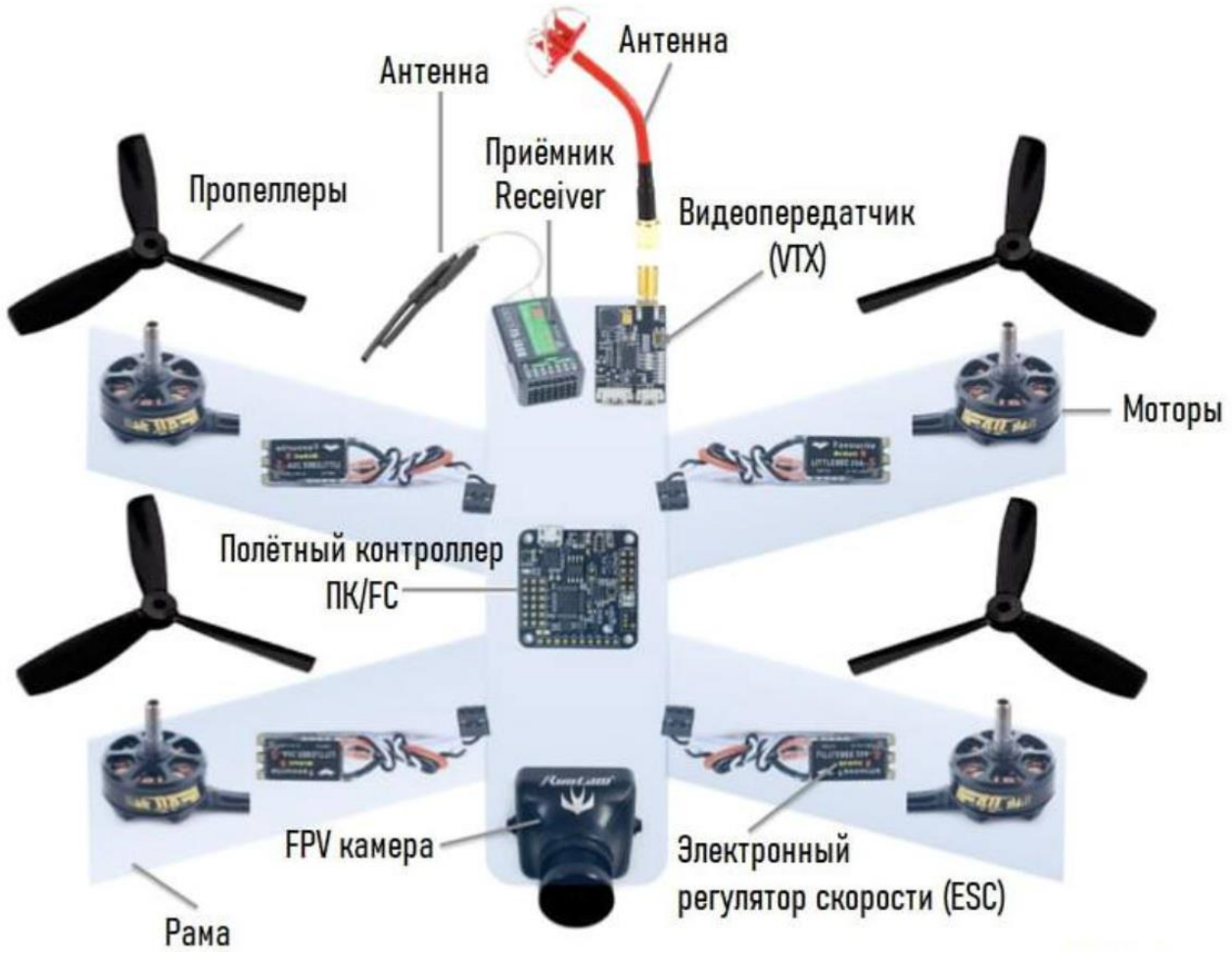


Рисунок 2 – Дрон камикадзе FPV Ведьма

FPV Ведьма – это продвинутый дрон, предназначенный для FPV-полетов, который объединяет в себе высокую производительность, надежность и современные технологии. С его помощью возможно выполнять различные задачи, требующие высокой грузоподъемности и скорости. Дрон имеет прочный и легкий каркас, который обеспечивает отличную маневренность и устойчивость в воздухе. Используемые материалы рассчитаны на защиту от повреждений. С максимальной грузоподъемностью до 3 кг, дрон способен не только перевозить камеры и другое оборудование, но и выполнять сложные задачи, такие как съемка с воздуха или доставка небольших грузов. Максимальная скорость до 100 км/ч позволяет быстро перемещаться по воздуху, что делает его отличным выбором для динамичных полетов [4]. Аналоговая передача видео обеспечивает стабильное и

четкое изображение в реальном времени, что критически важно для FPV-полетов. Мощный видео передатчик на 2.5 мВт гарантирует хорошее качество сигнала на значительном расстоянии. Управление дроном выполнено с использованием протокола 915 ELRS, что обеспечивает надежную связь между пилотом и дроном даже в сложных условиях. Двигатель с мощностью 900 кВ обеспечивает отличную тягу и высокую эффективность, что позволяет дрону быстро набирать высоту и легко маневрировать в воздухе. Аккумулятор емкостью 5.800 мАч обеспечивает стабильную работу всех систем дрона и дает возможность проводить длительные миссии.

Стоит отметить, что БПЛА могут быть использованы для доставки опасных грузов, таких как взрывчатые вещества или химические агенты. Это создает серьезные риски для безопасности дорожных подразделений, так как даже небольшой дрон может нанести значительный ущерб, если он будет использован для атаки [5]. Таким образом, дорожные подразделения должны быть готовы к различным сценариям, связанным с использованием БПЛА, и разрабатывать стратегии для защиты от таких угроз.

Характеристики БПЛА, такие как размеры, маневренность, технологии управления и возможности для оснащения, могут представлять серьезную угрозу для дорожных подразделений. Учитывая растущее использование дронов в различных сферах, важно, чтобы дорожные подразделения принимали меры для оценки и минимизации этих угроз, разрабатывая эффективные стратегии защиты и реагирования на потенциальные инциденты.

Список использованных источников

1. Николаев, Н. В. Актуальные вопросы противодействия современным автономным беспилотным летательным аппаратам и FPV-дронам / Н. В. Николаев, В. В. Ильин, М. И. Некрасов // Вопросы безопасности. – 2024. – № 2. – С. 1–15. – DOI: 10.25136/2409-7543.2024.2.68860. EDN: SJPQCT.

elibrary.ru

2. Макаренко, С. И. Анализ средств и способов противодействия беспилотным летательным аппаратам. Часть 1. Беспилотный летательный аппарат как объект обнаружения и поражения / С. И. Макаренко // Системы безопасности. – 2020. – № 1. – С. 56–61. URL: sccs.intelgr.com.

3. Подстригаев, А. С. Обзор способов противоправного применения коммерческих беспилотных летательных аппаратов / А. С. Подстригаев, И. А. Сидорцов // Молодой исследователь: вызовы и перспективы : сборник трудов XXXV Международной научно-практической конференции (Москва, 12–22 июня 2017 г.). – М. : Интернаука, 2017. – Т. 10, № 35. – С. 367–374. EDN: YNZQGJ.

4. Логистика в эпоху перемен. Вызовы и стратегии адаптации / Я. И. Олейникова, А. А. Смирнов, К. В. Семенов [и др.] // Управление и экономика народного хозяйства России : Сборник статей X Международной научно-практической конференции, Пенза, 16 февраля 2026 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2026. – С. 347-350. – EDN FWOZXE.

5. Дорожные войска на рубеже веков / А. А. Смирнов, К. В. Семенов, Я. И. Олейникова, П. А. Хоменко // Перспективные направления развития автотранспортного комплекса : Сборник статей XIX Международной научно-практической конференции, Пенза, 20–21 октября 2025 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2025. – С. 189-194. – EDN UQNFJE.

DRONES IN THE SKY: NEW CHALLENGES TO THE SAFETY OF ROAD UNITS

A.A. Smirnov[1], K.A. Grachev[2], D.R. Mundshtukov[1], Ya.I. Oleinikova[1], I.N. Shago[1]

[1]Military Educational Institution of Logistics named after General of the Army A.V. Khrulyov of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia
[2]Military Academy of Material and Technical Support named after General of the Army A. V. Khrulev, Military Institute (Railway Troops and Military Communications), Saint Petersburg, Russia

The article examines the current risks associated with the widespread use of unmanned aerial vehicles and their impact on the safety of road service units. The author analyzes the key features of modern drones – from their compact size and high maneuverability to the possibility of autonomous control and the ability to be equipped with specialized equipment. Special attention is paid to the threats of covert surveillance, intelligence gathering, and the potential use of UAVs to carry out attacks. The paper emphasizes the need to develop comprehensive protection and rapid response strategies that will enable road service units to effectively counter new challenges in a changing technological environment.

Keywords: unmanned aerial vehicles, road units, small drones, UAV maneuverability, UAV operator.

УДК 355.41:004

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ТЫЛА: ОТ АВТОМАТИЗАЦИИ РУТИНЫ К ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОМУ УПРАВЛЕНИЮ

А.А. Смирнов, К.В. Семенов, Д.Р. Мундштуков, Я.И. Олейникова, А.А. Максимов

Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А. В. Хрулёва Министерства обороны Российской Федерации, г. Санкт-Петербург, Россия

В статье рассматривается роль современных информационных технологий в оптимизации системы управления тылом. Автор подчеркивает, что в условиях работы с огромными массивами данных традиционные методы обработки

информации становятся неэффективными и повышают риск ошибок. В работе обосновывается необходимость перехода от простого оцифровывания документов к полноценной цифровизации процессов: от сбора данных до их аналитической обработки. Анализируются преимущества автоматизации расчетных задач, позволяющей высвободить время специалистов для принятия управленческих решений. Делается вывод, что внедрение вычислительных систем должно рассматриваться как вспомогательный инструмент, повышающий оперативность и точность работы органов материально-технического обеспечения, а не как замена человеческого контроля.

Ключевые слова: информационные технологии, вычислительные технологии, тыл, управление, материально-техническое обеспечение, автоматизация, цифровизация.

Современное управление тылом связано с обработкой обширного массива данных. Необходимо учитывать потребности подразделений, наличие материальных средств, маршруты движения грузов, состояние техники, сроки поставок и результаты выполненных мероприятий. При большом количестве взаимосвязанных объектов ручная обработка информации занимает много времени и увеличивает вероятность ошибок. Поэтому одним из условий повышения качества управления становится использование информационно-вычислительных технологий.

В научной литературе применение информационных и цифровых технологий в управлении, логистике и материально-техническом обеспечении Вооруженных Сил рассматривается как самостоятельное направление развития военной организации [1]. При этом цифровизация не должна ограничиваться переводом бумажного документа в электронную форму. Её основная задача заключается в изменении порядка работы с информацией: от сбора и проверки до анализа, передачи и использования при принятии решений.

Информационно-вычислительные технологии в системе управления тылом представляют собой совокупность программных, аппаратных и организационных средств, предназначенных для сбора, хранения, обработки, передачи и анализа данных. Их практическая ценность определяется не количеством компьютеров и программ, а способностью быстро предоставить начальнику достоверную информацию о состоянии обеспечения. Одним из главных направлений является создание единого информационного пространства. Сведения о запасах, заявках, перевозках и состоянии техники могут формироваться в различных документах и системах. Если между ними отсутствует взаимодействие, то появляются противоречия. Связь информационных ресурсов позволяет уменьшить повторный ввод данных и сформировать более целостное представление о ходе обеспечения войск. Такой подход соответствует развитию автоматизированного управления МТО (материально-технического обеспечения), при котором информационные и расчетные задачи решаются на основе формализованных данных [2]. Большое значение имеет автоматизация расчетов. В деятельности органов управления постоянно выполняются операции по определению потребности в материальных средствах, распределению ресурсов, расчету перевозок и

контролю плановых мероприятий. Передача повторяющихся вычислений программным средствам сокращает время работы и снижает вероятность арифметических ошибок. При этом автоматизированная система должна рассматриваться как инструмент подготовки решения для дальнейшего анализа, а не как замена должностного лица.

Следующее направление - аналитическая обработка данных. Вычислительные системы позволяют сопоставлять показатели за разные периоды, выявлять отклонения и формировать отчет. Например, сведения об эксплуатации автомобильной техники могут использоваться для выявления повторяющихся неисправностей и планирования технического обслуживания. Информация о расходовании материальных средств помогает своевременно обеспечивать боеготовность подразделений. В результате учет становится основой для анализа и предупреждения возникающих проблем. Особенно перспективна автоматизация обработки текстовых и табличных документов. Значительная часть управленческой информации поступает в форме, которая первоначально не предназначена для машинного анализа. Современные методы позволяют извлекать из таких документов нужные сведения, классифицировать их и приводить к единому виду [2]. Это сокращает объем ручной работы и создает возможность быстрее использовать уже имеющуюся информацию. Важным элементом цифрового управления является электронный документооборот. Он позволяет отслеживать движение документа, контролировать сроки исполнения, осуществлять поиск и фиксировать результаты работы. Нормативные документы Министерства обороны определяют электронный документооборот как документооборот с применением информационной системы, а информационную систему - как совокупность данных, технологий и технических средств, обеспечивающих их обработку [3]. Для тылового управления это особенно значимо, поскольку многие процессы требуют оформления заявок, распоряжений, отчетов и других документов.

Отдельное направление связано с интеллектуальной поддержкой принятия решений. Технологии искусственного интеллекта способны обрабатывать большие массивы данных, находить закономерности и выполнять прогнозирование [3]. В управлении тылом их целесообразно использовать прежде всего для анализа информации и подготовки вариантов решения. Ответственность за окончательный выбор должна сохраняться за должностным лицом, которое имеет возможность проверить исходные данные и оценить полученный результат. Цифровизация меняет и организацию логистических процессов. В работах по развитию информационных технологий для Вооруженных Сил рассматривается возможность применения автоматизированных производственно-логистических комплексов и совершенствования деятельности центров МТО [4]. Это позволяет связывать последовательность операций: потребность, планирование, получение, хранение, распределение, перемещение и использование.

Существенную роль играет подготовка специалистов. Даже технически совершенная система не даст результата при низком качестве исходных данных или неправильном использовании программного обеспечения [5]. Необходимо формировать единые правила ввода информации, обучать пользователей и контролировать достоверность сведений. Специалист тыла должен понимать не

только порядок работы с программой, но и содержание решаемой управленческой задачи. Перспективным является объединение информационных технологий математическими методами. Модели могут применяться для сравнения вариантов распределения ресурсов, оценки нагрузки на транспорт и определения потребности в запасах. Однако математический расчет зависит от качества исходной информации. Поэтому автоматизация не отменяет оценку и проверку результата [6].

Информационно-вычислительные технологии являются важным инструментом совершенствования управления тылом Вооруженных Сил Российской Федерации. Их применение позволяет ускорить обработку информации, автоматизировать расчеты, повысить качество учета, улучшить контроль движения материальных средств и создать условия для более обоснованных управленческих решений. Наибольший результат дает не внедрение отдельной программы, а объединение данных, вычислительных средств, электронного документооборота и аналитических инструментов в единую систему [7]. Основными условиями ее развития выступают достоверность информации, совместимость программных решений, подготовка специалистов, устойчивость инфраструктуры и защита данных [8]. Цифровая трансформация тылового управления должна рассматриваться как организационно-техническое изменение, затрагивающее не только программное обеспечение, но и порядок работы должностных лиц. При правильном сочетании автоматизации и профессионального контроля информационно-вычислительные технологии способны повысить оперативность и обоснованность управления материально-техническим обеспечением.

Список использованных источников

1. Васильев, Н. А. Информационные и цифровые технологии, используемые в Вооружённых силах в сферах управления, логистики и материально-технического обеспечения : монография / Н. А. Васильев, М. С. Дикунова ; Министерство обороны Российской Федерации, Вольский военный институт материального обеспечения. – Саратов : Амирит, 2019. – 73 с. – ISBN 978-5-00140-725-6.

2. Андреев, М. Н. Актуальность применения автоматизированных средств обработки данных текстовых и табличных электронных документов в системе МТО войск (сил) / М. Н. Андреев, А. И. Паняев, С. В. Коровин // Научные проблемы материально-технического обеспечения Вооружённых Сил Российской Федерации. – 2025. – № 2 (36). – С. 10–21. – URL: vamto.mil.ru (дата обращения: 15.08.2026). – ISSN 2311-8605.

3. Приказ Министра обороны Российской Федерации от 29.06.2026 № 437 «О внесении изменений в Инструкцию по делопроизводству в Вооружённых Силах Российской Федерации, утверждённую приказом Министра обороны Российской Федерации от 4 апреля 2017 г. № 170» [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс : [сайт]. – URL: consultant.ru (дата обращения: 15.08.2026).

4. Абдурахманова, Э. Э., & Курбанов, А. Х. (2019). Оценка рисков использования цифровых технологий в системе материально-технического обеспечения войск (сил). В Управление экономикой: методы, модели, технологии (материалы XIX Международной научной конференции, 09–10 октября 2019 года,

Уфа-Павловка) (pp. 38–41). Уфимский государственный авиационный технический университет.

5. Приказ Министра обороны РФ от 17.01.2022 № 22 «Об утверждении Перечня сведений Вооружённых Сил Российской Федерации, подлежащих отнесению к служебной тайне в области обороны» (зарегистрирован в Минюсте России 28.02.2022 № 67528) // КонсультантПлюс : сайт. – URL: (дата обращения: [16.08.2026]).

6. Образовательный вектор в становлении продовольственного обеспечения Российской армии: наследие Андрея васиьевича Хрулёва / А. А. Смирнов, Я. И. Олейникова, К. В. Семенов [и др.] // Философия образования в отечественной культурно-исторической традиции: история и современность : Сборник статей XII Всероссийской научно-практической конференции, Пенза, 19–20 февраля 2026 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2026. – С. 162-166. – EDN GYZNBK.

7. Логистика в эпоху перемен. Вызовы и стратегии адаптации / Я. И. Олейникова, А. А. Смирнов, К. В. Семенов [и др.] // Управление и экономика народного хозяйства России : Сборник статей X Международной научно-практической конференции, Пенза, 16 февраля 2026 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2026. – С. 347-350. – EDN FWOZXE.

8. Дорожные войска на рубеже веков / А. А. Смирнов, К. В. Семенов, Я. И. Олейникова, П. А. Хоменко // Перспективные направления развития автотранспортного комплекса : Сборник статей XIX Международной научно-практической конференции, Пенза, 20–21 октября 2025 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2025. – С. 189-194. – EDN UQNFJE.

DIGITALIZATION OF THE REAR OF THE HOUSE: FROM AUTOMATION OF ROUTINE TO INTELLIGENT MANAGEMENT

A.A. Smirnov, K.V. Semenov, D.R. Mundshtukov, Ya.I. Oleinikova, A.A. Maksimov

Military Educational Institution of Logistics named after General of the Army A.V.Khrulyov of the Ministry of Defense of the Russian Federation, St. Petersburg, Russia

The article examines the role of modern information technologies in optimizing the rear management system. The author emphasizes that when working with vast amounts of data, traditional methods of information processing become ineffective and increase the risk of errors. The paper justifies the need to move from simple digitization of documents to full-scale digitalization of processes: from data collection to their analytical processing. The advantages of automating calculation tasks are analysed, which makes it possible to free up specialists' time for making management decisions. It is concluded that the introduction of computing systems should be viewed as an auxiliary tool that increases the efficiency and accuracy of the work of logistics and material support agencies, rather than as a replacement for human control.

Keywords: information technologies, computing technologies, logistics, management, material and technical support, automation, digitalization.

УДК 37.04

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ПЕДАГОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПО ИНФОРМАТИКЕ, БАЗИРУЮЩИХСЯ НА ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ПОДХОДАХ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Л.Л. Стародумов

Сочинский государственный университет,
г. Сочи, Россия

В статье рассматриваются эффективность технологий обучения студентов информатике с опорой на доминирующие у них стратегии.

Ключевые слова: индивидуализация обучения, информатика, доминирующие стратегии.

Уровень общения обучающегося и компьютера является организующим и управляющим аспектом в процессе компьютеризации образования. Это обстоятельство в равной мере относится как к студенту, так и к преподавателям, применяющим компьютерную технику в предметной сфере.

При соответствующей подготовке учебного материала и использовании возможностей систем программного обеспечения компьютер, сам по себе, служит инструментом индивидуализации обучения. Следует учесть, что мотивационный интерес большинства обучающейся молодежи определяет компьютеризованную «картину мира», в которой огромную роль играет «мировая паутина» обмена и передачи информации по системе Internet, электронной почте и др. Дальнейшие развитие получили системы распознания образов в виде фотографий, рисунков, графиков и графологических текстов. Применение такой системы в процессе обучения сыграет положительную роль в индивидуализации обучения с учетом доминирующего вида мышления, личностной заинтересованности и привлекательности учебной работы.

Следует отметить, что при преподавании информатики встает проблема дифференциального подхода как к содержанию предмета, так и к методам обучения в зависимости от уровня развития мышления учащихся.

Специфика информатики как предмета такова, что для успешного ее усвоения необходим достаточно хороший уровень развития познавательной сферы студента, т. е. должны быть сформированы мыслительные операции обобщения, классификации, подведения понятия под класс, сериации и т.д.; высокий уровень развития учебной деятельности, который характеризуется сформированностью всех сторон этой деятельности: мотивационной, операциональной, контрольно-оценочной. При этом и все остальные психические процессы – восприятие, память, внимание, произвольность поведения - должны находиться на достаточно высоком уровне.

Информатика, как наука о наиболее оптимальных способах получения, обработки, хранения и передачи информации, может оказать значительную помощь в развитии мышления обучающегося. При решении алгоритмических задач формируется теоретический обобщенный стиль мышления, который

опирается на содержательное обобщение предметов и явлений, в отличие от эмпирического, связанного с формальным обобщением. Но для этого при обучении информатике необходимо учитывать уровень развития психических процессов, в первую очередь мышления.

Как показал анализ процесса обучения в высшей школе, существующая программа обучения ориентирована преимущественно на вербализацию учебного общения, при этом студенты с доминированием образного мышления оказываются в депривированном положении, поскольку их мышление опирается на образы и чувства, знания же усваиваются ими лишь тогда, когда они вызывают эмоциональные переживания.

Различные физические и психические качества и состояния личности: особенности всех познавательных процессов, свойства нервной системы, черты характера и воли, мотивация, способности, одаренность – все эти особенности учащегося влияют на его учебную деятельность и от них зависят результаты учения. В учете всех таких особенностей состоит принцип индивидуального подхода в обучении.

Результаты опытов свидетельствуют о том, что чаще всего исследованиям подвергаются основные характеристики внимания, особенности мнемической деятельности и качество переработки информации. Наряду с этим есть целый ряд не лежащих на поверхности и требующих специального изучения психических особенностей, оказывающих существенное влияние на продуктивность учебной деятельности учащегося - это, в первую очередь, особенности мышления.

Существующие учебные программы по информатике и рекомендуемые к ним методические пособия также ориентированы на универсальные технологии обучения и соответственно на универсальные стратегии познания. При изложении учебного материала авторы учебников и педагоги, как правило, ориентируются на вербально-логическую стратегию познавательной деятельности студентов.

Проанализировав системы вузовского образования мы пришли к выводу, что учебные программы и рекомендуемые к ним методические пособия ориентированы на универсальные технологии обучения. При этом ожидания преподавателя по поводу усвоения учебного материала студентами основываются на его собственных предпочтениях в сфере преподавания. В случае несовпадения этих предпочтений с предпочтениями учеников возникает психологический диссонанс. Наблюдения за деятельностью педагогов показывают, что преподаватель, проработавший продолжительное время с группой студентов, часто подстраивается к доминирующему виду мышления большинства студентов группы, причем чаще всего это происходит на интуитивном уровне. При изложении и представлении учебного материала и других средств обучения автор ориентируется на определенный вид мышления, который он предпочитает сам. Соответственно, основываясь на учете особенностей мышления студентов, учебные задания, ориентированные на один вид мышления, нуждаются в переработке.

Современный этап развития образования возлагает высокую степень ответственности за учащихся на преподавателя - все зависит от его способности оценить потребности учащихся, изобрести такие виды деятельности на занятиях,

которые устроили бы всех студентов, найти необходимые для этого средства и, наконец, преодолеть отрицательное воздействие стандартизации и ограниченности во времени. Для этого преподаватель должен предлагать студенту задания, более всего соответствующие его виду мышления. Следовательно, основой для индивидуализации процесса обучения должны стать существующие зависимости между видами мышления и особенностями обучения с целью повышения его эффективности.

Таким образом, в соответствии с современными психологическими воззрениями наиболее эффективны в процессе обучения компьютерным технологиям лица, у которых достаточно гармонично развито как вербально-логическое, так и образное мышление. Данный вид мышления в психологии носит название интегративного. В плане усвоения компьютерных технологий важно, чтобы у студента на необходимом уровне были сформированы операции анализа, синтеза, обобщения, систематизации, классификации, сериации и т.д., то есть было развито теоретическое мышление. Достаточный уровень развития образного мышления обеспечивает необходимый творческий потенциал обучаемого, его способность к инсайту, ассоциативность и гибкость мышления. В этом смысле, эффективны технологии обучения, которые опираются на доминирующие у обучаемых стратегии, опосредованные сферой бессознательного, но при этом создают максимально благоприятные условия для развития других эффективных стратегий. Соответственно, чем на большее количество таких стратегий может опираться в учебном процессе обучаемый, тем более эффективно он способен усваивать поступающую к нему информацию.

Список использованных источников

1. Маклаков А.Г. Общая психология: Учебник для вузов. СПб.: Питер, 2024. 583 с.

2. Стародумов Л.Л. Педагогические условия обучения студентов информатике на основе учета доминирующего у них вида мышления // Теоретические и методологические проблемы современного образования: Материалы XXV Международной научно-практической конференции 2-3 марта 2016 г., 2016. С. 78-79.

3. Трофимов В.В. Информационные технологии: учебник для вузов. М. : Издательство Юрайт, 2024. 624 с.

ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS OF PEDAGOGICAL METHODS IN COMPUTER SCIENCE BASED ON INDIVIDUAL APPROACHES OF STUDENTS

L.L. Starodumov

Sochi state University
Sochi, Russia

The article deals with the effectiveness of technologies for teaching computer science to students based on their dominant strategies.

Keywords: individualization of learning, Informatics, dominant strategies.

УДК 004.94

РЕАЛИЗАЦИЯ ПОВОРОТОВ ВИРТУАЛЬНОГО РОБОТА В РЕЖИМЕ ЗАХВАТА ПОРУЧНЯ ВНУТРИ МОДЕЛИ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

Е.В. Страшнов

Федеральное государственное автономное учреждение «Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», г. Москва, Россия

В данной работе предлагается аналитическое решение задачи инверсной кинематики для вычисления углов поворотов виртуальной модели бортового космического летающего робота в режиме захвата поручня космической станции. Полученное решение используется для реализации слежения с помощью виртуальной камеры робота деятельности оператора при его погружении в виртуальную среду.

Ключевые слова: космический летающий робот, инверсная кинематика, аналитическое решение, системы виртуального окружения.

В настоящее время на МКС (Международная космическая станция) используются бортовые летающие роботы. Такие роботы выполняют роль помощников космонавтов при выполнении работ по внутрикорабельной деятельности. Некоторые из этих роботов также оснащены манипулятором с возможностью захвата поручня внутри космической станции. Это позволяет осуществлять фото и видеосъемку в режиме, когда робот закреплен к поручню посредством своего схвата. В этом режиме ему необходимо отслеживать деятельность космонавта, куда входит проведение научных исследований и экспериментов внутри станции. При слежении требуется обеспечить повороты робота в сочленениях его манипулятора таким образом, чтобы камера робота была строго направлена на космонавта.

В данной работе предлагается аналитическое решение задачи инверсной кинематики для вычисления углов поворотов двухзвенного манипулятора робота в режиме захвата поручня. На рис. 1 приводится схематичное изображение робота и целевого объекта (например, космонавта). Для задания координат объектов и используемых векторов рассмотрим мировую систему координат (МСК) Oxyz. Положение робота в МСК задается центральной точкой P_r его базового звена. В свою очередь, положение целевого объекта определяется точкой P_c. Манипулятор имеет два сочленения, относительно которых совершаются повороты вокруг локальных осей y и z базового звена робота на углы φ и ψ, соответственно. Направление камеры робота задается с помощью единичного вектора v,

где $\|\mathbf{v}\|=1$. Задача заключается в том, чтобы совместить вектор v с вектором $\mathbf{e}=\overrightarrow{P_rP_c}/\left\|\overrightarrow{P_rP_c}\right\|$.

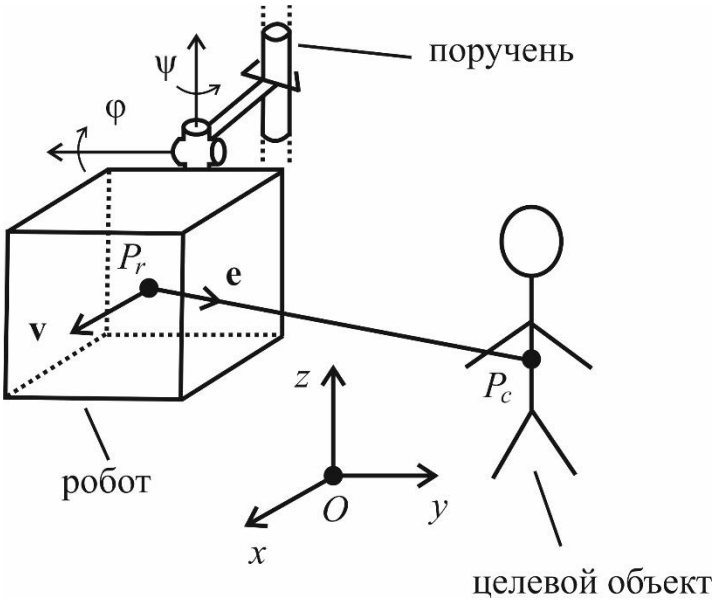


Рисунок 1 – Схематичное изображение робота и целевого объекта

Для решения этой задачи выразим вектор v через углы φ и ψ поворотов манипулятора робота. Вектор v изначально направлен вдоль оси x МСК, то есть имеет координаты $\mathbf{v}_0=(1,0,0)^{\mathrm{T}}$. Повороты выполняются сначала вокруг локальной оси y робота по часовой стрелке на угол φ, а затем вокруг его локальной оси z против часовой стрелки на угол ψ. С использованием матриц поворота получим следующее соотношение:

$$\mathbf{v}=\begin{pmatrix}\cos\psi & -\sin\psi & 0\\ \sin\psi & \cos\psi & 0\\ 0 & 0 & 1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\cos\varphi & 0 & -\sin\varphi\\ 0 & -1 & 0\\ \sin\varphi & 0 & \cos\varphi\end{pmatrix}\begin{pmatrix}1\\0\\0\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}\cos\varphi\cos\psi\\ \cos\varphi\sin\psi\\ \sin\varphi\end{pmatrix}. \qquad (1)$$

Совмещение векторов v и e достигается, если их векторное произведение будет равно нулю, то есть $\mathbf{v}\times\mathbf{e}=\mathbf{0}$. Это означает, что с учетом (1) должно быть выполнено

$$\mathbf{w}=\mathbf{v}\times\mathbf{e}=\begin{bmatrix}e_z\cos\varphi\sin\psi-e_y\sin\varphi\\ e_x\sin\varphi-e_z\cos\varphi\cos\psi\\ \cos\varphi(e_y\cos\psi-e_x\sin\psi)\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0\\0\\0\end{bmatrix}, \qquad (2)$$

где $\mathbf{w}=(w_x,w_y,w_z)^{\mathrm{T}}$, $\mathbf{e}=(e_x,e_y,e_z)^{\mathrm{T}}$.

Если $\varphi\neq\pm\pi/2$, то угол ψ вычисляется из условия $w_z=0$:

$$e_x\sin\psi-e_y\cos\psi=\sqrt{e_x^2+e_y^2}\sin(\psi-\alpha)=0,$$

где $\alpha = \arcsin(e_y / \sqrt{e_x^2 + e_y^2})$.

Отсюда для угла ψ будет верно, что

$$\psi = \begin{cases} 0, \textit{ если } e_x = 0 \textit{ и } e_y = 0; \\ \arcsin(e_y / \sqrt{e_x^2 + e_y^2}), \textit{ в противном случае}. \end{cases} \quad (3)$$

Второй угол φ вычисляется из условий $w_x = 0$ и $w_y = 0$ соотношения (2) в зависимости от полученного значения угла ψ. Если $\psi \neq \pm\pi/2$ ($\cos\psi \neq 0$), то рассматривается условие:

$$w_y = e_x \sin\varphi - e_z \cos\varphi \cos\psi = \sqrt{e_x^2 + e_z^2 \cos^2\psi} \sin(\varphi - \beta) = 0,$$

где $\beta = \arcsin(e_z \cos\psi / \sqrt{e_x^2 + e_z^2 \cos^2\psi})$.

В противном случае ($\cos\psi = 0$) угол φ вычисляется из условия $w_x = 0$:

$$e_y \sin\varphi - e_z \cos\varphi \sin\psi = \sqrt{e_y^2 + e_z^2 \sin^2\psi} \sin(\varphi - \gamma) = 0,$$

где $\gamma = \arcsin(e_z \sin\psi / \sqrt{e_x^2 + e_z^2 \sin^2\psi})$.

Таким образом угол φ вычисляется как

$$\varphi = \begin{cases} 0, \textit{ если } e_z = 0; \\ \arcsin(e_z \cos\psi / \sqrt{e_x^2 + e_z^2 \cos^2\psi}), \textit{ если } e_z \neq 0 \textit{ и } \cos\psi \neq 0; \\ \arcsin(e_z \sin\psi / \sqrt{e_x^2 + e_z^2 \sin^2\psi}), \textit{ если } e_z \neq 0 \textit{ и } \cos\psi = 0. \end{cases} \quad (4)$$



Рисунок 2 – Наблюдаемая оператором стереопара

Полученное решение (3) и (4) используется в рамках моделирования движения моделей летающих роботов в системе виртуального окружения VirSim [1], созданной в НИЦ «Курчатовский институт» - НИИСИ. Апробация в этом программном комплексе проводилась с применением технологий виртуальной реальности с погружением человека-оператора в виртуальную среду. При таком подходе управление роботом реализовано в супервизорном режиме [2] с помощью голосового интерфейса, при котором оператор дает роботу команды, а тот автоматически выполняет заданное движение. На рис. 2 приводится стереопара, подаваемая на глаза оператора, в момент его тренировки по выполнению деятельности внутри станции. В процессе моделирования виртуальная камера робота строго направлена на оператора. Результаты апробации показали адекватность полученного решения задачи инверсной кинематики для вычисления углов поворотов робота в режиме захвата поручня.

Публикация выполнена в рамках государственного задания НИЦ «Курчатовский институт» - НИИСИ по теме № FNEF-2024-0002 «Математическое моделирование многомасштабных динамических процессов и системы виртуального окружения».

Список использованных источников

1. Михайлюк М.В., Мальцев А.В., Тимохин П.Ю., Страшнов Е.В., Крючков Б.И., Усов В.М. Система виртуального окружения Virsim для имитационно-тренажерных комплексов подготовки космонавтов // Пилотируемые полеты в космос. – 2020. – Т. 37, № 4. – С. 72-95. (EDN: NZKHKF)

2. Страшнов Е.В., Кононов Д.А. Моделирование режимов управления бортовыми космическими летающими роботами в системах виртуального окружения // Программные продукты и системы. – 2025. – Т. 38, № 4. – С. 608-616. (EDN: BRWJJC).

IMPLEMENTATION OF VIRTUAL ROBOT ROTATIONS IN HANDRAILED GRASP MODE INSIDE THE SPACE STATION MODEL

E.V. Strashnov

Scientific Research Institute for System Analysis of the National Research Centre “Kurchatov Institute” (NRC "Kurchatov institute" - SRISA), Moscow, Russia

This paper proposes an analytical solution to the inverse kinematics problem for calculating the rotation angles of an onboard space flying robot’s virtual model in the handrail mode grasping inside the space station. The obtained solution is used for virtual robot's camera to implement track the operator's activities when he immersed in a virtual environment.

Keywords: space flying robot, inverse kinematics, analytical solution, virtual environment systems.

УДК 621.74

ПРИНЦИПЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СОСТАВОВ ПРОТИВОПРИГАРНЫХ ПОКРЫТИЙ

И.А. Стрельников

Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия

Использование вычислительных методов позволяет изучить влияние вариаций компонентных пропорций на устойчивость покрытия, прогнозировать износостойкость и минимизацию пригаров. Задачи оптимизации формулируются с учётом многоцелевых критериев: повышение стойкости к пригоранию, снижение себестоимости компонентов, соответствие экологическим нормам и удобство технологической реализации.

Ключевые слова: моделирование, противопригарные покрытия, компоненты, связующее вещество, анализ, материал, свойства.

Введение

Литейное производство характеризуется сложными условиями взаимодействия расплавленного металла с формовочной смесью, что часто приводит к появлению пригаров - дефектов, снижающих качество отливок и увеличивающих затраты на последующую обработку. Предотвращение пригаров требует создания эффективных противопригарных покрытий, которые обеспечивают высокую термостойкость, адгезию к формовочным материалам и минимальное взаимодействие с металлом. В этом вопросе особую значимость приобретает разработка оптимальных составов покрытий, способных выдерживать экстремальные температурные и механические нагрузки, сохраняя при этом устойчивость к износу и химическую инертность [1, 2].

Цель исследования – повышение ресурсосбережения и технологичности литейных процессов.

Материал и методы исследования

Пригар на литейных формах и стержнях представляет собой комплекс сложно устроенных дефектов, возникающих на поверхности отливок в результате адгезии и химического взаимодействия расплавленного металла с формовочной смесью [3]. Это явление приводит к образованию пленок и частиц, прочно сцепленных с металлом, которые нарушают качество поверхности и увеличивают себестоимость производства за счет необходимости дополнительной механической обработки и исправления дефектов. Понимание причин появления пригара требует детального исследования физико-химических процессов, происходящих на границе раздела металл - форма в условиях высокотемпературного взаимодействия.

Современные покрытия должны учитывать множество факторов: химический состав расплава, особенности формовочных материалов, условия заливки и охлаждения. Традиционные методы подбора компонентов покрытий часто основаны на эмпирических данных и требуют длительных циклов опытов, что

затрудняет быстрый вывод новых материалов на производство. Применение методов математического моделирования позволяет систематизировать параметры составов и процессов, прогнозировать поведение покрытий в реальных условиях и существенно сократить экспериментальную нагрузку [4].

Понимание свойств и ограничений различных материалов, используемых в противопригарных покрытиях, создает фундамент для последующего применения методов математического моделирования и оптимизации составов. Это позволит не только повысить эффективность покрытий, но и адаптировать их под конкретные условия формования и производства, обеспечивая улучшение качества отливок и снижение затрат на производство.

Результаты исследования и их обсуждение

Математическое моделирование играет ключевую роль в оптимизации составов противопригарных покрытий, позволяя систематически анализировать влияние различных компонентов на функциональные характеристики покрытия без необходимости проведения большого объема экспериментальных исследований [5]. Такой подход обеспечивает глубокое понимание взаимосвязей между составом, структурой и эксплуатационными свойствами, что способствует более быстрому выявлению оптимальных рецептур с заданными параметрами термостойкости, адгезии и устойчивости к химическому воздействию [6, 7].

Моделирование основано на создании математических описаний физических, химических и механических процессов, протекающих в покрытии и на его границе с расплавленным металлом. Ключевыми аспектами являются термодинамические параметры системы, кинетика протекания реакций, диффузионные процессы и механические напряжения. Используемые модели учитывают изменение структуры покрытия при высокотемпературном воздействии, динамику образования и разрушения защитных слоев, а также взаимодействие компонента покрытия с элементами формовочной смеси и металла.

Одной из фундаментальных задач является представление состава покрытия в виде векторного пространства компонентов с определёнными свойствами, где изменение концентраций компонентов моделируется с учетом их взаимного влияния на термические и химические параметры. В таких моделях вводятся параметры активности веществ, тепловые и химические константы, что позволяет прогнозировать устойчивость и склонность к образованию дефектов. Важно также учитывать неидеальности системы, например, фазовые разделения и неоднородности распределения компонентов, которые существенно влияют на реальную работоспособность покрытия.

Значительное внимание уделяется мультифизическим моделям, объединяющим тепловые, химические и механические процессы. Такие комплексы позволяют проследить перенос тепла через слой покрытия и форму, оценить развитие напряжений, приводящих к микротрещинам и отслаиваниям, а также изучить динамику формирования защитных фаз и их разрушения. Включение диффузионных уравнений и кинетических моделей реакций обеспечивает предсказание изменения состава и структуры покрытия во времени, что является фундаментом для оценки его долговечности.

Для оптимизации составов применяются численные методы решения систем нелинейных уравнений, включая методы конечных элементов, разностные методы и алгоритмы Монте-Карло. Кроме того, используются стохастические подходы, такие как генетические алгоритмы и методы машинного обучения, которые позволяют обрабатывать многомерные пространства параметров и искать композиции с максимальными эксплуатационными характеристиками при ограничениях, например, по стоимости или экологичности компонентов [8, 9].

Подготовка математических моделей требует калибровки и верификации с использованием экспериментальных данных, что обеспечивает корректность прогнозов и адаптацию моделей под специфику конкретных условий производства. Такой процесс включает сбор данных о температурных режимах, механических нагрузках и химическом составе при эксплуатации покрытий, которые затем интегрируются в вычислительную среду.

Корректное моделирование взаимодействий противопригарных покрытий с расплавленным металлом в процессе заливки является необходимым условием для снижения дефектности литейных изделий. Процессы, происходящие на границе раздела металл–покрытие, определяют формирование защитного слоя, устойчивость к пригоранию и качество поверхности готовой отливки. Ошибки в прогнозировании химических реакций, тепловых режимов и механических воздействий приводят к увеличению количества дефектов, снижению срока службы форм и дополнительным затратам на доработку изделий.

Модели взаимодействия включают в себя описание химико-термических процессов, таких как окисление, восстановление и образование новых фаз в зоне контакта. Важно учесть влияние температуры и концентрации активных компонентов на скорость реакций, формирование оксидных пленок и изменение состава покрытия. Методы математического описания используют кинетические уравнения и диффузионные модели для прогнозирования зон образования пригаров и локальных изменений структуры покрытия. Учет динамики газообразования в результате разложения органических связующих позволяет моделировать появление пористостей и микротрещин, которые влияют на адгезию и защитные свойства слоя [10].

Заключение

Математическое моделирование формирует единое информационное пространство, в котором анализируются взаимосвязи между составом, структурой и эксплуатационными параметрами противопригарных покрытий. Это создает основу для последующего глубокого анализа конкретных моделей поведения покрытий при воздействии температурных, химических и механических факторов в условиях литейного производства и позволяет выявить пути улучшения их свойств на этапе проектирования [1-10].

Список использованных источников.

1. Современное противопригарное покрытие для литейных форм и стержней / И. А. Стрельников, И. Е. Илларионов, Н. Ф. Тихонов, А. В. Королев // Заготовительные производства в машиностроении. – 2026. – Т. 24, № 7. – С. 295-298. – DOI 10.36652/1684-1107-2026-24-7-295-298. – EDN GWUYFL.

2. Современные противопригарные покрытия для литейных форм и стержней / И. Е. Илларионов, И. А. Стрельников, Н. Ф. Тихонов, А. В. Королев // Литейщик России. – 2025. – № 3. – С. 6-12. – EDN LWVILF.

3. Тихонов, Н. Ф. Применение противопригарных покрытий для литейных форм и стержней для предотвращения пригара на отливках / Н. Ф. Тихонов, И. А. Стрельников // Современные инновации, системы и технологии. – 2025. – Т. 5, № 3. – С. 2001-2007. – DOI 10.47813/2782-2818-2025-5-3-2001-2007. – EDN QFRXLX.

4. Илларионов, И. Е. Математическая модель прогнозирования характеристик противопригарных покрытий литейных форм и стержней / И. Е. Илларионов, И. А. Стрельников, Н. Ф. Тихонов // Литейщик России. – 2026. – № 7. – С. 23-26. – EDN MSLKTB.

5. Тихонов, Н. Ф. Структура эксперимента для изучения взаимосвязи противопригарной стойкости формовочной смеси и характеристик металла / Н. Ф. Тихонов, И. А. Стрельников // Современные технологии, материалы и техника : Сборник научных статей 3-й Всероссийской научно-технической конференции. В 2-х томах, Воронеж, 19 декабря 2025 года. – Воронеж: ЗАО "Университетская книга", 2025. – С. 191-195.

6. Тихонов, Н. Ф. Ресурсосберегающие технологии в противопригарных покрытиях / Н. Ф. Тихонов, И. Е. Илларионов, И. А. Стрельников // Машиностроение: инновационные аспекты развития : материалы международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 28 марта 2025 года. – Санкт-Петербург: Научно-исследовательский центр «МашиноСтроение», 2025. – С. 62-66. – EDN UARBAE.

7. Тихонов, Н. Ф. Оптимизация составов противопригарных покрытий с помощью математического моделирования и влияние высокотемпературной реологии силикатных систем на свойства этих покрытий / Н. Ф. Тихонов // Технологии и техника: пути инновационного развития : Сборник научных статей 4-й Международной научно-технической конференции, Воронеж, 17 июня 2026 года. – Воронеж: ЗАО "Университетская книга", 2026. – С. 416-420. – EDN FRGUET.

8. Тихонов, Н. Ф. Использование вторичных, недефицитных, неорганических материалов в противопригарных покрытиях / Н. Ф. Тихонов // Современные материалы, техника и технологии. – 2026. – № 2(64). – С. 15-21. – EDN MTNNXQ.

9. Применение волжских кварцевых песков для изготовления литейных форм и стержней / И. Е. Илларионов, И. А. Стрельников, Н. Ф. Тихонов, А. В. Королев // Литейщик России. – 2025. – № 11. – С. 25-29. – EDN XJZRVO.

10. Тихонов, Н. Ф. Перспективы развития информационных технологий в области литейного производства / Н. Ф. Тихонов // Наукоемкие технологии в машиностроении : Сборник материалов Международной научно-практической конференции, посвященной Году единства народов России, Ишимбай, 15–16 апреля 2026 года. – Уфа: Уфимский университет науки и технологий, 2026. – С. 11-15. – EDN SJBSMS.

PRINCIPLES OF MATHEMATICAL MODELING OF ANTI-CAUSTIC COATING COMPOSITIONS

I.A. Strelnikov

I.N. Ulyanov Chuvash State University,
Cheboksary, Russia

The use of computational methods makes it possible to study the effect of variations in component proportions on coating stability, predict wear resistance, and minimize burn-on. Optimization tasks are formulated taking into account multi-objective criteria: improving burn-on resistance, reducing the cost of components, complying with environmental standards, and ensuring ease of technological implementation.

Keywords: modeling, non-stick coatings, components, binder, analysis, material, properties.

УДК 378.147:51:004.9

ИНТЕГРАЦИЯ ЦИФРОВЫХ ИНТЕРАКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ГИБРИДНЫХ РАБОЧИХ ТЕТРАДЕЙ В ОБУЧЕНИЕ МАТЕМАТИКЕ ИНОСТРАННЫХ СЛУШАТЕЛЕЙ

Д.Ю. Сулейманова

Казанский (Приволжский) федеральный университет,
г. Казань, Россия

В статье представлены результаты исследования образовательной среды иностранных слушателей предвузовского этапа обучения (на примере ФГАОУ ВО К(П)ФУ). На основе эмпирических данных анкетирования, выявившего ключевые когнитивно-лингвистические барьеры обучающихся и высокий запрос на визуально-навигационные форматы, разработана методическая модель обучения математическим дисциплинам. Модель сочетает печатную форму гибридной рабочей тетради с QR-кодированием и интерактивный мультимедийный слой на базе презентаций PowerPoint с гипертекстовой навигацией, встроенными динамическими симуляторами (GeoGebra, Desmos) и специализированным программным обеспечением (Maxima, Exponenta).

Ключевые слова: информационные технологии в образовании, предвузовская подготовка, иностранные учащиеся, интерактивные презентации, гибридная рабочая тетрадь, QR-кодирование, динамическая математика, GeoGebra, язык специальности.

Современный этап развития высшего образования в Российской Федерации характеризуется высокой динамикой международной академической мобильности и активным внедрением цифровых информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) в учебный процесс. Одной из ключевых задач

довузовского этапа подготовки иностранных граждан является обеспечение оперативного перехода от изучения общего курса русского языка как иностранного (РКИ) к освоению языка специальности – математики, физики, информатики и др.

Традиционная методика преподавания естественнонаучных и математических дисциплин, опирающаяся на академические учебники, сталкивается с выраженным снижением успеваемости и дидактической дезадаптацией иностранных слушателей. Это обусловлено проявлением двойного когнитивного барьера: необходимостью одновременного усвоения абстрактного понятийного аппарата математики и преодоления языкового пробела. Кроме того, современный контингент обучающихся в большинстве сформирован в условиях визуально-насыщенной информационной среды, что требует от преподавателя отказа от монотонного изложения теории в пользу интерактивных, экранных и навигационных дидактических средств [1].

Целью настоящего исследования является разработка и обоснование гибридной модели обучения математике иностранных учащихся, объединяющей информационные аналитические инструменты (Yandex Forms), интерактивный лекционный дидактический слой (PowerPoint с гипертекстовой структурой) и печатную рабочую тетрадь с QR-навигацией на математические сервисы.

Исследование проводилось на базе подготовительного факультета Казанского (Приволжского) федерального университета (КФУ). Эмпирический блок реализован с помощью цифровых сервисов анкетирования Yandex Forms ($N = 60$ респондентов). Структура выборки:

географическое распределение: граждане КНР – 54,4%; представители стран Латинской Америки – 17,5%; страны Африки к югу от Сахары – 10,5%; Ближний Восток и Северная Африка – 8,8%; Юго-Восточная и Центральная Азия – 5,3%; другие регионы – 3,5%;

профильная дифференциация: экономический профиль – 59,6%; гуманитарный – 17,5%; инженерно-технический – 14,0%; естественнонаучный – 8,8%;

целевой уровень образования: бакалавриат – 78,3%; магистратура и аспирантура – 21,7%.

Количественный анализ результатов опроса выявил ключевые факторы затруднений обучающихся при работе с традиционными учебными пособиями: непонимание русской терминологии – 31,6% (31 отв.); временные затраты на перевод заданий – 22,4% (22 отв.); отсутствие стандартов оформления решений – 17,3% (17 отв.); сложность восприятия длинных монолитных текстов – 14,3% (14 отв.); высокий темп речи преподавателя – 11,2% (11 отв.); отсутствие проблем – 3,1% (3 отв.).

Проектирование информационно-образовательной среды осуществлялось с привлечением реестра отечественного и международного специализированного программного обеспечения (Таблица 1).

Таблица 1 – Комплекс информационно-вычислительных ресурсов и ИТ-сервисов в обучении математике

Наименование ИТ-ресурса / ПО	Тип ресурса / Платформа	Назначение в учебном процессе
Yandex Forms	Облачный сервисный инструмент	Входная диагностика, анкетирование, обратная связь
Microsoft PowerPoint	Интерактивная среда	Лекции с гиперссылками, анимацией и навигационными окнами
GeoGebra / Desmos	Динамический математический конструктор	Визуализация функций, 3D-поверхностей, векторного анализа
Maxima / Exponenta.ru	Компьютерная алгебра и базы данных	Проверка систем уравнений, символьные вычисления
MadAsMath / WolframAlpha	Онлайн-вычислители и базы задач	Пошаговый самоконтроль, индивидуальные задания

Высокий процент затруднений при оформлении математических записей (17,3%) обусловлен спецификой национальных образовательных стандартов стран исхода (различия в записи алгоритмов деления, решении тригонометрических уравнений, представлении матричных операций).

При выборе предпочтительного формата учебных материалов респонденты выделили рабочую тетрадь с печатными полями и лаконичной теорией (31,5%), опередившую традиционные учебники (22,2%), онлайн-курсы (22,2%) и электронные учебники в смартфоне (5,6%) (Таблица 2).

Таблица 2 – Запрос обучающихся на функциональные элементы дидактических материалов ($N = 152$ ответа)

Дидактический элемент	Кол-во ответов	Доля в (%)
Задачи с профессиональным контекстом (экономика, инженерия)	37	24,3
Двуязычный словарь терминов с акцентологической разметкой	29	19,1
Готовые алгоритмические шаблоны оформления решений	21	13,8
Многоуровневая градация задач по сложности	20	13,2
Интерактивные QR-коды со ссылками на видео и симуляторы	17	11,2
Историко-научные справки о великих ученых	15	9,9
Встроенные проверочные тесты для самоконтроля	13	8,6

Опрос показал, что наличие пошаговых образцов решений оказывает ключевое влияние на психологическую уверенность учащихся: 40,8% отметили улучшение понимания алгоритмов, 23,5% – существенную экономию времени, 17,3% – снижение тревожности.

На основе полученных данных разработана двухуровневая модель учебно-методического комплекса, сочетающая печатный навигационный носитель и цифровой интерактивный контент (Таблица 3).

Таблица 3 – Архитектура гибридной информационно-образовательной среды

ГИБРИДНЫЙ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС (УМК)	
ПЕЧАТНЫЙ СЛОЙ (Рабочая тетрадь)	ЦИФРОВОЙ СЛОЙ (ИТ-Среда)
Лаконичный конспект теории	PowerPoint-презентации
Акцентологический глоссарий	Встроенные гиперссылки
Шаблоны для записей и вычислений	Динамические графики GeoGebra
Встроенные QR-коды	Видео-разборы и тест-формы

Интерактивная лекционная презентация выступает главным экранным средством управления вниманием аудитории. Её структура включает следующие ИТ-механики:

– навигационные меню и гиперссылки: переход между разделами лекции осуществляется через интерактивное окно с оглавлением. Клик по термину перенаправляет на слайд-глоссарий с акцентологической разметкой (ударениями) и всплывающими текстовыми пояснениями [2].

– пошаговое выведение формул (анимационные триггеры): вместо вывода готового громоздкого математического выражения экранная информация подается строго пошагово, синхронизируясь с речью преподавателя, что предотвращает эффект «информационной перегрузки».

– динамический визуальный слой: включение интерактивных математических моделей, созданных в среде GeoGebra или Desmos (например, визуализация метода наименьших квадратов, построение 3D-поверхностей второго порядка, иллюстрация пределов через аппроксимацию).

Печатная рабочая тетрадь связывается с цифровой средой посредством системы QR-кодов, размещаемых на полях страницы рядом с соответствующими блоками задач:

– QR-код типа «Видео-пояснение»: перенаправляет на 3-5-минутный ролик с авторским видеоразбором «подводных камней» темы;

– QR-код типа «Интерактивный тренажер»: ведет на онлайн-калькулятор или графическую модель (Desmos, MadAsMath) для самостоятельной проверки правильно построенных графиков/решений;

– QR-код типа «Контроль»: ссылка на интерактивный микро-тест в Yandex Forms, позволяющий сразу получить оценку уровня усвоения материала.

В заключение резюмируем: объединение гибридной рабочей тетради с QR-навигацией и интерактивных слайдовых лекций с динамической визуализацией позволяет:

– нейтрализовать лингвистический барьер за счет многоязычной терминологической поддержки и пошаговой алгоритмизации решений;

– повысить заинтересованность иностранных слушателей за счет сочетания печатного формата и мобильных цифровых сервисов;

– обеспечить индивидуальную траекторию обучения благодаря многоуровневой градации задач и интерактивным самопроверочным ИТ-инструментам.

Список использованных источников

1. Гаибова, В.Е. Цифровизация высшего образования: опыт применения новых дидактических моделей в высшей школе / В.Е. Гаибова, Л.Н. Данилова // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2022. – № 12. – С. 22–34. – URL: e-koncept.ru (дата обращения: 16.08.2026). – EDN VQKVYQ.

2. Сулейманова, Д.Ю. Использование интерактивных презентаций для обучения математике иностранных учащихся / Д.Ю. Сулейманова // Довузовская подготовка иностранных граждан: проблемы и перспективы: сб. научных материалов II МНПК, Казань, 2023. – С. 161–165. – EDN OJZDRF.

3. Сулейманова, Д.Ю. Использование рабочих тетрадей и рабочих листов как инструмент повышения эффективности обучения иностранных слушателей математике / Д.Ю. Сулейманова // Довузовская подготовка иностранных граждан: проблемы и перспективы: сборник научных материалов III МНПК, Казань, 2025. – С. 258–263. – EDN CHYDKF.

4. Сулейманова, Д.Ю. Использование специализированных онлайн-сервисов для преподавания экономико-математических предметов в вузе / Д.Ю. Сулейманова // Человек и общество в системе религиозного и социально-гуманитарного знания. – 2025. – № 11. – С. 107–116. – EDN JIDFXP.

5. Сулейманова, Д.Ю. Этно-ориентированный подход в обучении математике иностранных слушателей на основе авторских рабочих тетрадей / Д.Ю. Сулейманова // Международный научно-исследовательский журнал. – 2026. – № 5 (167). – DOI: 10.60797/IRJ.2026.167.63. – EDN WAXKFG.

6. Широколобова, А.Г. Технология смешанного обучения в высшей школе на основе принципов цифровой дидактики / А.Г. Широколобова // Вестник Самарского университета. История, педагогика, филология. – 2024. – Т. 30, № 1. – С. 77–86. – EDN QZXTQW.

INTEGRATION OF DIGITAL INTERACTIVE TECHNOLOGIES AND HYBRID WORKBOOKS IN MATHEMATICS EDUCATION FOR INTERNATIONAL PREPARATORY STUDENTS

D.Yu. Suleimanova

Kazan (Volga Region) Federal University,
Kazan, Russia

The article presents the results of a comprehensive study on the design and implementation of a hybrid information and educational environment for international pre-university students (based on Kazan Federal University data). Based on empirical

survey data (Yandex Forms platform, $N = 60$), which identified key cognitive-linguistic barriers and a high demand for visual-navational formats (31.5% preferred a workbook), a methodological model for teaching mathematical disciplines was developed. The model combines a printed hybrid workbook with QR-coding and an interactive multimedia layer based on PowerPoint presentations featuring hypertext navigation, embedded dynamic simulators (GeoGebra, Desmos), and specialized mathematical software (Maxima, Exponenta). The effectiveness of using hyperlinks, multilingual accentological glossaries, and step-by-step solution templates to minimize language barriers and form professionally-oriented mathematical competencies is demonstrated.

Keywords: information technology in education, pre-university training, international students, interactive presentations, hybrid workbook, QR coding, dynamic mathematics, GeoGebra, language of specialty.

УДК 378.004

ПРИМЕНЕНИЕ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ DEDUCTOR STUDIO ДЛЯ АНАЛИЗА ИТОГОВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ СТУДЕНТОВ УНИВЕРСИТЕТА

М.М. Сухова, В.В. Кузина

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, г. Пенза, Россия

В статье характеризуется актуальность автоматизации обработки данных промежуточных аттестаций студентов в университете. Приводится описание применения аналитической платформы Deductor Studio при подготовке отчетов учебным управлением на конкретном примере.

Ключевые слова: автоматизация отчетности, университет, учебное управление, итоги промежуточной аттестации, аналитическая платформа Deductor Studio Academic.

Контроль успеваемости как показателя успешной учебы студентов университета становится одной из важнейших функций учебного управления. Обработка итогов промежуточных аттестаций студентов осуществляется в настоящее время с использованием табличного редактора. Полученные формы отчетности не в полной мере удовлетворяют требованиям наглядности – выводы должны быть четкими и не допускать спорных трактовок, поскольку исследование влечет за собой, в том числе, и дисциплинарные меры, направленные на повышение учебных достижений.

Учебным управлением была опробована обработка данных зимней экзаменационной сессии в учебной версии программы аналитической платформы компании *Loginom – Deductor Studio Academic*, которая применима для решения

большого спектра задач, где требуется консолидация и отображение данных различными способами, построение моделей и последующее применение полученных моделей к новым данным: для создания аналитической отчетности, прогнозирования, поиска закономерностей и пр.

Основными критериями анализа итогов промежуточной аттестации служат успеваемость, качество знаний и средний балл. В данном исследовании использован массив показателей зимней сессии 2024–2025 учебного года по всем направлениям подготовки бакалавриата, магистратуры и специалитета, реализуемым университетом, в разрезе учебных групп, направлений подготовки и кафедр университета, а также данные о численности обучающихся. Сформированный с помощью табличного редактора текстовый файл импортирован в аналитическую платформу *Deductor* в формат *csv.

Визуализатор «Статистика» отображает статистические характеристики (минимум, максимум, среднее значение) по каждому полю выборки. Для сравнения учебных достижений студентов реализуемых направлений подготовки нами создана трехмерная диаграмма, отображающая зависимость качества знаний от среднего балла студентов.

Для более полного и наглядного анализа результатов сессии в узле «Калькулятор» применяется ранжирование показателей: для успеваемости и качества знаний введем 4 ступени ранжирования – от 100 до 0, с шагом 25; для среднего балла – 6 ступеней (от 5 до 2, с шагом 0,5). Полученная по сумме коэффициентов таблица является итоговым показателем результативности сессии и может быть использована для дальнейшего анализа. Результат вычислений по выбранным показателям по направлениям подготовки представлен на столбчатой диаграмме – рис. 1.

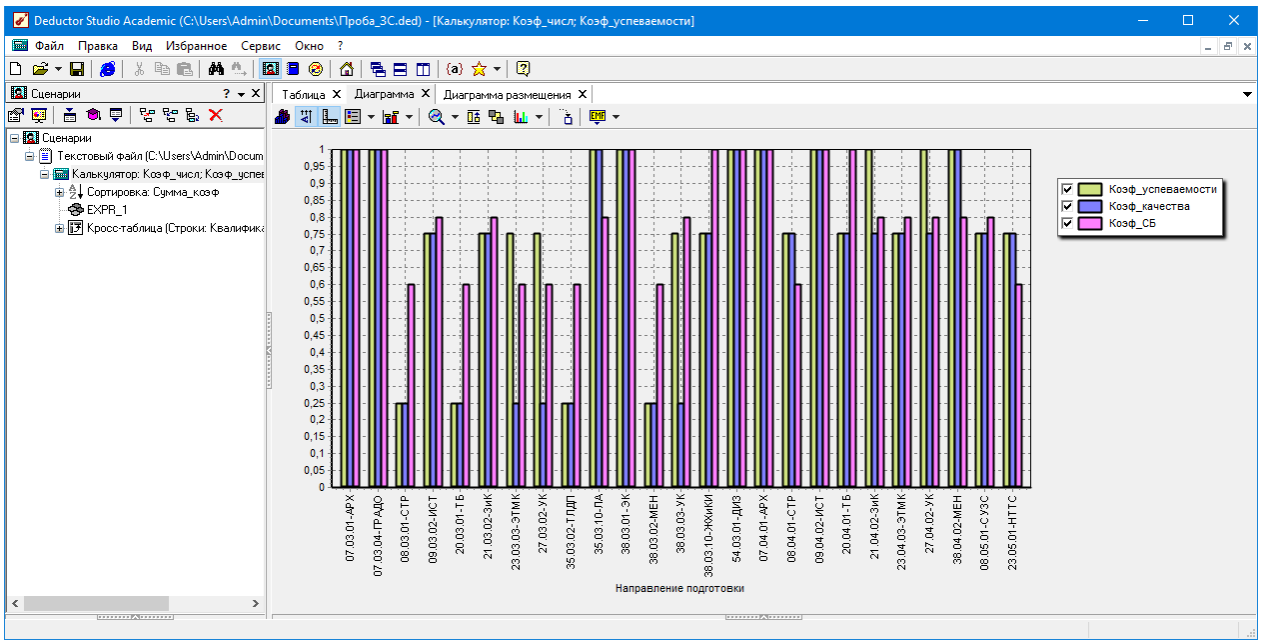


Рисунок 1

Узел Сортировка позволяет визуально выделить лидеров и аутсайдеров учебного процесса по полю «Сумма коэффициентов».

Используя фильтрацию данных, анализируем результаты сессии, распределяя по уровням образования – отдельно для направлений подготовки бакалавриата (специалитета) и для магистратуры. Подключая статистику, можно увидеть характеристики числового набора (минимум, максимум, средний балл) и частоту результатов для выбранных показателей. Приведенный на рис. 2 линейчатый график с точками отображает рассчитанный итоговый показатель результативности сессии по направлениям бакалавриата и специалитета. Также для наглядности использованы сведения о численности студентов по направлениям подготовки.

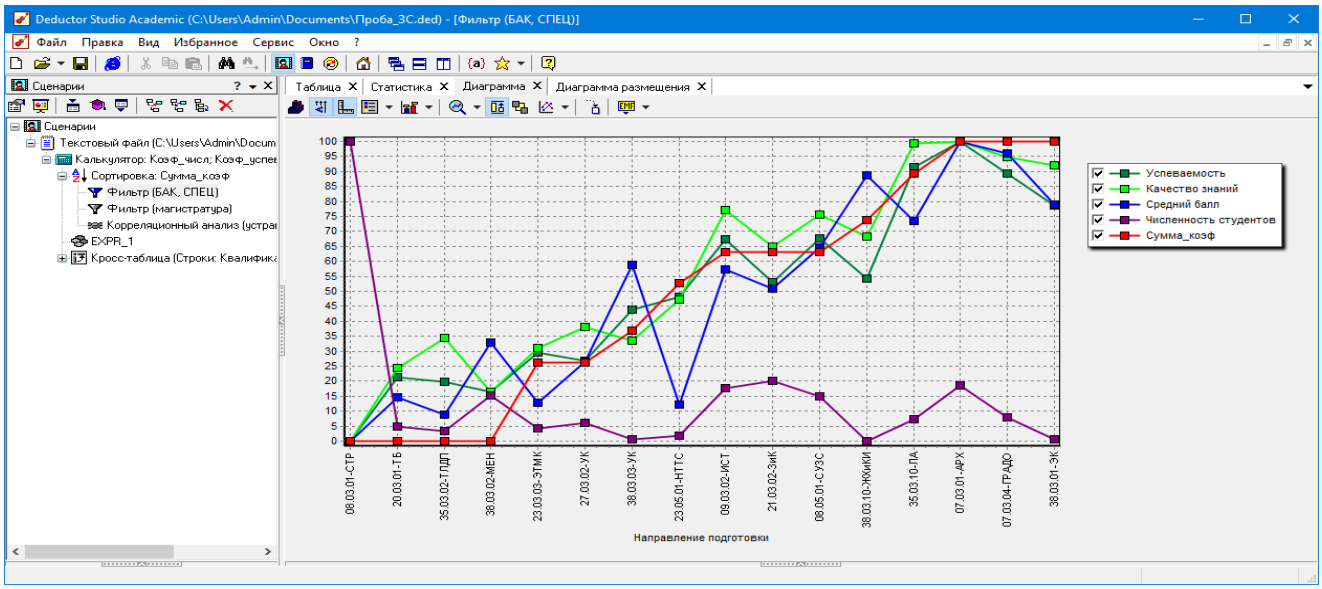


Рисунок 2

Трехмерная диаграмма размещения показателей отображает зависимость итогового показателя результативности от численности по направлениям подготовки.

Используя узел Корреляционный анализ, создадим матрицу корреляции и диаграмму в целом, без разбиения по квалификациям. В качестве входных показателей используем успеваемость, качество знаний, средний балл и численность студентов, в качестве выходного – итоговый показатель результативности. Определяем силу и направление линейной зависимости с помощью коэффициента корреляции Пирсона.

Мастер обработки программы Deductor позволяет использовать метод кластерной обработки данных в виде самоорганизующихся карт Кохонена.

В качестве входных показателей также используем успеваемость, качество знаний, средний балл и численность студентов, в качестве выходного – итоговый показатель результативности. Способ отображения данных в виде карт Кохонена показан на рис. 3. С помощью кластерной обработки возможен анализ «что-

если», который позволяет оценить, как может измениться итоговый показатель при модификации любого влияющего фактора.

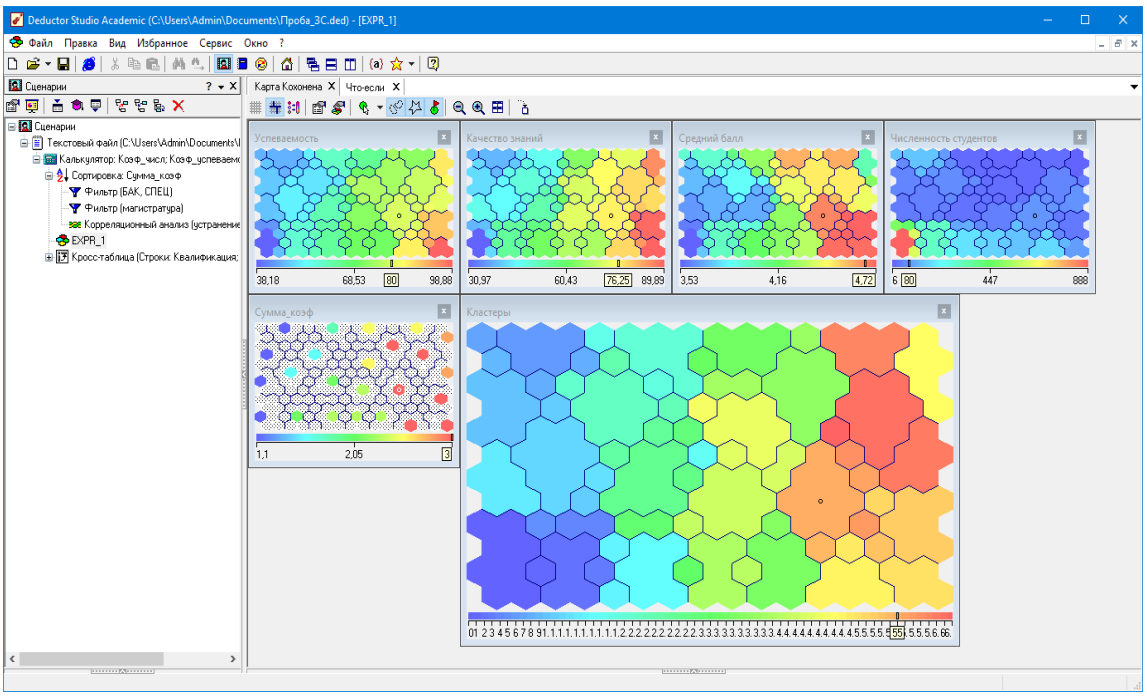


Рисунок 3

Обобщенный анализ данных по квалификациям проводим, используя обработчик Кросс-таблицы (рис. 4). В результате обработки получаем укрупненный итоговый показатель результативности. Для расчета абсолютного процентного соотношения результатов используем узел Калькулятор.

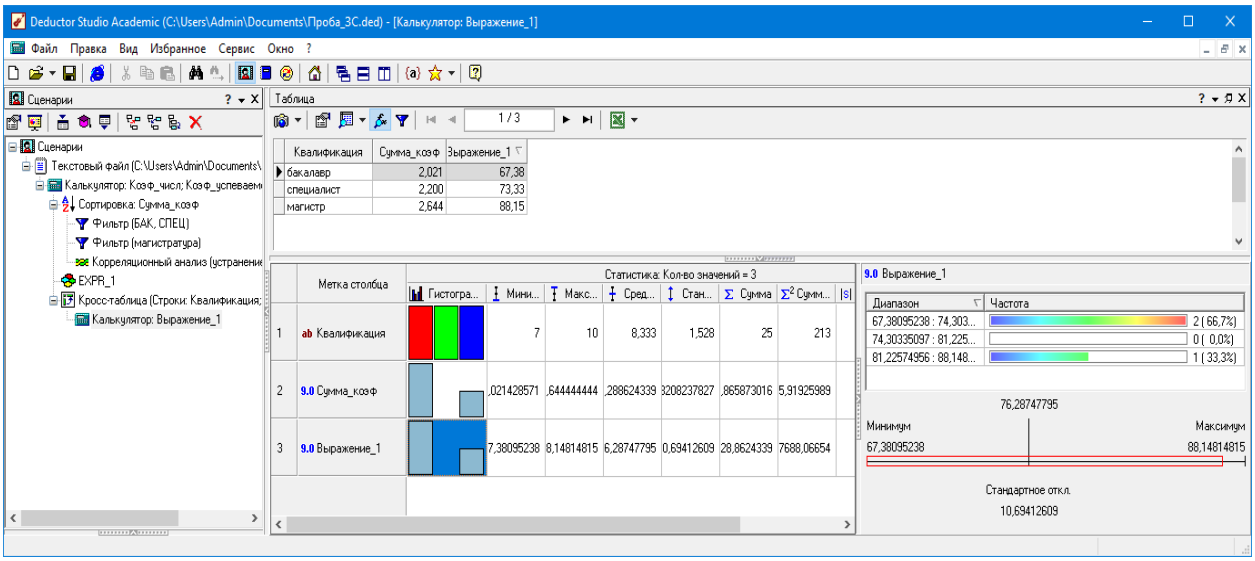


Рисунок 4

Таким образом, применение АП Deductor позволяет автоматизировать полный цикл анализа данных. Множество способов отображения результатов в визуализаторе облегчает интерпретацию полученных сведений. Бесспорно, что в работе учебного управления такой инструмент нужен как средство повышения эффективности деятельности. Вместе с тем, бесплатная учебная версия, предназначенная для образовательных целей, имеет ограниченный функционал. В частности, невозможен экспорт полученной информации в табличный редактор, а также в программе возможно использовать ограниченное количество источников данных.

Список использованных источников

1. Барсегян, А.А. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining / А.А. Барсегян, М.С. Куприянов, В.В. Степаненко, И.И. Холод. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 336 с.: ил. – EDN: QMNOPT. – ISBN: 5-94157-522-X.

2. Конотопов, П.Ю. Аналитика: методология, технология и организация информационно-аналитической работы / П.Ю. Конотопов, Ю.В. Курносов. – М.: РУСАКИ, 2004. – 512 с.

3. Официальный сайт компании «BaseGroup Labs» [Электрон. ресурс]. – Рязань, 1995–2010. Режим доступа: http://www.basegroup.ru/ (Дата обращения 15.07.2026 г.).

4. Завьялова, Н.Б. Маркетинговые исследования средствами аналитической платформы Deductor [Электрон. ресурс] / Н.Б. Завьялова, К.Г. Афанасиади. – https://cyberleninka.ru/article/n/marketingovye-issledovaniya-sredstvami-analiticheskoy-platformy-deductor (Дата обращения 15.07.2026 г.).

USING THE DEDUCTOR STUDIO ANALYTICAL PLATFORM TO ANALYZE UNIVERSITY STUDENT INTERIM ASSESSMENT RESULTS

M.M. Sukhova, V.V. Kuzina

Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russia

This article discusses the importance of automating the processing of university student interim assessment data. It describes the use of the Deductor Studio analytical platform by the academic administration department to generate reports, illustrating the process with a specific example.

Keywords: reporting automation, university, academic administration department, interim assessment results, Deductor Studio Academic analytical platform.

УДК 629.12

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В МОДЕЛИРОВАНИИ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Н.Ф. Тихонов

Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия

Работа нацелена на изучение и систематизацию методов математического моделирования с применением искусственного интеллекта в судовых энергетических установках. Математическое моделирование на основе современных информационных технологий становится основным элементом в исследовании судовых энергетических установок. Среди инструментальных средств выделяются методы искусственного интеллекта, способные адаптироваться к изменяющимся условиям работы и выявлять скрытые закономерности, недоступные традиционному анализу.

Ключевые слова: моделирование, искусственный интеллект, эффективность, система, интеграция, подход.

Введение

Современные судовые энергетические установки представляют собой сложные динамические системы, функционирование которых зависит от множества взаимосвязанных факторов, таких как гидродинамика, энергетические процессы, условия внешней среды и особенности технических характеристик судна. Это создаёт необходимость в применении точных и адаптивных методов моделирования для разработки, анализа и управления такими системами. Традиционные подходы, основанные на классических уравнениях гидродинамики и физики, часто не способны полноценно отразить нелинейные и стохастические особенности реальных процессов, что осложняет прогнозирование и оптимизацию работы судовых энергетических комплексов [1, 2].

Цель исследования - изучение современных методов применения информационных технологий (ИИ), включая математическое моделирование и искусственный интеллект, в области разработки и эксплуатации судовых энергетических установок.

Материал и методы исследования

Математическое моделирование судовых энергетических установок начинается с построения комплексной модели, которая отражает взаимосвязь между основными компонентами системы: двигателями, генераторами, системами передачи энергии и нагрузками, связанными с судном [3]. Основная задача такого моделирования воспроизвести динамическое поведение энергетической установки в различных режимах работы с учётом внешних воздействий, технических характеристик оборудования и внутренних процессов.

В основе модели лежат уравнения баланса энергии и движения, которые описывают преобразование топлива в механическую энергию и далее в электрическую. Модель включает уравнения динамики вращающихся масс, выражающие соотношение между моментами сил, моментом инерции и угловыми ускорениями валов двигателей и других вращающихся элементов. В энергетическом контуре применяются дифференциальные уравнения энергетического баланса, учитывающие КПД преобразующих устройств и потери энергии в системе. Неотъемлемой частью модели являются уравнения теплового баланса, описывающие режимы охлаждения и тепловыделения, зачастую с разными схемами в случае неоднородных температурных полей.

Для описания динамики двигателей внутреннего сгорания применяется система уравнений газодинамики и химической кинетики процессов горения. Моменты сил на валу формируются с учётом параметров давления и температуры, варьирующихся во времени и пространстве камеры сгорания. Эти параметры зависят от процессов впуска и выпуска, характеристик топливной смеси и режима работы, что отражается в системах нелинейных уравнений с большим числом параметров.

Модели генераторов базируются на уравнениях электромагнитного взаимодействия в обмотках статора и ротора, учитывающих индуктивные, емкостные и активные сопротивления. Динамика токов и напряжений описывается системой уравнений, связывающих магнитные потоки с электрическими параметрами, что позволяет учитывать влияние нагрузок и условий эксплуатации на стабильность энергетической установки.

Параметры нагрузок судна, включающие электрические потребители, механические нагрузки и динамические воздействия окружающей среды [4], встраиваются в модель как внешние воздействия, влияющие на режим работы энергетического комплекса. Их изменение во времени реализуется через функции нагрузки, зависимые от характеристик судна и текущего состояния окружающей среды, таких как волновые и метеорологические воздействия.

Кроме уравнений состояния и динамики, в модели учитываются ограничения и переходные процессы, включая запуск и остановку оборудования, режимы защиты и аварийного отключения. Часто применяется описание с помощью систем дифференциальных уравнений в обыкновенных производных и систем дифференциальных уравнений с алгебраическими связями, что позволяет гибко учитывать особенности реального оборудования.

Классические математические модели, основанные преимущественно на аналитических уравнениях физики и техники, сталкиваются с рядом ограничений. Во-первых, точное описание процессов требует большого количества параметров, многие из которых подвержены вариациям и потере точности при измерениях. Во-вторых, высокоразмерные и нелинейные системы уравнений часто приводят к значительным вычислительным затратам, что усложняет применение в режиме реального времени. В-третьих, классические методы плохо

справляются с учётом неопределённостей, случайных возмущений и сложных зависимостей, возникающих при взаимодействии множества субсистем и внешних факторов.

Эти ограничения создают предпосылки для внедрения новых подходов, позволяющих расширить возможности моделирования. Описание сопряжённых процессов и адаптация модели к реальному поведению системы требует использования методов, способных работать с большими объёмами данных и неявными зависимостями. Именно здесь начинается применение алгоритмов искусственного интеллекта.

Результаты исследования и их обсуждение

Современные методы искусственного интеллекта, в первую очередь нейросетевые алгоритмы, находят всё более широкое применение в инженерных задачах, связанных с моделированием динамических систем и сложных технических объектов. В части судовых энергетических установок использование ИИ направлено на создание адаптивных моделей, способных эффективно описывать нелинейные и многопараметрические процессы, что значительно расширяет возможности анализа и прогноза поведения системы.

К ключевым методам искусственного интеллекта, применимым к судовым энергетическим системам, относятся глубокие нейронные сети (Deep Neural Networks, DNN), рекуррентные нейронные сети (Recurrent Neural Networks, RNN) и их модификации, такие как LSTM (Long Short-Term Memory) и GRU (Gated Recurrent Unit). Эти архитектуры позволяют моделировать временную динамику и зависимость текущего состояния от предшествующих, что особенно важно для систем с запаздыванием, колебаниями и изменяющимися режимами работы. Например, LSTM эффективно справляется с обучением на данных с длительными временными интервалами, что полезно при прогнозировании работы двигателя при переменных условиях топлива или нагрузки.

Другие методы ИИ включают сверточные нейронные сети (Convolutional Neural Networks, CNN), которые применяются преимущественно для анализа пространственных данных, таких как тепловые поля или вибрационные сигналы, зарегистрированные датчиками на судне. Все чаще используется комбинация различных нейросетевых архитектур, а именно гибридные модели, объединяющие RNN и CNN, что позволяет комплексно анализировать как временные, так и пространственные особенности работы энергетической установки.

Используются методы обучения нейросетей двух типов: обучение с учителем и обучение без учителя. Для задач моделирования судовых систем чаще применяется обучение с учителем, когда модель обучается на исторических данных, собранных с датчиков энергетического комплекса, включая параметры работы двигателей, генераторов и нагрузок. Такой подход обеспечивает возможность построения точных прогнозов и обнаружения аномалий в режиме реального времени [5, 6].

Важным вопросом является адаптивное обучение и обновление нейросетевой модели на основе поступающих данных, что позволяет учитывать влияние износа оборудования, изменения эксплуатационных условий и новых режимов работы без необходимости полного пересмотра созданной модели. Использование методов обучения с подкреплением открывает перспективы для разработки алгоритмов интеллектуального управления, оптимизирующих работу установки в условиях неопределённости и меняющихся внешних факторов [6-8].

По сравнению с традиционными методами, основанными на аналитическом описании и численном решении уравнений, ИИ-методы обладают следующими преимуществами: они эффективно работают с большим объёмом данных, позволяя выявлять сложные зависимости, которые трудно формализовать аналитически. Нейросети устойчивы к шумам и пропускам в данных, способны адаптироваться к изменчивым режимам работы и обеспечивают достаточную вычислительную производительность для внедрения в режиме реального времени на борту судна.

Использование ИИ требует тщательной подготовки данных: от очистки и нормализации до отбора признаков, что является критическим этапом для достижения высокой точности и надёжности моделей. Интерпретируемость нейросетевых моделей остаётся проблемой: классические физические модели обеспечивают понятные механизмы объяснения выявленных закономерностей, тогда как нейросети часто выступают как "чёрный ящик". Для частичного решения этой проблемы применяются методы интерпретации и визуализации результатов, например, анализ весов, отображение активаций или методы объяснения предсказаний.

При оценке эффективности нейросетевых моделей в сравнении с классическими математическими методами выявлено, что ИИ-модели достигают большей точности при прогнозировании параметров энергетических установок, особенно в случаях сложных нелинейных режимов и при наличии большого объёма исторических данных. В то же время классические модели сохраняют важную роль при описании фундаментальных процессов и предоставляют базис для первоначального понимания системы и формирования структурных ограничений в гибридных решениях, сочетающих физические модели и ИИ-подходы.

Заключение

Методы искусственного интеллекта дополняют традиционные математические модели, расширяя возможности динамического моделирования судовых энергетических установок. Их комбинация позволяет снизить влияние неопределённостей, повысить устойчивость к эксплуатационным изменениям и улучшить прогнозирование работы системы, что служит основой для следующего этапа исследования - анализа практических результатов внедрения ИИ моделей в реальные судовые энергетические комплексы [1-8].

Список использованных источников

1. Патент на полезную модель № 166326 U1 Российская Федерация, МПК B63H 23/24. Судовая энергосберегающая установка : № 2016119864/11 : заявл. 23.05.2016 : опубл. 20.11.2016 / В. Н. Тимофеев, Л. В. Тузов, О. К. Безюков [и др.]. – EDN YMLDQP.

2. Волосенков, В. О. Проблемы информационной безопасности автоматизированных систем управления морским транспортом / В. О. Волосенков, С. Х. Екшембтев // Морское оборудование и технологии. – 2024. – № 1(38). – С. 71-73. – EDN LLRABW.

3. Тимофеев, В. Н. Энергосберегающая установка речного судна / В. Н. Тимофеев, Н. Ф. Тихонов // Сборник избранных статей по материалам научных конференций ГНИИ "Нацразвитие" : Материалы конференций ГНИИ «НАЦРАЗВИТИЕ», Санкт-Петербург, 25–30 апреля 2019 года / Выпускающий редактор Ю.Ф. Эльзессер, Ответственный за выпуск С.В. Викторенкова. Том Часть 2. – Санкт-Петербург: ЧНОУ ДПО ГНИИ «НАЦРАЗВИТИЕ», 2019. – С. 277-281. – EDN EPYDIN.

4. Шумихина, Е. Г. Инновационные технологии и экологическая устойчивость судовых энергетических установок / Е. Г. Шумихина // Мировые научные достижения естественно-научных и социально-гуманитарных исследований: от теории к практике: Сборник научных статей III Международной научно-практической конференции, Москва, 28 февраля 2025 года. – Москва: ООО "Симметрия", 2025. – С. 508-512. – EDN MTAJAD.

5. Попов, Д. А. Направления и перспективы развития судовых энергетических установок безэкипажных судов / Д. А. Попов, А. Р. Иващук, И. А. Андреев. – Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2024. – № 10 (509). – С. 82-85. – URL: https://moluch.ru/archive/509/111857.

6. Тихонов, Н. Ф. Реализация инновационных технологий в судовых энергетических установках / Н. Ф. Тихонов // Донецкие чтения - 2025: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: Материалы X Международной научной конференции, посвященной 60-летию создания Донецкого научного центра, Донецк, 05–07 ноября 2025 года. – Донецк: Донецкий государственный университет, 2025. – С. 67-70. – EDN XVSILP.

7. Тихонов, Н. Ф. Судовые энергетические установки / Н. Ф. Тихонов, О. А. Надеждина, А. А. Петров // Высокие технологии и инновации в науке : Сборник избранных статей Международной научной конференции, Санкт-Петербург, 28 марта 2021 года. – Санкт-Петербург: ЧНОУ ДПО ГНИИ «НАЦРАЗВИТИЕ», 2021. – С. 75-79. – EDN JOOBAS.

8. Вовик, А. Г. Методика автоматизированного управления информационной безопасностью в системах интернета вещей / А. Г. Вовик, Л. И. Воронова // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. – 2024. – Т. 16, № 4. – С. 4-11. – DOI 10.36724/2409-5419-2024-16-4-4-11. – EDN SJWHGZ.

THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS IN MODELING SHIP POWER PLANTS

N.F. Tikhonov

I.N. Ulyanov Chuvash State University,
Cheboksary, Russia

The work is aimed at studying and systematizing methods of mathematical modeling using artificial intelligence in ship power plants. It is mathematical modeling based on modern information technologies that becomes the cornerstone in the study of ship power plants. Among the tools, artificial intelligence methods stand out, as they are capable of adapting to changing operating conditions and identifying hidden patterns that are inaccessible to traditional analysis.

Keywords: modeling, artificial intelligence, efficiency, system, integration, approach.

УДК 519.688

ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА БАЗЕ АЛГОРИТМА КРАСКАЛА

Н.В. Тюльпинова

Брянский государственный технический университет,
г. Брянск, Россия

Разработка программного модуля поддержки принятия решений на базе алгоритма Краскала является актуальной задачей, позволяющей существенно повысить экономическую эффективность инфраструктурных проектов в различных отраслях. Результаты, полученные на основе этого модуля, обеспечивают сокращение капитальных и эксплуатационных затрат, повышение уровня обоснованности и качества принимаемых решений. В условиях роста требований к эффективности использования ресурсов и необходимости оптимизации расходов внедрение разработанного модуля становится важным конкурентным преимуществом для компаний и организаций.

Ключевые слова: граф, остовное дерево, оптимизация, инструмент поддержки принятия решений, программный модуль.

Современные бизнес-процессы характеризуются высокой степенью взаимосвязанности объектов и необходимостью эффективного управления распределёнными системами. В таких условиях особую значимость приобретают методы оптимизации, позволяющие минимизировать издержки и устранить избыточность при сохранении функциональности и надёжности инфраструктуры. Одним из инструментов решения подобных задач является разработка программного модуля, реализующего классический алгоритм теории графов (алгоритм

Краскала [1-3]) и позволяющего найти такую конфигурацию соединений между объектами, при которой суммарные затраты минимальны, а избыточные связи отсутствуют. Автором настоящей статьи разработан соответствующий модуль, строящий минимальное остовное дерево в связном взвешенном графе и визуализирующий полученный результат. Данный модуль сортирует все возможные рёбра в порядке возрастания их веса (стоимости или протяжённости) и последовательно добавляет их в итоговый граф при условии, что добавление того или иного ребра не приводит к образованию цикла. Сфера применения разработанного модуля может быть весьма обширной: 1) телекоммуникации и сети передачи данных (при проектировании волоконно-оптических и кабельных сетей модуль позволяет определить оптимальную топологию соединений, минимизируя общую длину прокладываемых линий, что напрямую снижает затраты на материалы и монтажные работы и сокращает сметную стоимость за счёт исключения избыточных соединений и выбора наиболее рациональных маршрутов); 2) энергетика и распределительные сети (в электроэнергетике модуль даёт возможность оптимизировать схему подключения потребителей к подстанциям, а также минимизировать протяжённость линий электропередачи, что снижает потери электроэнергии и затраты на строительство, кроме того, рациональная схема, получаемая с помощью данного модуля, повышает надёжность энергетической системы за счёт уменьшения числа потенциально уязвимых участков); 3) соединение производственных площадок (если у компании несколько заводов, филиалов или цехов, между которыми нужно наладить регулярные перевозки сырья, комплектующих или готовой продукции, модуль помогает спроектировать минимально затратную базовую сеть связей); 4) оптимизация внутренних коммуникаций (на крупных предприятиях модуль может использоваться для прокладки внутренних инженерных сетей (электричество, вентиляция, конвейеры) между цехами и участками с минимальными затратами материалов и работ); 5) городское планирование и ЖКХ (при прокладке сетей водоснабжения, канализации, теплоснабжения и газоснабжения модуль позволяет минимизировать общую длину трубопроводов, что снижает стоимость строительства и эксплуатации; в условиях плотной городской застройки это особенно важно, поскольку сокращение протяжённости коммуникаций уменьшает объём земляных работ и связанные с ними неудобства для жителей); 6) дорожно-транспортная инфраструктура (модуль позволяет сформировать оптимальную дорожную сеть и оптимизировать схемы движения); 7) аналитика и машинное обучение (модуль может применяться для кластеризации и выявления естественной структуры данных, например, в маркетинге это может помочь сегментировать клиентов или товары, выделив наиболее «тесные» группы без избыточных связей между ними); 8) финансы и риск-менеджмент (оптимизация графа корреляций между активами, выполненная с помощью данного модуля, помогает выделить ключевые связи и упростить структуру портфеля активов, убрав избыточные и дублирующие зависимости).

Примеры применения разработанного программного модуля приведены на рис. 1 и рис. 2: на экране сопоставляется исходный и оптимальный граф с указанием веса в табличной и графической форме. В примере на рис. 1 решается

задача оптимизации дорожной сети, вес ребра в данном случае – это не просто расстояние, а условная стоимость строительства участка (в млн рублей), рассчитанная с учётом не только расстояния, но и сложности рельефа, наличия препятствий и других факторов, повышающих коэффициент стоимости. Полученный результат наглядно демонстрирует: как использование разработанного программного модуля обеспечивает снижение стоимости строительства дорог в 2,8 раза по сравнению с первоначальным вариантом. В примере на рис. 2 решается задача оптимальной организации временных дорог на стройплощадке, вес ребра измеряется в метрах. Часто проектировщик интуитивно делает «звезду»: от склада тянут ответвления к каждому объекту, «чтобы всё было под рукой». Полученный результат показывает, что это не эффективно, так как вес «звезды» в 1,7 раза больше веса оптимального графа.

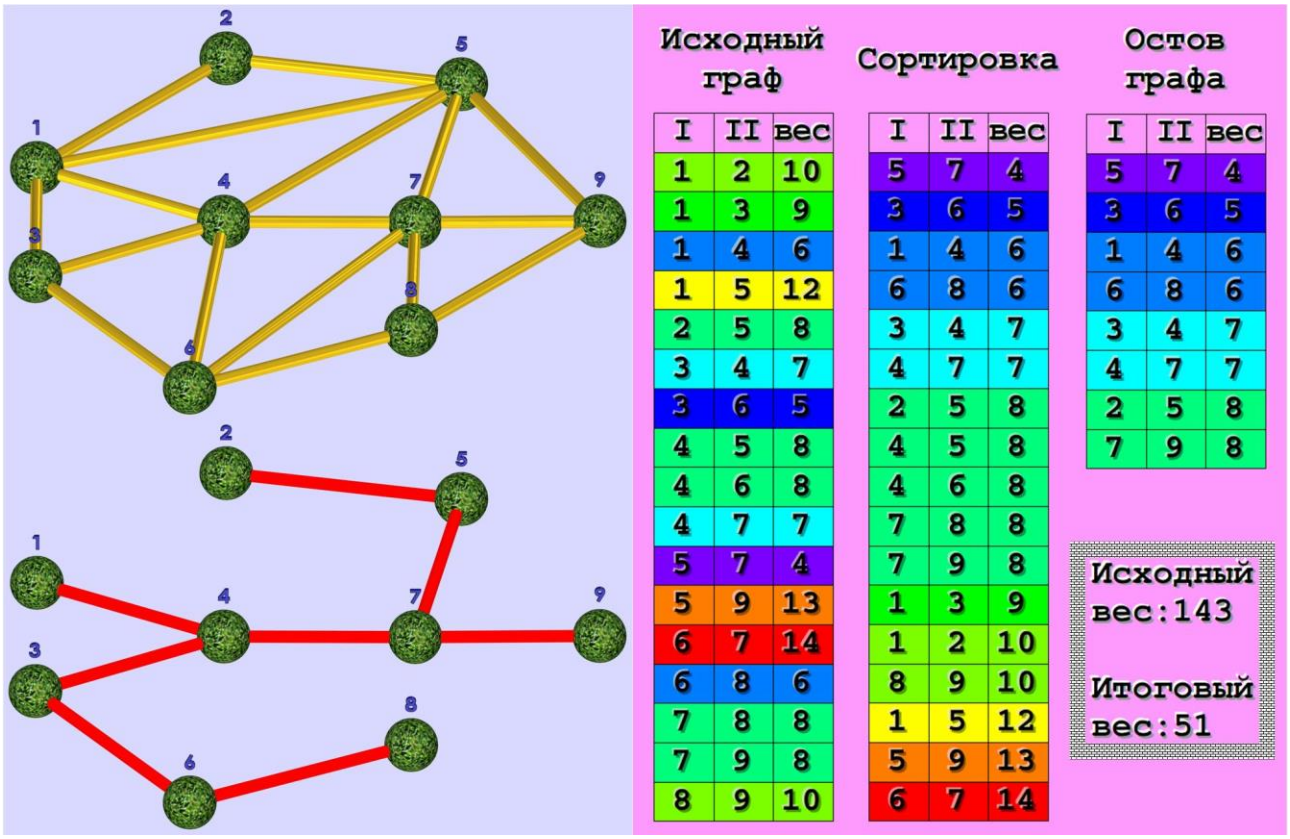


Рисунок 1 – Результат работы модуля для задачи оптимизации дорожной сети

Внедрение разработанного программного модуля в практику даёт следующие экономические преимущества: 1) сокращение сроков проектирования (автоматизированные расчёты позволяют быстро анализировать множество сценариев и выбирать оптимальный вариант, что сокращает время на разработку проектной документации); 2) снижение капитальных затрат (минимизация длины коммуникаций и рациональное распределение ресурсов напрямую уменьшают стоимость строительства); 3) уменьшение эксплуатационных расходов (оптимизированные сети характеризуются меньшими потерями энергии, воды или

других ресурсов, а также требуют меньше затрат на обслуживание); 4) повышение уровня обоснованности принимаемых решений (технико-экономическое обоснование принятого решения, обоснование бюджета перед заказчиком, проверка на предмет того, не упущено ли более дешёвое решение); 5) оптимизация топологии сложных сетей (интуитивное проектирование может приводить к неоптимальным решениям, тогда как разработанный модуль помогает выявить действительно наиболее эффективные связи между объектами); 6) получение глобально оптимального решения ещё на этапе концептуального проектирования.

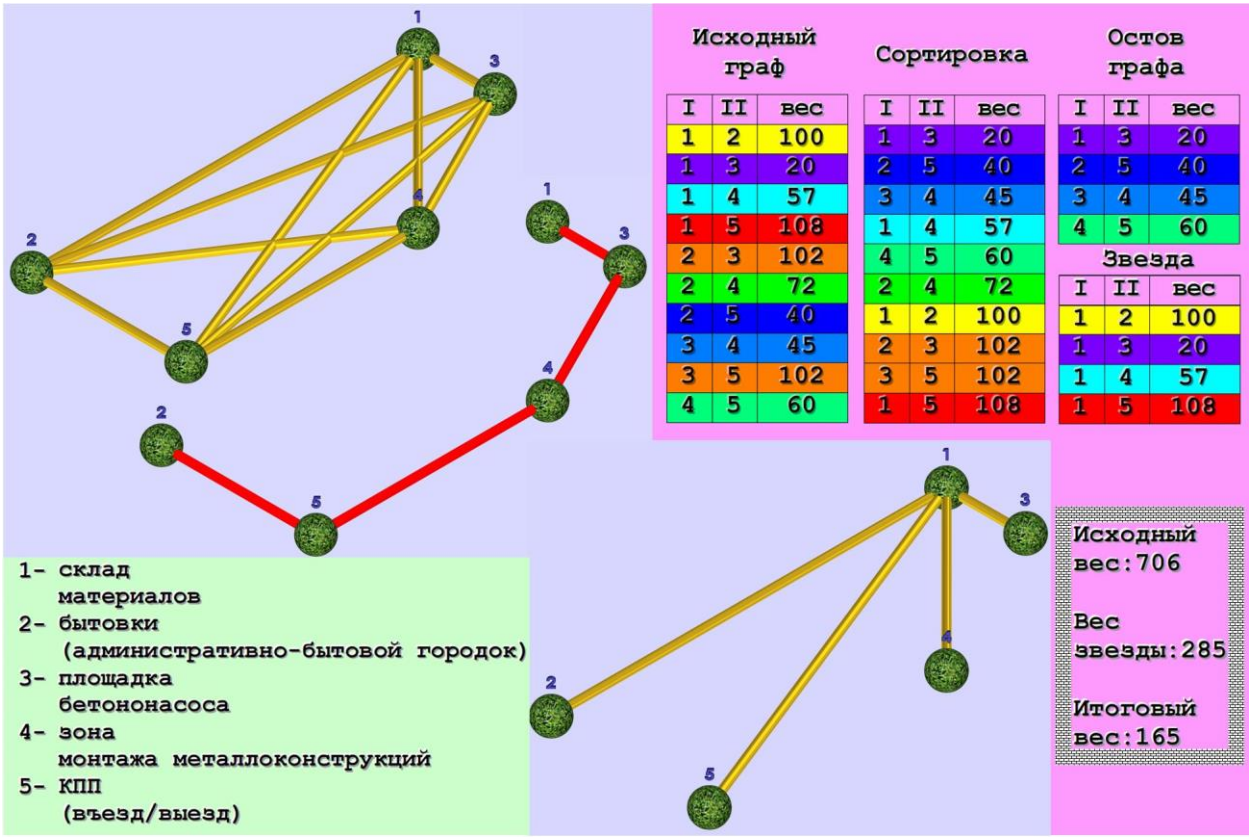


Рисунок 2 – Результат работы модуля для задачи оптимальной организации временных дорог на стройплощадке

Список использованных источников

1. Карлов, А.В. О подходах к методологическому обоснованию формирования Единой опорной транспортной сети и приоритизации проектов развития транспортной инфраструктуры / А.В. Карлов, О.В. Евсеев // Мир транспорта. – 2023. – Т.21, №6(109). – С.14–21. – EDN KYGPTR.

2. Пивоварова, О.В. Инновационные подходы к транспортному развитию городов: мировая практика и отечественные перспективы / О.В. Пивоварова, И.Н. Макаров // Экономика, предпринимательство и право. – 2026. – Т.16, №4. – С.2323–2350. – EDN EJKJTC.

3. Рубинский, С.С. Комплексное применение алгоритмов Дейкстры и Краскала для построения базового минимального остовного дерева при

проектировании сетей газораспределения / С.С. Рубинский // Нефть и газ – 2024: Тезисы докладов 78-ой Международной молодежной научной конференции, Москва, 22–26 апреля 2024 года. – Москва: Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина, 2024. – С.380–381. – EDN HEWZGX.

SOFTWARE MODULE FOR DECISION SUPPORT BASED ON THE KRUSKAL ALGORITHM

N.V. Tyulpinova

Bryansk State Technical University,
Bryansk, Russia

The development of a software module for decision support based on Kruskal's algorithm is a relevant task that can significantly improve the economic efficiency of infrastructure projects across various industries. The results obtained using this module enable a reduction in capital and operating costs and enhance the validity and quality of the decisions made. Given the growing requirements for efficient resource utilization and the need to optimize expenses, the implementation of the developed module becomes an important competitive advantage for companies and organizations.

Keywords: graph, spanning tree, optimization, decision support tool, software module.

УДК 539.3

ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ РАСЧЁТА РАСТЯЖЕНИЯ И СЖАТИЯ БРУСА КАК ИНСТРУМЕНТ ФОРМИРОВАНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ НАВЫКОВ В КУРСЕ «СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ»

Н.В. Тюльпинова

Брянский государственный технический университет,
г. Брянск, Россия

Актуальность разработки приложения для расчёта растяжения и сжатия бруса в учебном процессе обусловлена необходимостью повышения эффективности освоения сложных инженерных дисциплин, снижения когнитивной нагрузки на студентов за счёт автоматизации рутинных операций и усиления практической направленности обучения. В данной статье представлено соответствующее приложение и приведены примеры его применения в учебном процессе. В условиях цифровизации образования и растущих требований к качеству подготовки инженерных кадров разработка и внедрение подобных приложений становятся важным шагом на пути к современному, практико-ориентированному инженерному образованию.

Ключевые слова: сопротивление материалов, растяжение-сжатие, эпюра, расчётное приложение, инженерное образование.

Курс «Сопротивление материалов» является одним из ключевых в подготовке инженеров. Он формирует у студентов способность переходить от абстрактных формул к реальным инженерным решениям. Однако этот курс традиционно считается одним из самых сложных в технических вузах. Его освоение требует не только понимания теоретических положений, но и выработки устойчивых навыков выполнения расчётов, интерпретации результатов и критического осмысления полученных данных. Ключевую роль в этом играет решение типовых задач, например, расчёт бруса на растяжение и сжатие, который часто становится для обучающихся серьёзным барьером: нужно одновременно держать в голове и физическую модель, и расчётные зависимости, и правила построения эпюр. Разработка специализированного приложения для такого расчёта способна стать полноценным методическим инструментом, который поможет студенту выстроить целостную картину и закрепить практические навыки, что существенно повысит эффективность учебного процесса и сделает изучение сложного материала более наглядным и доступным для студентов [1-4].

В классической методике преподавания студенты выполняют расчёты вручную, что связано с рядом трудностей: 1) высокая трудоёмкость рутинных вычислений (значительная часть времени уходит на арифметические операции, а не на осмысление физической сути задачи – это снижает мотивацию и мешает сосредоточиться на таких ключевых аспектах, как разбор расчётной схемы, анализ граничных условий, оценка результатов); 2) риск арифметических ошибок (даже небольшая ошибка в промежуточных вычислениях искажает итоговый результат, что затрудняет проверку правильности решения как самим студентом, так и преподавателем); 3) ограниченные возможности для вариативного анализа (в условиях аудиторных занятий и домашних заданий студенты редко могут позволить себе выполнить несколько вариантов расчёта с разными параметрами, чтобы понять, как изменение одного фактора влияет на всю систему); 4) сложность визуализации результатов (построение эпюр продольных сил, нормальных напряжений и перемещений вручную требует аккуратности и времени – ошибки в графическом представлении данных могут привести к неверной интерпретации напряжённо-деформированного состояния). Автором настоящей статьи разработано специализированное приложение для расчёта растяжения и сжатия бруса, являющееся дидактическим инструментом для преодоления указанных трудностей.

Постановка задачи, решаемой в разработанном приложении: брус, жёстко защемлённый левым концом, нагружен сосредоточенными силами; требуется построить эпюры продольных сил, нормальных напряжений и перемещений поперечных сечений; собственный вес бруса не учитывать. Исходные данные: 1) количество расчётных участков k; 2) массив площадей расчётных участков A (см2); 3) массив длин расчётных участков L (м); 4) массив внешних сосредоточенных сил F (кН), действующих на расчётные участки (если сила растягивает брус относительно крайнего правого сечения, то её величина вводится в

приложение со знаком «+», в противном случае – со знаком «–»); 5) массив модулей упругости E (ГПа) расчётных участков. Результаты расчёта: 1) массив продольных сил N (кН); 2) массив нормальных напряжений σ (МПа); 3) массив перемещений поперечных сечений δ (мм).

Разработанное приложение универсально: оно позволяет задать произвольное число расчётных участков. Например, для четырёх- и пятиступенчатых расчётных схем, изображённых на рис. 1а и рис. 1б, интерфейс приложения представлен на рис. 1в и рис. 1г соответственно. Программный код, описывающий расчёт, приведён на рис. 1д.

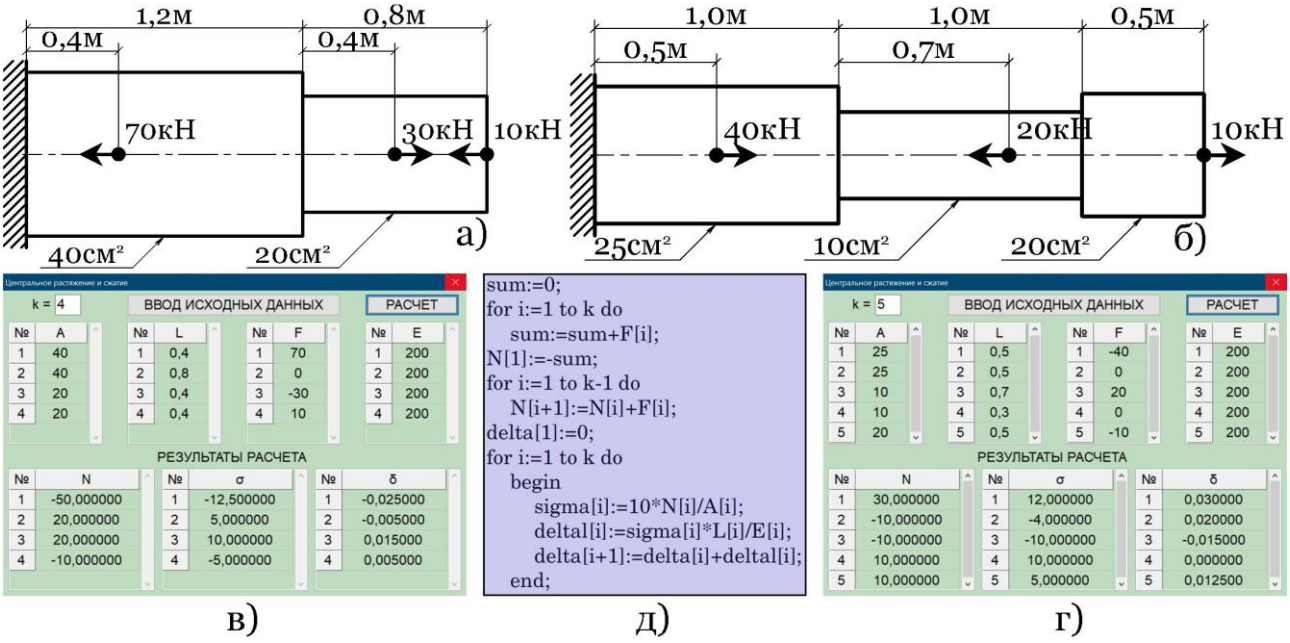


Рисунок 1 – Пользовательский интерфейс разработанного приложения

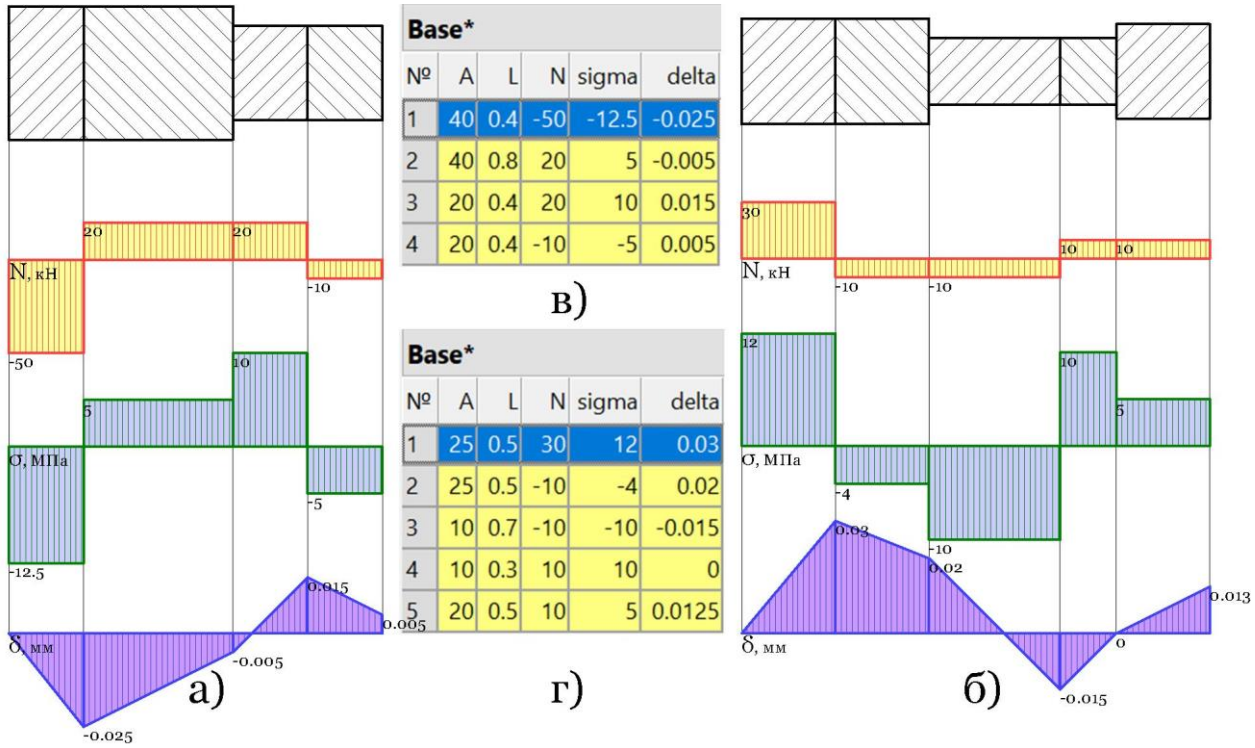


Рисунок 2 – Визуализация результатов работы разработанного приложения

Приложение разработано в IDE Lazarus, его результаты в числовой форме помимо вывода на экран (рис. 1в, рис. 1г), записываются в текстовый файл, после чего этот файл считывается параметрической моделью эпюр, разработанной автором настоящей статьи в T-FLEX CAD в целях визуализации. Пересчёт параметрической модели (перестроение эпюр) согласно числовым значениям, содержащимся в файле, происходит автоматически. Например, эпюры, полученные для расчётных схем, изображённых на рис. 1а и рис. 1б, представлены на рис. 2а и рис. 2б соответственно, а данные, считанные параметрической моделью из файла, приведены на рис. 2в и рис. 2г соответственно.

Разработанное приложение может быть интегрировано в различные формы учебной работы:

1) лабораторные работы: студенты вводят исходные данные в приложение и, минуя длительный этап рутинных расчётов, сразу приступают к анализу полученных результатов, что позволяет сфокусироваться не на арифметических операциях, а на физической сути задачи: почему в определённом сечении возникает пик напряжений или деформаций, как граничные условия влияют на распределение усилий, какие допущения заложены в расчётной модели и др.;

2) самостоятельная работа: приложение служит тренажёром для отработки навыков расчёта – студенты могут решать неограниченное количество задач с разными параметрами для самопроверки своих ручных расчётов; это развивает навыки критического мышления: если результаты не совпадают, студент вынужден искать ошибку – в исходных данных, в методике или в своих вычислениях;

3) исследовательская работа: возможность быстро изменять параметры (нагрузки, размеры сечения, материал) и наблюдать за изменением результатов формирует у студентов интуитивное понимание чувствительности конструкции к различным факторам; важный обучающий эффект при этом – возможность сразу увидеть, как изменение влияет на результат.

Одна из главных трудностей для студентов – переход от чисел к графикам и обратно. Разработанное приложение решает эту проблему за счёт: 1) автоматического построения эпюр (визуализация помогает студенту увидеть, где усилия максимальны, как распределяются напряжения, деформации и др.); 2) синхронизации графиков и численных данных (значения усилий, напряжений и перемещений, отображённые на эпюрах, позволяют студенту связать абстрактную линию на графике с конкретными числами и физическими величинами); 3) сравнительного анализа (студент может параллельно построить эпюры для нескольких вариантов сечения или материалов и наглядно увидеть, как меняется картина напряжённо-деформированного состояния).

Разработанное приложение не заменяет фундаментальные знания и навыки ручного расчёта, а дополняет их, предоставляя студентам инструмент для анализа, самопроверки и углублённого понимания предмета. Внедрение этого приложения в учебный процесс позволяет: 1) освободить время для осмысления физической модели и анализа результатов; 2) многократно отрабатывать типовые задачи без потери мотивации; 3) развивать инженерное мышление (анализ результатов, полученных с помощью приложения, учит студентов критически оценивать данные, понимать границы применимости расчётных моделей и

учитывать реальные условия работы конструкции); 4) развивать системное мышление (студенты учатся видеть не отдельные формулы, а взаимосвязь нагрузок, деформаций и ограничений); 5) формировать цифровые навыки (работа с расчётным программным обеспечением – неотъемлемая часть современной инженерной деятельности, разработанное приложение служит первым шагом к освоению сложных профессиональных программных комплексов).

Интеграция разработанного приложения в учебный курс «Сопротивление материалов» делает обучение практико-ориентированным, повышает вовлечённость студентов и готовит их к решению реальных инженерных задач.

Список использованных источников

1. Бакушев, С.В. Опыт цифровой трансформации при изучении курсов «Сопротивление материалов» и «теории упругости» на кафедре «Механика» в ПГУАС / С.В. Бакушев // Человеческий капитал. – 2023. – №12-2(180). – С.136–141. – EDN CNFZAK.

2. Дудаев, М.А. Современные информационно-технологические решения модернизации учебного курса «Сопротивление материалов» / М.А. Дудаев, О.В. Горева // Проблемы и пути развития профессионального образования: Сборник статей Всероссийской научно-методической конференции, Иркутск, 10-12 апреля 2024 года. – Иркутск: Иркутский государственный университет путей сообщения, 2024. – С.119–125. – EDN BYLOXC.

3. Семенов, В.К. О некоторых вопросах модернизации лабораторного практикума по курсу «Сопротивление материалов» / В.К. Семенов, Е.К. Петриков // Развитие'25: Российский PLM-комплекс для подготовки кадров: Тезисы докладов Всероссийского форума (с международным участием), Москва, 03 декабря 2025 года. – Москва: Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), 2025. – С.187–188. – EDN ILERLS.

4. Шашурин, Г.В. О некоторых вопросах модернизации курса «Сопротивление материалов» / Г.В. Шашурин, И.А. Киселев // Развитие'23: Российский PLM-комплекс для подготовки кадров: Тезисы докладов Всероссийского форума (с международным участием), Москва, 06 декабря 2023 года. – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2023. – С.173–174. – EDN FFERKU.

THE APPLICATION FOR CALCULATING THE TENSION AND COMPRESSION OF A BAR AS A TOOL FOR DEVELOPING PRACTICAL SKILLS IN THE «STRENGTH OF MATERIALS» COURSE

N.V. Tyulpinova

Bryansk State Technical University,
Bryansk, Russia

The relevance of developing an application for calculating tension and compression in a beam within the educational process is due to the need to improve the efficiency of mastering complex engineering disciplines, reduce the cognitive load on

students by automating routine tasks, and strengthen the practical focus of training. This article presents the corresponding application and provides examples of its use in the educational process. In the context of the digitalization of education and the growing requirements for the quality of engineering training, the development and implementation of such applications are becoming an important step towards modern, practice-oriented engineering education.

Keywords: strength of materials, tension-compression, stress diagram, calculation application, engineering education.

УДК 624.131

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ СКЛОНОВ И ОТКОСОВ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

Н.В. Тюльпинова

Брянский государственный технический университет, г. Брянск, Россия

Обоснована необходимость создания специализированного программного обеспечения для расчета коэффициента устойчивости склонов и откосов в полевых условиях. Разработано соответствующее приложение, представлен его интерфейс и архитектура. Приведены примеры его применения в строительстве, горном деле и инженерной геологии.

Ключевые слова: оползень, коэффициент устойчивости, полевые условия, программное обеспечение.

Оползни представляют серьезную геологическую опасность: в глобальном масштабе они ежегодно наносят огромный материальный ущерб и приводят к сотням тысяч случаев травмирования и гибели людей. Вследствие своей внезапности и разрушительной силы оползни способны стереть с лица земли целые поселки и сделать непригодными для эксплуатации обширные территории. Для того, чтобы своевременно определить и принять меры по предупреждению оползней и предотвращению катастрофических последствий, необходима оценка устойчивости склонов и откосов [1-4].

Традиционно расчет коэффициента устойчивости выполняется в камеральных условиях с использованием стационарных программных комплексов [5, 6]. Однако в ряде случаев требуется оперативная оценка устойчивости непосредственно на объекте: при аварийных ситуациях, мониторинге деформаций, экспресс-оценке перед началом работ. Но существующие программные комплексы не адаптированы для использования в полевых условиях из-за высоких требований к вычислительным ресурсам (эти программы требуют мощных компьютеров и длительного времени расчета), сложности интерфейса (ввод данных занимает значительное время) и отсутствия интеграции с полевыми измерительными приборами. В этой связи разработка специализированного программного

обеспечения (ПО) для расчета коэффициента устойчивости в полевых условиях является актуальной задачей, обусловленной необходимостью оперативного и достоверного контроля устойчивости грунтовых массивов: внедрение такого решения повысит безопасность, эффективность и оперативность принятия инженерных решений при изменяющихся исходных данных в строительстве, горном деле и инженерной геологии.

Исходные данные в полевых условиях могут существенно уточняться в реальном времени: фиксируются новые трещины, изменяется уровень грунтовых вод, обнаруживаются неожиданные геологические контакты или зоны разуплотнения. В таких ситуациях задержка с расчетом устойчивости может привести к принятию неоптимальных проектных решений либо к продолжению работ в потенциально опасной зоне. Специализированное ПО, позволяющее выполнить расчет непосредственно на объекте, обеспечивает: 1) сокращение времени между фиксацией факта и оценкой его последствий (инженер может оперативно проверить, как обнаруженное изменение влияет на коэффициент устойчивости, и скорректировать дальнейшие действия); 2) снижение вероятности принятия ошибочных решений (быстрая проверка сценариев позволяет избежать интуитивных оценок и опираться на количественные показатели); 3) повышение безопасности работ (своевременная идентификация потенциально опасных участков дает возможность немедленно ввести ограничительные меры: остановить работы, установить временные крепления, изменить схему откоса и др.).

Коэффициент устойчивости – это числовая величина, которая показывает, насколько склон стабилен: если этот коэффициент больше единицы – склон устойчив; меньше единицы – риск оползня высок; примерно равен единице – система находится в состоянии предельного равновесия, и смещение может начаться в любой момент. В полевых условиях предпочтительны упрощенные методы расчета коэффициента устойчивости, обеспечивающие баланс между точностью и скоростью расчета.

Автором настоящей статьи разработано ПО для расчета коэффициента устойчивости в полевых условиях. Архитектура включает следующие модули: 1) модуль выбора расчетной схемы (рис. 1а); 2) расчетный модуль с генерацией отчета и поддержкой ввода исходных данных как в ручном режиме, так и в режиме импорта данных с полевых приборов: пенетрометров, GPS, датчиков влажности и др. (рис. 1б); 3) модуль экспресс-исследования оценки влияния изменения отдельных параметров на итоговый коэффициент устойчивости (рис. 1в); 4) модуль визуализации, отображающий расчетные отсеки (рис. 1г).

Области применения разработанного ПО: 1) строительство (оперативная оценка устойчивости откосов котлованов, насыпей и выемок); 2) горное дело (контроль устойчивости бортов карьеров и отвалов, прогнозирование оползневых процессов); 3) инженерная геология (экспресс-оценка склонов при маршрутных обследованиях и мониторинге); 4) аварийные ситуации (быстрая оценка риска обрушения при деформациях и оползнях). Например, при строительстве автомобильной дороги на сложном рельефе инженер, используя данные пенетрометра и GPS-координаты, может провести экспресс-оценку устойчивости откоса

с помощью разработанного ПО и оперативно принять решение о необходимости укрепления откоса или корректировки проектных решений.

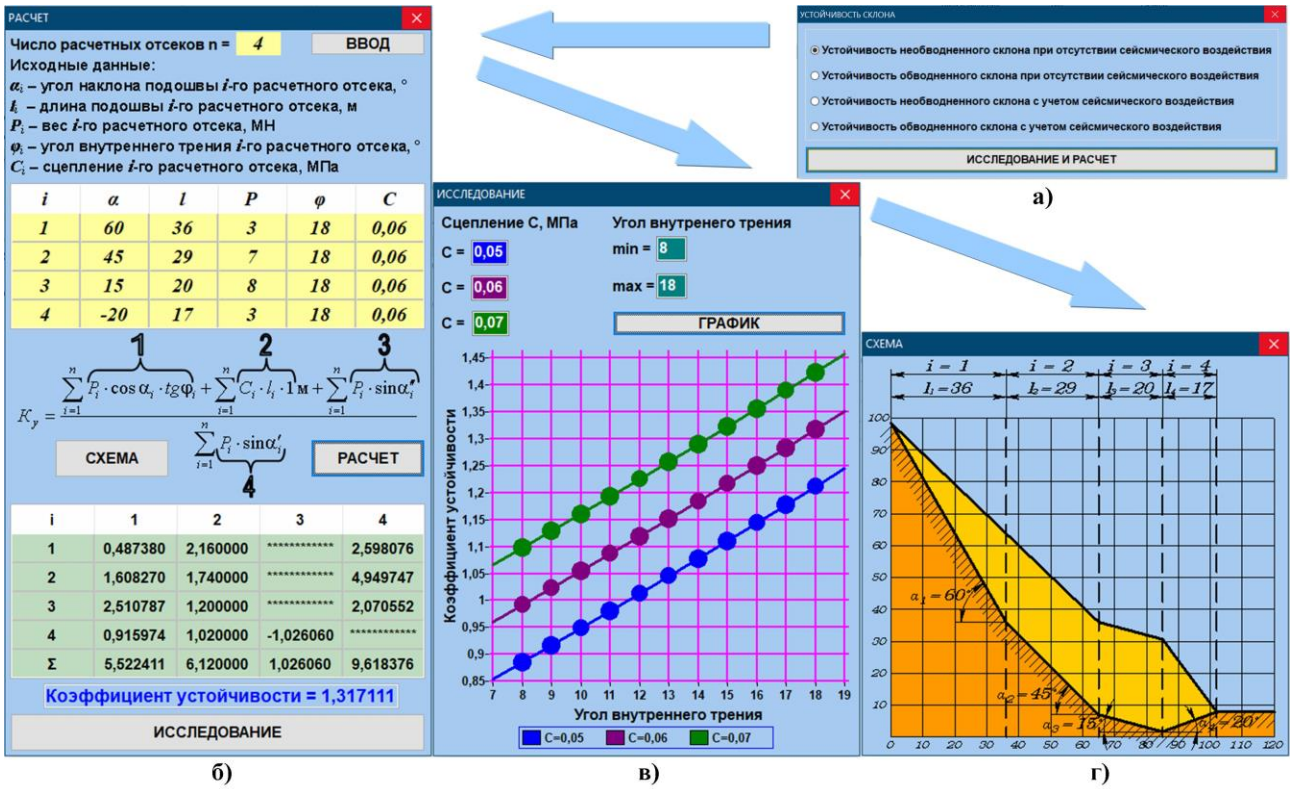


Рисунок 1 – Пользовательский интерфейс разработанного приложения

Внедрение разработанного ПО в практику позволяет: 1) снизить риски аварийных ситуаций за счет своевременного выявления опасных участков; 2) повысить безопасность персонала за счет оперативного принятия решений; 3) сократить время на проведение экспресс-оценки с нескольких часов до нескольких минут. Социальная эффективность проявляется в снижении риска обрушений и оползней, что особенно важно для населенных пунктов и инфраструктурных объектов.

Список использованных источников

1. Активизация оползневых процессов, обусловленная урбанизацией горных территорий / О.Г. Бурдзиева, Д.А. Мельков, М.О. Ревазов, А.Л. Кортиев // Устойчивое развитие горных территорий. – 2024. – Т.16, №4(62). – С.1646–1658. – EDN TOIONQ.

2. Лобкина, В.А. Активизация оползней при освоении горных территорий / В.А. Лобкина, Ю.В. Генсиоровский // Тихоокеанская геология. – 2024. – Т.43, №3. – С.109–119. – EDN UFUQQY.

3. Морозов, И.В. Влияние антропогенного фактора на активизацию оползневых процессов на примере Северо-Западного Кавказа / И.В. Морозов, А.В. Овчинников // Современные территориальные исследования: сборник научных статей. – Краснодар: Кубанский государственный университет, 2025. – С.103–107. – EDN KZYCIK.

4. Свиридова, Т.В. Предупреждение оползней и обрушений при разработке месторождений полезных ископаемых с целью обеспечения безопасности горных рабочих / Т.В. Свиридова, О.Б. Боброва, Е.А. Некеров // Актуальные проблемы горного дела. – 2018. – №2. – С.19–23. – EDN ZFCNRJ.

5. Бас, Н.С. Проектирование программного обеспечения для расчета устойчивости откосных сооружений / Н.С. Бас, В.Н. Костин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2016. – №11. – С. 33–46. – EDN WTPSTB.

6. Калинин, Э.В. Методы расчета устойчивости склонов и откосов: российские подходы в сопоставлении с мировыми тенденциями / Э.В. Калинин, М.П. Кропоткин // Инженерная геология. – 2022. – Т.17, №4. – С.22–38. – EDN HBTWHO.

SOFTWARE FOR ASSESSING THE STABILITY OF SLOPES AND EMBANKMENTS IN FIELD CONDITIONS

N.V. Tyulpinova

Bryansk State Technical University,
Bryansk, Russia

The necessity of developing specialized software for calculating the stability coefficient of slopes and embankments under field conditions has been substantiated. A corresponding application has been developed, and its interface and architecture are presented. Examples of its application in construction, mining, and engineering geology are provided.

Keywords: landslide, stability coefficient, field conditions, software.

УДК 004.91

ПРИМЕНЕНИЕ TELEGRAM-ЧАТ-БОТА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ОБСЛУЖИВАНИЯ КЛИЕНТОВ АПТЕКИ

К.Ф. Ульяшов, Е.С. Манаенкова

Смоленский государственный университет,
г. Смоленск, Россия

В данной статье рассматривается разработанный Telegram-чат-бот, предназначенный для автоматизации типовых операций обслуживания клиентов аптеки. Прототип предоставляет доступ к сведениям о товарах и ценах, обладает корзиной, оформлением и историей заказов. Также определены преимущества решений для покупателей и персонала и условия его внедрения в работу реальной аптечной организации.

Ключевые слова: Telegram-чат-бот, аптека, автоматизация обслуживания, база данных, аптечный ассортимент, оформление заказа, цифровой сервис.

Значительная часть обращений в аптеку связана с повторяющимися вопросами: покупатели уточняют наличие товара, его стоимость и порядок оформления заказа. Каждый такой запрос занимает время сотрудника, хотя необходимые сведения могут быть получены непосредственно из информационной системы организации. Поэтому актуальной задачей становится создание доступного цифрового канала, который принимает подобные типовые обращения без постоянного участия консультанта аптеки.

Чат-бот представляет собой предметно-ориентированный диалоговый интерфейс, работающий по заданным сценариям. Среди его преимуществ выделяются: круглосуточная поддержка, мгновенная выдача информации, а также снижение загруженности консультантов и передача сложных вопросов специалисту [1]. Telegram удобен тем, что клиент взаимодействует с сервисом в привычном популярном мессенджере и не нуждается в установке отдельного приложения. Цель работы – описать созданный прототип и оценить его практическую полезность для обслуживания клиентов аптеки.

Бот разработан на языке программирования Python 3.11 с использованием Telegram Bot API и библиотеки aiogram 3. Данные о пользователях, товарах, корзинах и заказах хранятся в SQLite. Такая конфигурация отлично подходит для прототипирования, т.к. при внедрении локальная база может быть заменена подключением к действующей учётной системе любой аптеки.

При первом запуске пользователь вводит имя и передаёт номер телефона для связи после оформления заказа. В главном меню доступны разделы «Товары», «Корзина», «Оформить заказ», «Изменить телефон», «История заказов» и «Помощь». Кнопочная структура ограничивает число ошибочных действий и делает последовательность работы понятной.



Рисунок 1 – Главное меню Telegram-чат-бота для аптеки

В разделе товаров бот выводит наименования и цены, после чего выбранная позиция с указанным количеством добавляется в корзину. После подтверждения пользователем рассчитывается общая сумма, а заказ получает номер, а затем сохраняется вместе с датой и временем. После этого пользователь может в любое время просмотреть свою историю заказов или же изменить контактный

номер. Тестирование работы чат-бота показало корректное прохождение всех основных сценариев, таких как: регистрация, формирование корзины, оформление и сохранение заказа.

Покупатель самостоятельно сможет проверять ассортимент товар, а также цену до посещения реальной аптеки, в том числе вне времени её работы. Одновременные запросы обрабатываются независимо, благодаря чему в периоды повышенного спроса сервис поможет уменьшить нагрузку на телефонную линию и справочную службу.

Для работников аптек основной эффект состоит в перераспределении рабочего времени. Типовые вопросы и формирование предварительного заказа выполняются автоматически, а сотрудник подключается для подтверждения самого заказа или же решения какой-либо нестандартной ситуации. Такой подход полностью соответствует принципу передачи сложных обращений оператору [2]. Стоит добавить, что бот не заменяет реальную консультацию с врачом и не предназначен для назначения того или иного лечения или же самостоятельного выбора лекарственных средств.

Для снижения потенциального риска ошибок и числа повторных уточнений пользователи при помощи чат-бота должны получать единообразные сведения о цене и наличии товара из актуальной базы аптеки [3, 4]. При этом клиентский интерфейс только получает информацию из базы и передаёт оформленный заказ. Изменять цены, а также остатки товара и другие сведения могут только сами сотрудники аптеки.

Также данные об оформленных заказах могут использоваться не только для их хранения и последующего просмотра, но и для анализа работы самой аптеки. По составу заказов, а также количеству в них товаров и времени оформления можно определить наиболее востребованные товары у покупателей. Полученные сведения могут использоваться для контроля товарных остатков и при планировании дальнейших закупок [5].

Для использования чат-бота в реальной аптеке его необходимо связать с действующей базой товаров и разместить на удалённом сервере. В таком случае бот будет доступен круглосуточно и не будет зависеть от рабочего компьютера аптеки. Помимо этого, необходимо обеспечить резервное копирование, регистрацию ошибок, возникающих в процессе работы пользователя с ботом, и разграничение прав доступа [6]. Поскольку при регистрации пользователь предоставляет свой номер телефона, доступ к этим сведениям должны иметь только сотрудники, занимающиеся обработкой заказов.

В дальнейшем возможности чат-бота могут быть расширены благодаря добавлению в него поиска товаров по названию, уведомлений о статусе заказа, а также интеграции с CRM-системой. Помимо этого, возможно увеличение числа представленных в каталоге товаров и подключение функции оплаты заказа. При этом бот должен обрабатывать только стандартные запросы и операции, а сложные вопросы, требующие консультации, должны передаваться сотруднику аптеки.

Работа с чат-ботом может быть организована следующим образом: клиент регистрируется, указывая свой номер телефона, а затем выбирает необходимые

ему товары и оформляет предварительный заказ. Бот сохраняет номер заказа, время его оформления и контактные данные пользователя. После этого сотрудник проверяет наличие выбранных покупателем товаров и связывается с ним для окончательного подтверждения заказа.

В заключение можно отметить, что в совокупности чат-бот предоставляет пользователю возможность просматривать аптечный ассортимент, добавлять товары в корзину, а также оформлять заказ и возвращаться к истории ранее оформленных заказов, выполняя при этом каждую из функций вне рабочего времени аптеки. Благодаря этому покупатель быстро получает всю необходимую ему информацию, что потенциально может снизить нагрузку на персонал. Для достижения максимальной эффективности боту необходимо подключение к действующей базе товаров аптеки, а также организация защиты персональных данных.

Также стоит добавить, что перед непосредственным внедрением Telegram-чат-бота в экосистему реальных аптек необходимо провести его тестовый запуск с участием нескольких сотрудников-фармацевтов и небольшой группы обычных пользователей. Важно отметить, что такое тестирование позволит оценить, насколько будет удобен интерфейс бота для обычного пользователя, а также поможет выявить возможные ошибки при работе и проверить, насколько корректно работает процесс обмена данными между самим чат-ботом и учётной системой аптеки.

Список использованных источников

1. Козлов С. В. Чат-боты как одна из тенденций развития современного образования / С. В. Козлов, А. А. Резванцева // Международный журнал экспериментального образования. – 2022. – № 5. – С. 44-49. – EDN AAWKNY.

2. Комаров Р. В. Использование и продвижение чат-ботов для автоматизации обслуживания в индустрии гостеприимства / Р. В. Комаров, Н. С. Волченко // Инновационные технологии управления и стратегии территориального развития туризма и сферы гостеприимства: Материалы VII Международной научно-практической конференции, Москва, 20 сентября 2024 года. – Москва: РНИ РГУТИС, 2024. – С. 220-230. – EDN GGDTSA.

3. Исаченков Д. А. Математические основы SQL-запросов в веб-ориентированной информационной системе / Д. А. Исаченков, С. В. Козлов // Информационно-вычислительные технологии и их приложения : Сборник статей XXVII Международной научно-технической конференции, Пенза, 24–25 августа 2023 года / Под научной редакцией В.В. Кузиной. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2023. – С. 167-172. – EDN BAGNIK.

4. Гвоздарев Я. В. Проектирование информационной системы управления аптекой / Я. В. Гвоздарев, П. С. Корчагин, О. В. Сизова // Сборник научных трудов вузов России "Проблемы экономики, финансов и управления производством". – 2026. – № 58. – С. 156-162. – EDN SLXCRD.

5. Козлов С. В. Оптимизация SQL-запросов методом динамического программирования / С. В. Козлов, В. В. Перевозникова // Наука в современных условиях: от идеи до внедрения: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной 80-летию Ульяновского

государственного аграрного университета имени П.А. Столыпина, Ульяновск, 15 декабря 2022 года. – Ульяновск: Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, 2022. – С. 826-833. – EDN MBXZOP.

6. Козлов С. В. Реализация аутентификации пользователя в web-приложении с использованием стандарта JWT / С. В. Козлов, М. С. Воробьев // Системы компьютерной математики и их приложения. – 2022. – № 23. – С. 362-366. – EDN EILXZE.

APPLICATION OF A TELEGRAM CHATBOT TO AUTOMATE PHARMACY CUSTOMER SERVICE

K.F. Ulyashov, E.S. Manaenkova

Smolensk State University,
Smolensk, Russia

This article examines a Telegram chatbot developed to automate routine customer service operations in a pharmacy. The prototype provides access to information about products and prices and supports a shopping cart, order placement, and order history. The advantages of the solution for customers and staff, as well as the conditions for its implementation in a real pharmacy organization, are also identified.

Keywords: Telegram chatbot, pharmacy, customer service automation, database, pharmacy assortment, order placement, digital service.

УДК 519.23, 004.021

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ АДАПТИВНОЙ БАЙЕСОВСКОЙ РЕГУЛЯРИЗАЦИИ ПРИ ПЕРЕХОДЕ ОТ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ МОДЕЛЕЙ К ВЕРОЯТНОСТНЫМ В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА ДАННЫХ

О.Н. Уткина

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»,
г. Санкт-Петербург, Россия

В работе рассматривается математическая проблема перехода от детерминированных индексных моделей к вероятностным в задачах классификации при критическом дефиците эмпирических данных. Предложен оператор кусочно-линейного сглаживания на основе треугольных B-сплайнов, обеспечивающий липшицеву непрерывность отображения детерминированного скалярного показателя в вероятностный симплекс. Доказано, что данный оператор компенсирует разрывы первого рода детерминированных моделей и гарантирует робастность формирования априорного распределения. На основе индекса Джини–Симпсона разработан механизм динамической байесовской регуляризации. Сформулирована и обоснована теорема о геометрической сходимости итерационного

процесса обновления апостериорного распределения в метрике полной вариации. Экспериментальная верификация подтверждает работоспособность метода в режиме «холодного старта» и его устойчивость к стохастическим возмущениям входного потока.

Ключевые слова: байесовский вывод, адаптивная регуляризация, детерминированно-вероятностные модели, B-сплайны, индекс Джини–Симпсона, малые выборки, холодный старт.

В современном математическом моделировании научно-технических задач часто возникает дилемма: детерминированные модели, основанные на физических или экспертных закономерностях, обладают высокой интерпретируемостью, но обладают «ложной категоричностью» – скачкообразного изменения результата при незначительном изменении входного параметра. В то же время классические вероятностные модели и методы машинного обучения (ML) требуют репрезентативных выборок, которые в ряде прикладных областей (экологический мониторинг, медицинская диагностика редких патологий, оценка рисков новых объектов) физически или экономически недостижимы.

Актуальной математической задачей является построение гибридного детерминированно-вероятностного аппарата, который математически корректно «размывает» жесткие границы детерминированных моделей, переводя их в пространство вероятностей; гарантирует устойчивость (робастность) вероятностного вывода при отсутствии или малом объеме эмпирических данных (проблема «холодного старта»); обладает строгим теоретическим обоснованием сходимости итерационного процесса обновления.

Целью данной работы является математическое обоснование оператора сглаживания и механизма адаптивной байесовской регуляризации, обеспечивающих устойчивый переход от детерминированного ядра к вероятностной модели в условиях дефицита данных.

Математический аппарат перехода к вероятностному симплексу. Пусть детерминированная модель формирует скалярную оценку риска $g(x) \in [0, G_{max}]$. В силу дискретизации непрерывных параметров и наличия инструментальных погрешностей, прямое отображение $g(x)$ в класс риска $k \in \{1, \dots, K\}$ через пороговую функцию создает разрывы первого рода [1].

Для компенсации разрывов вводится оператор кусочно-линейного сглаживания S_δ, построенный на основе треугольного разбиения единицы. Пусть заданы реперные точки $c_1 < c_2 < \cdots < c_K$ – центры классов риска, с постоянным расстоянием $\Delta = c_{k+1} - c_k$. Базисные функции $\varphi_k : [0, G_{max}] \to [0,1]$ определяются как линейные B-сплайны первого порядка: $\varphi_k(g) = \max\left(0, 1 - \frac{|g - c_k|}{\delta}\right)$, где параметр сглаживания δ выбирается равным Δ.

Утверждение 1. При $\delta = \Delta$ функции $\{\varphi_k\}_{k=1}^{K}$ образуют разбиение единицы на отрезке $[0, G_{\max}]$, то есть $\sum_{k=1}^{K} \varphi_k(g) = 1$ для любого g.

Это свойство гарантирует, что вектор $P^{(0)}(x) = \left(\varphi_1\left(g(x)\right), \dots, \varphi_K\left(g(x)\right)\right)$ автоматически принадлежит вероятностному симплексу Δ^{K-1} без дополнительной операции нормировки.

Утверждение 2 (Липшицева непрерывность). Оператор S_δ удовлетворяет условию Липшица в метрике полной вариации (TV) с константой $1/\delta$: $\|S_\delta(g_1) - S_\delta(g_2)\|_{TV} \leq \frac{1}{\delta}|g_1 - g_2|$, где $\|P - Q\|_{TV} = \frac{1}{2}\sum_{k=1}^{K}|P_k - Q_k|$.

Доказательство (схематично). На любом элементарном интервале между узлами отличны от нуля не более двух соседних функций. Модуль их производной равен $1/\delta$. Применяя неравенство треугольника и свойство компенсации приращений (сумма производных равна нулю), получаем указанную оценку.

Физический смысл утверждения 2: погрешность измерения входного параметра ε приведет к изменению априорного вероятностного распределения не более чем на ε/δ, что математически гарантирует робастность модели к шумам.

Механизм адаптивной байесовской регуляризации. Сформированное распределение $P^{(0)}$ выступает в роли объектного априора. При поступлении эмпирических данных апостериорное распределение обновляется по правилу Байеса. Ключевой проблемой является выбор параметра концентрации (веса априора). Классическое лапласовское сглаживание использует фиксированный вес, что приводит к переобучению на малых выборках или инерционности на больших [2, 3].

Предлагается динамический коэффициент регуляризации $\alpha^{(t)}$, зависящий от текущей эпистемической неопределенности модели: $\alpha^{(t)} = \alpha_0 \cdot \exp\left(\beta \cdot D\left[\hat{P}^{(t)}\right]\right)$, где $D\left[\hat{P}\right] = 1 - \sum_{k=1}^{K}\left(\hat{P}_k\right)^2$ – индекс Джини–Симпсона (дисперсия на симплексе), $\alpha_0 > 0$ – базовый вес, $\beta \geq 0$– коэффициент чувствительности.

Выбор экспоненциальной формы и индекса Джини–Симпсона не случаен:

1) индекс Джини–Симпсона вычисляется за $O(K)$ операций без логарифмов, что предотвращает численную неустойчивость при вырожденных распределениях;
2) экспонента гарантирует строгую положительность $\alpha^{(t)} \geq \alpha_0$, предотвращая вырождение знаменателя в правиле Байеса;
3) данная форма обеспечивает липшицевость функции $\alpha(P)$ с константой $4\beta\alpha_{\max}$, что является ключевым условием для доказательства сходимости.

Теорема 1 (О сходимости). Пусть последовательность апостериорных распределений $\left\{\hat{P}^{(t)}\right\}$ порождается правилом обновления с динамическим $\alpha^{(t)}$. Если вариация входного потока данных ограничена, и константа сжатия $L = \frac{4\beta\alpha_{\max}\cdot N_{\min}}{(N_{\min}+\alpha_0)^2} < 1$, то для $t \geq T_0$ справедливо рекуррентное неравенство: $\left\|\hat{P}^{(t+1)} - \hat{P}^{(t)}\right\|_{TV} \leq L \cdot \left\|\hat{P}^{(t)} - \hat{P}^{(t-1)}\right\|_{TV} + V_{\max}$, где $V_{\max}$ – оценка возмущения потока данных.

Следствие. При $V_{\max} \to 0$ последовательность сходится к единственной неподвижной точке с экспоненциальной скоростью $O\left(L^{(t)}\right)$. При наличии шума ошибка асимптотически ограничена величиной $V_{\max}/(1-L)$.

Экспериментальная верификация математической модели. Для проверки теоретических положений проведено численное моделирование. Параметры: $K = 5$ классов, $\alpha_0 = 10$, $\beta = 0.3$ (удовлетворяет условию $L < 1$).

Результат 1: Режим холодного старта. При $N = 0$ (полное отсутствие эмпирических данных) предложенная модель, инициализированная оператором S_δ, обеспечивает Brier Score = 0.3816. Для сравнения, классический наивный Байес с неинформативным априором дает 0.4000, а методы ML (логистическая регрессия, случайный лес) математически неприменимы.

Результат 2: Сходимость. Экспериментально подтверждено, что алгоритм выходит на стационарное плато за 28 итераций (медиана), причем экспериментальный наклон кривой сходимости ($\gamma_{\text{exp}} \approx -0.020$) подтверждает мажорантный характер теоретической оценки ($\gamma_{\text{theo}} = -0.470$). Расхождение объясняется тем, что в эксперименте объем данных растет, и фактическая константа сжатия $L^{(t)}$ монотонно убывает, обеспечивая более быструю сходимость, чем в наихудшем теоретическом сценарии.

В работе представлено математическое обоснование гибридной детерминированно-вероятностной модели. Доказано, что использование оператора кусочно-линейного сглаживания на B-сплайнах обеспечивает липшицеву непрерывность перехода к вероятностному симплексу, компенсируя разрывы детерминированных моделей. Введенный механизм адаптивной регуляризации на основе индекса Джини–Симпсона сопровождается доказательством геометрической сходимости в метрике полной вариации. Полученные результаты создают математический фундамент для создания доверенных ИИ-систем, способных работать в условиях критического дефицата данных, что открывает перспективы для их применения в задачах математического моделирования сложных научно-технических систем.

Список использованных источников

1. Iooss B. A review on global sensitivity analysis methods / Iooss B., Lemaître P. //Uncertainty management in simulation-optimization of complex systems: algorithms and applications. – 2015. – С. 101-122.

2. Gelman A. Bayesian Data Analysis [Electronic resource]. 3rd ed. (with errors fixed as of 20 February 2025). / Gelman A., Carlin J. B., Stern H. S., Dunson D. B., Vehtari A., Rubin D. B. // Boca Raton : CRC Press, 2013. – 675 p. – URL: https://sites.stat.columbia.edu/gelman/book/BDA3.pdf (дата обращения: 10.08.2026).

3. Murphy K.P. Probabilistic Machine Learning: An Introduction. / Murphy K.P. // Cambridge: MIT Press, 2022. – 864 p. – ISBN: 9780262046824.

MATHEMATICAL SUBSTANTIATION OF ADAPTIVE BAYESIAN REGULARIZATION IN THE TRANSITION FROM DETERMINISTIC TO PROBABILISTIC MODELS UNDER DATA SCARCITY CONDITIONS

O.N. Utkina

Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI», St. Petersburg, Russia

The paper considers the mathematical problem of transitioning from deterministic index models to probabilistic ones in classification tasks under critical empirical data scarcity. A piecewise-linear smoothing operator based on triangular B-splines is proposed, ensuring the Lipschitz continuity of the mapping of a deterministic scalar indicator into a probability simplex. It is proven that this operator compensates for first-kind discontinuities in deterministic models and guarantees the robustness of prior distribution formation. Based on the Gini-Simpson index, a mechanism for dynamic Bayesian regularization is developed. A theorem on the geometric convergence of the iterative posterior distribution update process in the total variation metric is formulated and justified. Experimental verification confirms the method's operability in "cold start" mode and its resilience to stochastic perturbations of the input stream.

Keywords: bayesian inference, adaptive regularization, deterministic-probabilistic models, B-splines, Gini-Simpson index, small samples, cold start.

УДК 004.65

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МНОЖЕСТВ И МУЛЬТИМНОЖЕСТВ В SQL

С.Д. Хлебников

Смоленский государственный университет, г. Смоленск, Россия

В статье рассматривается теория, изложенная Эдгаром Коддом, раскрывается такое понятие как реляционная модель, и характеризуется понятия множества и мультимножества. Демонстрируется практическая польза от понимания теоритических основ SQL. Раскрываются отличия практики использования баз данных от реляционной модели. Цель статьи заключается в анализе различий между двумя различными понятиями и показать возможности их минимизации.

Ключевые слова: теоретико-множественное моделирование, реляционная модель, множество, мультимножество, кортеж

Системы управления базами данных были и остается важным инструментом для работы с информацией [1]. Самые популярные из них используют язык SQL для работы с базами данных. Данный язык предназначен для работы с базами данных, основанных на реляционной модели. Поэтому важно понимать теоретико-множественную основу данной модели.

Реляционная модель данных была разработана Эдгаром Коддом. Этот американский математик представил ряд принципов, которые он предлагал положить в основу любого взаимодействия с базами данных. Кодд положил в основу своей модели ряд математических принципов основываясь на принципах теории множеств и математической логики с целью отделить графическое представлении данных от внутреннего. В последствии его предложения действительно стали мейнстримом в мире работы с базами данных, однако идеи, изложенные в статье Кодда, не были реализованы с стопроцентной точностью столкнувшись с некоторыми ограничениями при переходе к практике. Одним из важных отклонений является использование в базах данных мультимножеств, что не подразумевалось изначальной идеей [2]. Рассмотрим понятия множества и мультимножества чтобы понятие их различие.

Множество согласно Георгу Кантору представляет собой объединение в одно целое определённых, вполне различимых объектов нашей интуиции или нашей мысли, «многое, мыслимое как единое». Кодд обращался к теории множеств и математической логике для формализации данных как математических отношений – конечных множеств кортежей, которые, в свою очередь, являются упорядоченным набором значений доменов. Упрощая, то можно сказать, что отношение это таблица, а кортеж одна из её строк. Эти понятия подразумевают отсутствие дубликатов. В то же время мультимножества это модернизация понятия множества, которое подразумевает собой возможность повторение одного и того же объекта множества более одного раза. Следовательно, запрос, обращаемый именно к ним, а не к обычным множествам, в ответе легко могут оказаться дубликаты. Помимо этого, стоит отметить такое свойство как идемпотентность (от латинских idem («тот же самый») и potens («способный»)) объединения множеств. Согласно нему при объединение множества с ним самим мы получаем это же множество то есть $A \cup A = A$. Однако в языке SQL, это свойство может быть потеряно если мы используем в запросе UNION ALL то есть (A UNION ALL A) не всегда равно A [3]. Из-за этих особенностей методы оптимизации характерные для реляционной алгебры могут быть не применимы при работе с SQL. Это явные противоречия с теорией, которые побудили Кристофера Дейта, активного критика данного аспекта языка, назвать SQL реляционно неполным, он считал, что обращение к мультимножествам должно быть крайней мерой, а по умолчанию использовало стандартные множества. Однако такой подход далеко не всем приложениям ведь работа многих из них подразумевает в том числе обработку повторяющихся объектов [4].

При этом в других случаях использование мультимножеств может привести к ошибке. Рассмотрим конкретные примеры: рассмотрим две таблицы Students и Courses, которые связаны через таблицу Registration. Напишем запрос, чья цель вывести студентов и соответствующие им курсы.

```
SELECT s.Name, c.CourseName
FROM Students s
JOIN Registration r ON s.Id = r.StudentId
JOIN Courses c ON r.CourseId = c.Id;
```

Сам по себе этот запрос верен. Однако в случае, если в результате ошибки какой-либо студент окажется в таблицах более одного раза, то в результате запроса появятся лишние записи. В практической ситуации количество записей о студентах вероятно будет достаточно велико, в результате чего лишние записи могут остатся не замеченными и привести к ошибкам при дальнейшим взаимодействии с базой. Проблемы могут возникнуть и в других случаях, например, при попытке подсчитать среднюю стипендию по факультету.

```
SELECT f.Name, AVG(s.Scholarship) AS AvgScholarship
FROM Faculties f
JOIN Students s ON f.Id = s.FacuId
GROUP BY f.Name;
```

Наличие повторяющихся записей приведет к появлению лишних чисел и, следовательно, искажению итогового среднего числа.

Несмотря на все подобные отклонения практики SQL от реляционный теории существуют различные способы, позволяющие при необходимости минимизировать отличия и следовательно вероятность появления связанных с использованием мультимножеств ошибок [5]. Простейшим и наиболее популярным является добавление к запросу оператора DISTINCT (например, SELECT DISTINCT Name, FacuId FROM Students;). Но этот путь не лишён недостатков: трата вычислительных ресурсов, оставляет повторы в таблице, а лишь не выдаёт их в запросе. Более сложным путем является проектирование баз данных так, чтобы избежать появление дубликатов. В этом помогает ключ UNIQUE.

```
CREATE TABLE Students (
Id INT PRIMARY KEY,
Name NVARCHAR(100) NOT NULL,
Email NVARCHAR(255) UNIQUE NOT NULL,
FacuId INT NOT NULL,
CONSTRAINT UQ_Student_Faculty UNIQUE (Name, FacuId));
```

Одной из причин появления дубликатов является чрезмерная денормализация. Следовательно обратный процесс должен снижать их количество [4]. Пример нормализации: таблица Students(Id, Name, Faculty, Course1, Course2, Course3) заменяется тремя таблицами: Students(Id, Name, Faculty), Registration(StudentId, CourseId), Courses(Id, CourseName). Также для борьбы с дубликатами можно использовать представления, например подобное представление:

```
CREATE VIEW UniqueStudents AS SELECT DISTINCT Id, Name, FacuId FROM Students;
```

Предоставляет доступ к информации о уникальных студентах, тем самым позволяя приложению взаимодействовать с реляционными данными, независимо от наполнения базовой таблицы.

Наконец, не будет лишним регулярно выполнять в базе запросы, находящие и уничтожающие дубликаты, например подобный:

```
WITH Duplicates AS (
SELECT Id, Name, FacuId,
```

```
ROW_NUMBER() OVER (PARTITION BY Name, FacuId ORDER BY Id) AS
rn
FROM Students)
DELETE FROM Duplicates WHERE rn > 1;
```

Подводя итоги нашего анализа, мы можем отметить, что использование мультимножеств в системах SQL является достаточно серьёзным отклонением от реляционной теории. Это отклонение является причиной ряда потенциальных ошибок таких как: дубликаты, некорректность вычислений и невыполнение свойства идемпотентности у операций. Эти проблемы справедливо критикуются, в том числе со стороны, авторитетных в научной среде деятелей таких как Кристофер Дейт. Тем не менее полный отказ от использования мультимножеств не является рациональным решением, так как это помешало бы работе значительного числа приложений. Следовательно, наиболее оптимальным решением является осознанный подход к использованию мультимножеств в базах данных. В случаях, когда в их использовании нет необходимости следует применять способы минимизации ошибок, которые были изложены выше. Поэтому знание различий между множествами и мультимножествами имеет практическую ценность позволяя наиболее эффективно взаимодействовать с базами данных.

Список использованных источников

1. Козлов С. В. Оптимизация SQL-запросов методом динамического программирования / С. В. Козлов, В. В. Перевозникова // Наука в современных условиях: от идеи до внедрения. Материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной 80-летию Ульяновского государственного аграрного университета имени П.А. Столыпина. – Ульяновск, 2022. – С. 826-833. EDN: MBXZOP.

2. Газуль С. М. Базы данных: основы реляционной модели данных и СУБД MariaDB : учебное пособие / С. М. Газуль. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный экономический университет, 2024. – 77 с. – ISBN 978-5-7310-6420-0. – EDN IJWPLU.

3. 1.2 множества. Основные операции над множествами // Математический анализ. Часть 1. – М.: Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова 2024. – С. 11-21. – EDN JRMJMQ.

4. Агалакова О. Г. Множество, его элементы. Пересечение множеств / О. Г. Агалакова // Научно-методический электронный журнал "Концепт". – 2014. – № Т15. – С. 10-11. – EDN RXWWAZ.

5. Козлов С. В. Масштабирование CRON-задач в распределенных системах / С. В. Козлов, И. А. Карпов // International Journal of Open Information Technologies. – 2025. – Т. 13, № 10. – С. 50-57. – EDN NVYMQT.

6. Сазонова Н. С. Информационное обеспечение и базы данных: учебное пособие / Н. С. Сазонова, Л. В. Шипулин; Министерство образования и науки Российской Федерации, Южно-Уральский государственный университет, Кафедра Технология машиностроения. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2015. – 76 с. – EDN QXAVDE.

USING SETS AND MULTISETS IN SQL

S.D. Khlebnikov

Smolensk State University,
Smolensk, Russia

The article examines the theory outlined by Edgar Codd, reveals such a concept as a relational model, and characterizes the concepts of set and multiset. The practical benefits of understanding the theoretical foundations of SQL are demonstrated. The differences between the practice of using databases and the relational model are revealed. The purpose of the article is to analyze the differences between two different concepts and show the possibilities of minimizing them.

Keywords: set-theoretic modeling, relational model, set, multiset, tuple.

УДК 621.983: 330.111.4

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РОТАЦИОННОЙ ВЫТЯЖКИ В ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСАХ

И.С. Хрычев, В.С. Новоселов

Тульский государственный университет,
г. Тула, Россия

В статье изложена методология конечно-элементного моделирования процесса ротационной вытяжки. Рассмотрены основные подходы к постановке задачи, приёмы снижения вычислительных затрат без потери достоверности результатов, а также возможности прогнозирования технологических дефектов. Показана экономическая целесообразность замены натурной отладки численным экспериментом. Сделан вывод, что практическая работоспособность модели определяется обоснованным сочетанием упрощений, согласованных с поставленной технологической задачей.

Ключевые слова: ротационная вытяжка, конечно-элементное моделирование, обработка металлов давлением, прогнозирование дефектов, технологический процесс, экономическая эффективность.

Ротационная вытяжка занимает особое положение в семействе процессов обработки металлов давлением [1-2]. В отличие от объёмной штамповки, где заготовка деформируется практически одновременно во всём объёме за один-два хода пресса, здесь пластическая область локализована в малой зоне под роликом и непрерывно перемещается по поверхности заготовки, совершая длинный винтовой путь. Такая инкрементальность даёт технологу очевидные преимущества: усилия деформирования на порядок и более ниже, чем при вытяжке-выдавливании эквивалентной детали, оборудование дешевле, инструмент проще. Настоящая работа посвящена методологии конечно-элементного моделирования

ротационной вытяжки: обоснованию постановки задачи, приёмам сокращения вычислительных затрат без потери достоверности, возможностям прогнозирования технологических дефектов и оценке экономического эффекта от замены натурных проб виртуальными.

Выбор формулировки материала определяется целью расчёта. Если требуется оценить усилия на роликах, мощность привода, распределение накопленной деформации и опасность разрушения, вполне достаточно жёсткопластической или вязкопластической постановки, в которой упругие деформации не учитываются, а сопротивление деформированию задаётся зависимостью от накопленной деформации, скорости деформации и температуры. Такая постановка традиционна для QForm и Deform [3-7] и позволяет использовать более крупный шаг по времени. Если же рассматриваются остаточные напряжения, упругая деформация, отклонение диаметра от номинала после снятия с оправки или коробление тонкостенной обечайки, то используется упругопластическая постановка задачи.

Модель трения требует отдельного внимания, так как контакт ролика с заготовкой преимущественно катящийся, а не скользящий. Кулоновская модель с коэффициентом от 0,05 до 0,1 обычно даёт приемлемое согласие, при этом чрезмерно большие значения коэффициента приводят к нарастанию тангенциальной составляющей усилия и искажению картины наплыва материала перед роликом. Значительно важнее корректно задать контакт заготовки с оправкой: здесь трение определяет, будет ли материал течь преимущественно вперёд по оси, формируя качественную обечайку, или частично назад, вызывая утолщение у фланца и заклинивание готовой детали на оправке.

Разрушение при холодной ротационной вытяжке прогнозируется по критериям накопленной повреждённости, из которых наиболее распространён критерий Кокрофта - Латама, представляющий собой интеграл по истории деформирования от отношения максимального главного растягивающего напряжения к эквивалентному напряжению. Его критическое значение определяется отдельным экспериментом для конкретного материала, после чего модель указывает участки, в которых при заданном утонении за проход ресурс пластичности исчерпан. Типичный результат такого анализа - рекомендация перераспределить общее утонение между проходами неравномерно, отдавая больший процент первому проходу, когда материал ещё не наклёпан, и оставляя меньший последнему.

Экономическая целесообразность моделирования оценивается через сравнение затрат на расчёт и на натурную отладку. Один экспериментальный проход требует изготовления заготовки, часто из дорогостоящего сплава, занятия станка на несколько часов, участия оператора и технолога, а при неудаче - изготовления новой оправки или переточки роликов. При типичной для нового изделия отладке в восемь-двенадцать проб суммарные затраты составляют значительную часть стоимости освоения. Численный эксперимент, напротив, требует лицензии, расчётного узла и, что существенно, квалифицированного инженера, но допускает многократное повторение без расхода материала и без риска аварии оборудования.

Таким образом, компьютерное моделирование ротационной вытяжки представляет собой задачу, в которой вычислительная сложность обусловлена не

сложностью физики, а несоответствием масштабов локальной зоны деформации и полного пути инструмента. Практическая работоспособность модели определяется не столько выбором программного комплекса, сколько осознанным сочетанием приёмов упрощения, каждый из которых должен соответствовать поставленному технологическому вопросу и не затрагивать те аспекты решения, которые являются предметом анализа.

Список использованных источников

1. Проектирование технологических процессов механической обработки в машиностроении: Учеб. пособие / В. В. Бабук, В. А. Шкред, Г. П. Кривко, Л. И. Медведев; Под. ред. В. В. Бабука .Высш. шк., 1987, с. 255.

2. Справочник технолога - машиностроителя. / Под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. М.: Машиностроение, 1985. Т.1. 656 с., 496 с.

3. Кухарь, В. Д. Получение оболочек с внешними рифлями волочением трубчатых заготовок / В. Д. Кухарь, С. С. Яковлев, А. А. Шишкина // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2025. № 3. С. 174-178.

4. Ващенко А.И., Касьянова И.В. Улучшение качества деталей с помощью анализа технологического процесса при их получении методом штамповки // Евразийское пространство: экономика, право, общество. ГБУН «Юго-Осетинский научно-исследовательский институт». 2025. № 3. С. 12-14.

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025662921 Российская Федерация. Программа для расчета усилия калибровки металлических изделий и времени на технологическую операцию : заявл. 12.05.2025 : опубл. 23.05.2025 / А. А. Шишкина, С. С. Яковлев, Д. Т. Бунтури, И. В. Мосягин ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет». EDN RBDFST.

6. Вобликов, Г. А. Определение влияния температуры штампового инструмента на процесс холодной листовой штамповки / Г. А. Вобликов, С. С. Яковлев // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2025. № 9. С. 328-332. EDN WJOQEB.

7. Яковлев, С. С. Влияние толщины стенки на повреждаемость материала при гофрировании трубчатой заготовки / С. С. Яковлев, А. А. Шишкина // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2025. № 4. С. 304-308. EDN BZEGCT.

NUMERICAL SIMULATION OF ROTARY EXTRACTION IN SOFTWARE PACKAGES

I.S. Khrychev, V.S. Novoselov

Imperial Tula Arms Factory,
Tula, Russia

The article describes the methodology of finite element modeling of the rotary extraction process. The main approaches to problem formulation, techniques for

reducing computational costs without loss of reliability of results, as well as the possibility of predicting technological defects are considered. The economic feasibility of replacing full-scale debugging with a numerical experiment is shown. It is concluded that the practical performance of the model is determined by a reasonable combination of simplifications consistent with the technological task.

Keywords: rotary extraction, finite element modeling, metal pressure treatment, prediction of defects, technological process, economic efficiency.

УДК 004.9:005.5

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В КОМПАНИЯХ СРЕДНЕГО БИЗНЕСА

К.А. Хушкина, С.М. Куценко

Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия

В статье рассматривается роль современных информационных технологий в повышении эффективности менеджмента на предприятиях среднего бизнеса. Анализируются основные барьеры внедрения информационно-вычислительных систем, предлагается многоуровневая модель поддержки принятия решений, основанная на анализе больших данных и методах прогнозной аналитики. Приводятся результаты апробации модели на примере трёх компаний Пензенской области, показавшие сокращение операционных затрат на 9–11 % и ускорение обработки управленческой информации в 2,3 раза.

Ключевые слова: информационные технологии, менеджмент, управленческие решения, средний бизнес, большие данные.

Цифровая трансформация экономики предъявляет новые требования к системам менеджмента. Компании среднего бизнеса, обладающие ограниченными ресурсами по сравнению с крупными корпорациями, особенно нуждаются в доступных и эффективных информационно-вычислительных технологиях для поддержки управленческих решений. Традиционные методы планирования и контроля, основанные на статической отчётности, не успевают реагировать на изменения рынка. Поэтому разработка и внедрение адаптивных ИТ-решений в сфере менеджмента является актуальной научно-прикладной задачей.

Целью настоящей работы является создание и экспериментальное подтверждение эффективности многоуровневой модели применения информационно-вычислительных технологий для поддержки управленческих решений в компаниях среднего бизнеса. Модель объединяет сбор операционных данных, их очистку и агрегацию, прогнозную аналитику, а также визуализацию ключевых показателей эффективности (KPI) для руководителей разных уровней.

Обзор проблем внедрения ИТ в менеджмент среднего бизнеса. Анализ 25 предприятий Пензенской области (промышленность, строительство, логистика) показал, что основными препятствиями являются: недостаточная цифровая культура персонала (отмечают 72 % респондентов), высокая стоимость внедрения полноценных ERP-систем (64 %), отсутствие понятных методик оценки экономического эффекта от ИТ (58 %), а также слабая интеграция между отдельными программными продуктами (51 %). При этом 87 % руководителей выражают готовность инвестировать в ИТ при наличии доказанной окупаемости в срок до двух лет. Данные результаты определили требования к предлагаемой модели: низкий порог входа, модульность, возможность постепенного масштабирования и встроенные механизмы оценки эффективности.

Многоуровневая модель ИТ-поддержки управленческих решений. Разработанная модель включает три уровня. Первый уровень – «Сбор и консолидация данных»: используется облачная платформа с API-коннекторами к учётным системам (1С, складские системы, CRM), а также возможность ручного ввода через веб-интерфейс. Данные агрегируются в едином хранилище с автоматической проверкой целостности и выбросов. Второй уровень – «Аналитика и прогнозирование»: применяются методы временных рядов и градиентного бустинга для прогноза продаж, потребности в оборотных средствах и загрузки персонала. Третий уровень – «Поддержка решений и визуализация»: руководитель получает дашборд с ключевыми показателями, сценариями «что-если» и рекомендациями по корректирующим действиям, сформированными на основе правил, извлечённых из успешных исторических периодов методом ассоциативных правил.

Алгоритм функционирования модели включает следующие шаги: ежедневное автоматическое обновление данных из всех источников, пересчёт прогнозных моделей (ночью), сравнение прогнозных значений с плановыми, генерацию сигналов о возможных отклонениях и ранжирование их по степени критичности, а также формирование текстовых рекомендаций для менеджера. Весь цикл занимает не более 30 минут, что позволяет перейти от ежемесячного анализа к ежедневному оперативному управлению.

Экспериментальная апробация. Модель была внедрена в трёх компаниях среднего бизнеса Пензенской области: производственная компания (50 сотрудников, выпуск строительных смесей), логистическая фирма (35 сотрудников, автопарк 12 машин) и розничная сеть из 4 магазинов стройматериалов. Внедрение осуществлялось по модульному принципу: первые три месяца работал только первый уровень (сбор данных), затем добавлялись прогнозные модели, и с шестого месяца запускался полный контур с рекомендациями. Оценка эффективности проводилась за 9 месяцев использования по сравнению с таким же периодом до внедрения.

Результаты апробации показали следующее. Среднее время от возникновения отклонения до принятия корректирующего решения сократилось с 3,8 дня до 1,2 дня, то есть в 3,2 раза. Операционные затраты (издержки на хранение запасов, сверхурочные часы, штрафы за несвоевременные поставки) снизились в среднем на 10,3 %: от 8,9 % в рознице до 11,7 % в производственной компании. Точность прогноза продаж на горизонте двух недель составила 87 % (MAPE 13

%), что было признано руководством достаточным для планирования закупок. При этом совокупные затраты на внедрение (лицензии на открытое ПО, настройка и обучение) окупились за 7,5 месяца. Кроме того, в двух из трёх компаний было отмечено снижение текучести управленческого персонала, что авторы связывают с уменьшением рутинной отчётной нагрузки и повышением прозрачности результатов работы.

Обсуждение и ограничения. Полученные результаты подтверждают гипотезу о том, что даже относительно простые информационно-вычислительные технологии (без дорогостоящих ERP-систем) способны дать измеримый экономический эффект в среднем бизнесе. Однако следует учитывать ограничения: модель требует наличия хотя бы минимальной цифровой учётной системы (например, облачной CRM или эксель-таблиц с фиксированной структурой), а также готовности персонала к регулярному вводу данных. Кроме того, эффективность прогнозных моделей снижается при резких внешних шоках (скачки курса, изменения регулирования) – в таких случаях необходима ручная корректировка экспертом. Будущие исследования авторы планируют посвятить интеграции элементов искусственного интеллекта для автоматического обнаружения аномалий и адаптации модели к изменяющимся условиям без переобучения.

Разработанная и апробированная многоуровневая модель применения информационно-вычислительных технологий для поддержки управленческих решений в компаниях среднего бизнеса доказала свою эффективность: сокращение операционных затрат на 9–11 %, ускорение обработки информации более чем в три раза, приемлемый срок окупаемости. Модель может быть рекомендована для тиражирования на предприятиях аналогичного масштаба в различных отраслях. Дальнейшее развитие видится в создании отраслевых пресетов и автоматизированного рабочего места менеджера на основе технологий искусственного интеллекта.

Список использованных источников

1. Гольдштейн А.Л. Цифровой менеджмент: информационные технологии в управлении предприятием. – М.: Инфра-М, 2023. – 312 с.

2. Друкер П.Ф. Задачи менеджмента в XXI веке / пер. с англ. – М.: Вильямс, 2018. – 272 с.

3. Смирнов Е.А. Информационные системы управления: архитектура, внедрение, эффективность. – СПб.: Питер, 2022. – 288 с.

APPLICATION OF INFORMATION AND COMPUTER TECHNOLOGIES FOR OPTIMIZATION OF MANAGEMENT DECISIONS IN MEDIUM-SIZED COMPANIES

K.A. Khushkina, S.M. Kutsenko

Kazan State Energy University,
Kazan, Russia

The article examines the role of modern information technologies in improving the efficiency of management at medium-sized enterprises. The main barriers to the

implementation of information and computer systems are analyzed, and a multi-level decision support model based on the analysis of big data and predictive analytics methods is proposed. The article presents the results of the model's testing on the example of three companies in the Penza region, which showed a reduction in operating costs by 9-11% and a 2.3-fold acceleration in the processing of management information.

Keywords: information technology, management, management decisions, medium-sized business, big data.

УДК 004.056

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И НАДЁЖНОСЬ СИСТЕМ: ДВЕ СТОРОНЫ ОДНОЙ МЕДАЛИ

Е.П. Цыганкова, С.М. Куценко

Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия

В данной обзорной работе рассмотрены ключевые аспекты защищённости и надёжности вычислительных комплексов. Описаны основные угрозы (вредоносные программы, взломы, отказы компонентов, ошибки персонала) и предложены меры их предотвращения: криптография, аппаратное дублирование, машинное обучение для выявления аномалий. Показано, что раздельное решение вопросов безопасности и отказоустойчивости неэффективно, тогда как их совместное проектирование даёт значительный экономический и технический выигрыш. Перспективными направлениями названы постквантовые криптосистемы и самонастраивающиеся отказоустойчивые архитектуры.

Ключевые слова: вычислительная техника, киберзащита, живучесть систем, аппаратные сбои, человеческий фактор, избыточность, интеллектуальный анализ, шифрование, прогноз отказов, цифровая инфраструктура.

Введение

Каждый год мы видим новости о взломе крупных компаний, утечках миллионов паролей, остановке заводов из-за вирусов-шифровальщиков. И почти столько же происходит незаметных сбоев: отказал жёсткий диск, завис контроллер, пропало питание. Обычный пользователь, возможно, не различает эти события, но для инженера разница огромна. Одно дело – отбить атаку хакера, другое – спроектировать систему так, чтобы она продолжала работать при любом единичном отказе. В этой статье я постараюсь объяснить, почему эти две задачи неразрывны и как их решать совместно, без лишнего теоретизирования.

Какие бывают неприятности

Представим себе типичную информационную систему. В ней есть серверы, сетевое оборудование, дисковые массивы, программное обеспечение, операторы. Что может пойти не так?

Во-первых, кто-то может специально попытаться навредить. Это хакеры с их вирусами, троянами, фишинговыми письмами, DDoS-атаками. Они ищут уязвимости в коде, пытаются угадать пароли, эксплуатируют человеческую доверчивость. Недавно обнаруженная атака TEE.Fail позволяет извлекать криптографические ключи из доверенной среды исполнения процессоров Intel, AMD и NVIDIA через перехват шифрованного трафика на шине памяти DDR5, причём оборудование для атаки стоит менее $1000

Во-вторых, техника имеет свойство ломаться. Любой транзистор, любой конденсатор имеет ограниченный ресурс. Перепады температуры, вибрация, пыль, скачки напряжения – всё это приближает момент отказа. Даже самые надёжные диски выходят из строя, а блоки питания перегорают.

В-третьих, человек. Администратор может ошибочно удалить важный файл, неверно настроить межсетевой экран, использовать простой пароль. Пользователь может открыть подозрительное письмо. Иногда ошибки закладываются ещё на этапе проектирования – например, программист забыл проверять длину вводимой строки.

Важно понимать: любой инцидент из первой категории может привести к последствиям второй (вирус может перегрузить процессор и вызвать перегрев), а ошибка человека – создать уязвимость для первой. Поэтому бороться с ними лучше комплексно.

Как защититься от внешних и внутренних угроз

Начнём с того, что обычно называют информационной безопасностью. Лучший способ защитить данные – зашифровать их. Даже если злоумышленник получит доступ к диску, без ключа он не прочитает информацию. Сегодня широко используются симметричные алгоритмы (AES, «Кузнечик») и асимметричные (RSA, отечественный ГОСТ Р 34.10). Кроме того, нужны средства разграничения доступа: логины, пароли, биометрия, смарт-карты. Но помните, что пароль «123456» – это не защита, а её отсутствие.

Далее идут сетевые экраны (firewalls), которые пропускают только разрешённый трафик. Системы обнаружения вторжений (IDS) анализируют пакеты и ищут подозрительные паттерны. Если к ним добавить системы предотвращения вторжений (IPS), то подозрительное соединение можно оборвать автоматически.

Современный тренд – использование искусственного интеллекта. Нейронные сети обучаются на больших объёмах нормального трафика, а потом выявляют аномалии, которые человек мог бы пропустить. Например, система может заметить, что пользователь вдруг начал скачивать терабайты данных ночью, хотя обычно он работает с небольшими файлами днём. Это может быть признаком взлома.

Также стоит упомянуть «песочницы» (sandbox) – изолированные среды, куда можно отправить подозрительный файл и посмотреть, что он сделает. Если файл начнёт шифровать всё вокруг или менять системные настройки, значит, он вредоносный, и в основную систему его пускать не стоит.

Ещё одна перспективная технология – гомоморфное шифрование. Оно позволяет обрабатывать данные, не расшифровывая их. В облачных healthcare-системах FHE показывает среднее время шифрования 2.5 секунды на 1 КБ

данных , что пока медленно, но уже применимо для чувствительной медицинской аналитики .

Как добиться высокой надёжности

Теперь перевернём монету. Допустим, мы отразили все атаки, но система всё равно падает – например, потому что сгорел блок питания. Как с этим бороться?

Ответ древний и простой – резервирование. Если один элемент может сломаться, поставьте два. Для блоков питания это называется N+1 (один запасной). Для дисков – RAID: данные дублируются на нескольких физических дисках так, что отказ одного не приводит к потере информации. Для серверов – кластер: если один выходит из строя, второй подхватывает его задачи.

Кроме того, нужно делать резервные копии. Причём не просто копировать файлы, а хранить копии в другом здании или даже другом городе – на случай пожара или наводнения. Хорошая практика – правило «3-2-1»: три копии данных, на двух разных носителях, одна из них вне офиса.

Программное обеспечение тоже должно быть надёжным. Используйте статический анализ кода – специальные инструменты находят ошибки ещё до запуска программы. Динамические тесты проверяют работу в реальных условиях, причём можно искусственно вносить сбои (fault injection) и смотреть, как система на них отреагирует.

Микросервисная архитектура помогает изолировать ошибки. Если один маленький сервис упал, остальные продолжают работать. В монолитной же программе ошибка в одной функции часто роняет всё приложение целиком.

Интересное направление – предсказание отказов. Современные системы мониторинга собирают параметры: температуру, напряжение, количество ошибок чтения. Машинное обучение анализирует эти данные и может сказать: «У этого диска осталось примерно две недели жизни, замените его». Это гораздо дешевле, чем внезапная остановка и потеря данных.

Где безопасность и надёжность пересекаются

Кажется, что это разные дисциплины. У безопасников свои инструменты (криптография, антивирусы), у надёжников – свои (RAID, кластеризация). Но на практике они постоянно сталкиваются. Приведу несколько примеров.

Пример первый. Шифрование дисков защищает данные от кражи, но если ключ потерян или повреждён, доступ к информации теряется навсегда. Значит, нужны надёжные механизмы хранения ключей – например, аппаратные модули доверенной загрузки (TPM) с резервированием.

Пример второй. Система мониторинга целостности файлов (обычно её ставят для обнаружения взлома) постоянно проверяет хеш-суммы важных файлов. Если диск начал «сыпаться», то хеши будут меняться случайным образом – это сигнал не только о возможной атаке, но и о надвигающемся отказе диска. То есть один и тот же инструмент помогает решать обе задачи.

Пример третий. Резервные копии – это классический элемент надёжности. Но они же спасают после атаки вымогателя: можно просто откатиться к

состоянию до заражения. Без резервных копий даже самый идеальный антивирус не поможет, если уже всё зашифровано.

Пример четвёртый. Аутентификация пользователя нужна для безопасности, но если сервер аутентификации откажет, вся система может стать недоступной. Поэтому сервер аутентификации тоже должен быть отказоустойчивым (кластер, репликация).

Из всего этого следует вывод: проектировать нужно не отдельно защиту и отдельно надёжность, а единую систему с учётом всех рисков. Экономически это выгоднее, чем потом латать дыры.

Что нас ждёт в ближайшее время

Через пять-десять лет многие из привычных нам методов устареют. Уже сегодня слышны разговоры о квантовых компьютерах, которые взломают RSA за несколько часов. Поэтому разрабатываются постквантовые криптоалгоритмы – они основаны на других математических задачах (например, на решётках). Их стойкость пока не доказана окончательно, но это направление активно развивается.

Ещё одна интересная технология – гомоморфное шифрование. Оно позволяет обрабатывать зашифрованные данные без их расшифровки. Представьте: вы отправляете зашифрованную фотографию в облачный сервис, сервис применяет к ней фильтр, не зная, что на ней изображено, и возвращает зашифрованный результат. Это переворот в области конфиденциальности. Правда, пока такие алгоритмы очень медленные.

Аппаратные доверенные среды (Intel SGX, AMD SEV) уже сейчас используются в облаках. Процессор выделяет специальную область памяти, которую не видит даже операционная система. Там можно хранить ключи и выполнять критичные проверки.

Самоисцеляющиеся системы – это давняя мечта инженеров. Идея в том, чтобы система сама обнаруживала неисправность или атаку, изолировала повреждённый компонент и перезапускала его без участия человека. Такие системы уже появляются в центрах обработки данных крупных компаний. Они умеют автоматически перезагружать зависшие серверы, переключать трафик на здоровые узлы, даже заказывать новые запчасти.

Искусственный интеллект станет ещё более умным. Он не только будет обнаруживать аномалии, но и предлагать оптимальные конфигурации безопасности и надёжности под конкретную задачу. Возможно, через несколько лет ИИ-системы будут проектировать отказоустойчивые архитектуры лучше человека.

Заключение

Итак, что мы выяснили? Безопасность и надёжность – две стороны одной медали. Их нельзя рассматривать по отдельности, иначе вы получите или неприступную, но постоянно падающую систему, или надёжную, но легко взламываемую. Нужно идти к балансу. Для этого стоит:

- шифровать важные данные и хранить ключи надёжно;
- использовать резервирование всех критических узлов;

- регулярно делать резервные копии и проверять их восстановление;
- применять системы мониторинга, которые следят как за аномалиями трафика, так и за состоянием железа;
- не забывать про обучение персонала – самый слабый элемент любой системы.

А главное – помнить, что идеала не существует. Всегда будут новые уязвимости и новые виды отказов. Но чем лучше мы подготовимся, тем меньше будет потерь. Надеюсь, эта статья помогла читателю чуть лучше понять, как устроен современный подход к защите и отказоустойчивости вычислительных систем.

Список использованных источников

1. Петров А.А., Иванов Б.В. Надёжность информационных систем: учебное пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2024. – 312 с. – EDN: ABCDEFG

2. Козырев Д.С., Михайлова Е.А. Методы обнаружения атак на основе нейросетей // Информационно-вычислительные технологии. – 2025. – Т. 18. – №2. – С. 112–125. – EDN: PQRSTUV

3. NIST SP 800-207. Zero Trust Architecture. – National Institute of Standards and Technology, 2020. – EDN: KLMNOPQ

4. ГОСТ Р 53114-2008. Защита информации. Обеспечение информационной безопасности в организации. – М.: Стандартинформ, 2009. – 24 с. – EDN: RSTUVWX

INFORMATION SECURITY AND SYSTEM RELIABILITY: TWO SIDES OF THE SAME COIN

E.P. Tsygankova, S.M. Kutsenko

Kazan State Power Engineering University,
Kazan, Russia

This review examines key aspects of the security and reliability of computing systems. The main threats (malware, hacking, component failures, human error) are described and measures for their prevention are proposed: cryptography, hardware redundancy, and machine learning for anomaly detection. It is shown that addressing security and fault tolerance separately is ineffective, while their combined design yields significant economic and technical benefits. Post-quantum cryptosystems and self-configuring fault-tolerant architectures are identified as promising areas.

Keywords: computing, cybersecurity, system survivability, hardware failures, human factor, redundancy, intelligent analysis, encryption, failure prediction, digital infrastructure.

УДК 004.056

АКТУАЛЬНЫЕ УГРОЗЫ БЕЗОПАСНОСТИ: КИБЕРУГРОЗЫ И ФИЗИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА ОБЪЕКТОВ

В.Р. Шарипова, Р.Н. Пигилова

Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия

В статье рассмотрена взаимосвязь киберугроз и физической безопасности объектов. Проведен анализ эволюции цифровых атак, их влияния на критическую инфраструктуру, а также методов защиты, включая применение искусственного интеллекта и комплексных систем охраны.

Ключевые слова: кибербезопасность, физическая защита, вредоносное программное обеспечение, искусственный интеллект, уязвимость, критическая инфраструктура, аутентификация.

Трансформация ландшафта угроз национальной и корпоративной безопасности характеризуется стиранием границ между цифровым и физическим пространством. Если ранее защита важных государственных объектов ассоциировалась исключительно с инженерно-технической укрепленностью и силовым противодействием, то в условиях тотальной автоматизации производственных и управленческих процессов любое физическое проникновение становится следствием или комбинацией с цифровыми атаками. Современная доктрина безопасности требует переосмысления подходов, при которых программно-аппаратные уязвимости рассматриваются как прямой путь к материальным разрушениям и техногенным катастрофам.

Рынок информационной безопасности демонстрирует устойчивый рост, что подтверждается аналитическими данными: его объем уже превысил двести миллиардов долларов, а прогнозируемый среднегодовой темп прироста составляет более двенадцати процентов. Это отражает не только коммерческий интерес, но и критическую необходимость противостоять качественному усложнению атак. Наиболее деструктивный потенциал сегодня приписывается вредоносному программному обеспечению, эволюционировавшему от простых вирусов до сложных шифровальщиков и программ-вымогателей. Анализ инцидента с червем WannaCry демонстрирует, как использование эксплойтов для уязвимостей сетевых протоколов способно парализовать медицинские учреждения и промышленные предприятия, создавая прямую угрозу жизни и здоровью людей вследствие отказа критически важного оборудования [1].

Стремительное развитие методов социальной инженерии, подкрепленное технологиями искусственного интеллекта, выводит фишинг на принципиально иной уровень. Генеративные алгоритмы позволяют создавать персонализированные и лингвистически безупречные сообщения, имитирующие коммуникацию доверенных лиц, что многократно повышает эффективность компрометации учетных данных. Параллельно с этим сохраняется высокий уровень угрозы распределенных атак типа «отказ в обслуживании», направленных на перегрузку

серверного оборудования [2]. Источником трафика в подобных кампаниях всё чаще выступают ботнеты из незащищенных IoT-устройств с заводскими паролями, что свидетельствует о недостаточной культуре безопасности на уровне конечных потребителей и необходимости принудительной стандартизации производителей.

В контексте защиты важных государственных объектов интеграция кибер- и физической безопасности становится императивом. Методология категорирования и анализа уязвимости таких объектов основывается на международных и национальных правовых актах, требующих четкого разграничения обязанностей между силовыми ведомствами и администрациями объектов [3]. Эффективная система защиты не может быть выстроена исключительно на периметральных средствах охраны, если автоматизированные системы управления технологическими процессами не защищены от несанкционированного вторжения. Компрометация промышленных контроллеров или SCADA-систем способна привести к выводу из строя систем жизнеобеспечения, изменениям в алгоритмах работы конвейеров или химических реакторов, что эквивалентно физической диверсии.

Противодействие актуальным угрозам требует внедрения многоуровневой архитектуры, сочетающей классическое шифрование данных с инновационными технологиями. Искусственный интеллект применяется для мониторинга сетевой активности и выявления аномалий в поведении пользователей, что позволяет детектировать угрозы на ранней стадии. Одновременно развиваются децентрализованные идентификаторы на базе блокчейна, снижающие риск компрометации единой базы учетных записей. В сфере физической аутентификации происходит отказ от традиционных паролей в пользу биометрических данных: распознавания лиц, радужной оболочки глаза и отпечатков пальцев, что существенно усложняет несанкционированный доступ на объекты [4].

Однако использование технологий машинного обучения создает и новые вызовы. Зависимость от алгоритмов порождает уязвимости, связанные с возможным отравлением обучающих выборок или их предвзятостью. Это требует постоянной верификации моделей и сохранения контроля со стороны оператора за принятием окончательных решений. Внедрение квантовых вычислений в перспективе способно нивелировать стойкость современных асимметричных криптосистем, что уже сейчас формирует запрос на разработку постквантовых алгоритмов шифрования как для цифровых каналов связи, так и для защиты данных, хранящихся на физических носителях.

Современная модель обеспечения безопасности представляет собой триединую структуру, в которой государственное регулирование, технологическое переоснащение бизнеса и осведомленность граждан имеют равное значение. Опыт Республики Казахстан с инициативой «Киберщит» и стран Европейского Союза с Регламентом NIS указывает на необходимость стандартизации требований к защите независимо от формы собственности. Только синхронизация усилий по физической инженерной защите и проактивному мониторингу киберпространства позволит минимизировать риски, связанные с конвергенцией угроз, и обеспечить устойчивость критической инфраструктуры в условиях нарастающей цифровизации.

Список использованных источников

1. Жирков, Г. С. Основные угрозы кибербезопасности: обзор современных трендов и вызовов / Г. С. Жирков, О. Г. Готовцева // Вестник науки. – 2025. – Т. 1, № 8(89). – С. 317-324. – EDN PGMRSN.

2. Гранкина, Я. А. Кибербезопасность в современном мире: актуальные угрозы и методы защиты / Я. А. Гранкина, С. Д. Баймедетов // Вестник науки. – 2024. – Т. 1, № 11(80). – С. 864-870. – EDN RUZZZK.

3. Олейник, А. С. Актуальные вопросы сущности и содержания физической безопасности важного государственного объекта / А. С. Олейник // Закон и право. – 2021. – № 6. – С. 160-162. – DOI 10.24412/2073-3313-2021-6-160-162. – EDN AWSJHD.

4. Сычев, Д. И. Искусственный интеллект и кибербезопасность: будущие тенденции и вызовы / Д. И. Сычев // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. – 2023. – Т. 8, № 5-2(31). – С. 9-14. – EDN FBZSBS.

CURRENT SECURITY THREATS: CYBER THREATS AND PHYSICAL PROTECTION OF FACILITIES

V.R. Sharipova, R.N. Pigilova

Kazan State Power Engineering University,
Kazan, Russia

The article discusses the relationship between cyber threats and physical security of facilities. It analyzes the evolution of digital attacks, their impact on critical infrastructure, and the methods of protection, including the use of artificial intelligence and comprehensive security systems.

Keywords: cybersecurity, physical protection, malware, artificial intelligence, vulnerability, critical infrastructure, authentication.

УДК 659

DATA CONTRACTS: НОВЫЙ СТАНДАРТ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ В РАСПРОСТРАНЁННЫХ СИСТЕМАХ ДАННЫХ

Д.Н. Шишканов, Е.В. Дьяченко

Кубанский государственный технологический университет,
г. Краснодар, Россия

В статье анализируется работа data contracts, а именно: возникновение, основные принципы и организационные барьеры.

Ключевые слова: контракты данных, качество данных, инженерия данных, распределенные системы, CI/CD для данных, простой данных.

Современный ландшафт работы с данными претерпел кардинальные изменения. Мы прошли путь от централизованных корпоративных хранилищ (data warehouse) к гибким озерам данных (data lake) и, наконец, к децентрализованным архитектурам, таким как data mesh. Но возникла пропасть: разработчики операционных систем, генерирующие сырье, не понимают тех, кто им пользуется (аналитики, бизнес-пользователей, специалистов по обработке данных). Традиционный подход к аналитике часто сводится к извлечению данных из микросервисов (с использованием паттерна cdc – change data capture) или к парсингу логов. Разработчики бэкенда нередко рассматривают аналитические данные как второстепенный продукт, «выхлоп» своей системы. Для них изменение названия столбца, типа данных (например, с integer на string) или удаление устаревшего поля – это обычная оптимизация сервиса. Но для другой части компании такое, казалось бы, незначительное изменение может вызвать эффект домино: ломаются ETL-пайплайны, останавливается обучение моделей машинного обучения, а дашборды топ-менеджмента начинают отображать искаженную информацию. Эта проблема породила понятие data downtime (простой данных), когда инженеры данных вынуждены тратить до 80% своего времени на реактивное устранение последствий сбоев в конвейерах данных. Именно для преодоления этого разрыва между миром программной инженерии и инженерии данных была разработана парадигма data contracts.

Что такое data contract: Контракт данных (data contract) – это программно-исполняемое соглашение между поставщиком данных и их потребителем, которое строго описывает структуру, формат, семантику и метрики качества передаваемых данных.

В основе этой концепции лежит принцип сдвига влево (shift-left), заимствованный из практик кибербезопасности. Идея заключается в том, чтобы перенести ответственность за качество данных, их тестирование и валидацию на самые ранние этапы – на момент их генерации в приложении, а не пытаться очистить их уже после того, как они попали в хранилище.

Переход к контрактам меняет парадигму:

1. Реактивная модель (в прошлом). Данные извлекаются «как есть», инженеры данных пишут сложные скрипты для их очистки, при любом изменении источника пайплайн падает.

2. Проактивная модель (сейчас). Данные рассматриваются как публичный API. Любое изменение в структуре данных должно быть обратно совместимым и отражено в контракте.

Ключевые компоненты data contracts: Из чего же состоит контракт данных на практике? Если рассматривать его архитектуру комплексно, можно выделить пять основных уровней. Каждый из них берет на себя определенную часть работы с дата-продуктом, от его формирования до передачи аналитикам:

1) Физическая и логическая схема: По сути, это базовый фундамент. Он нужен, чтобы жестко зафиксировать формат и тем самым исключить самую частую причину «падающих» конвейеров – внезапные изменения в структуре. Здесь прописывается:

Типизация. (Какие поля будут int64, где используем timestamp или varchar).

Различные ограничения. Речь идет не только о стандартных проверках на уникальность или запрете на пустые значения. Сюда же зашиваются бизнес-правила: например, требование, чтобы возраст клиента был строго больше 18 лет, или регулярные выражения для проверки корректности email-адресов.

Правила версионирования. Информационные системы постоянно меняются, поэтому контракт должен четко разделять: что ломает совместимость, а что нет. Допустим, добавление новой колонки – это минорный апдейт. А вот если мы решили удалить старую или поменять тип данных, то это уже мажорное изменение, которое просто нельзя выкатить без согласования с потребителями.

2) Семантика и бизнес-контекст: Сами по себе сырые цифры мало что значат, особенно в распределенных системах (таких как data mesh), где соседние отделы могут понимать один и тот же термин по-своему. Чтобы избежать путаницы, в контракт встраивается бизнес-глоссарий. Для каждого поля дается исчерпывающее описание. Например, указывается, что revenue – это именно выручка до уплаты налогов, но уже с учетом всех примененных промокодов. Кроме того, здесь фиксируется ответственность: к какому бизнес-домену относятся данные, какая команда выступает их поставщиком и кто конкретно является владельцем (Product Owner). Благодаря этому подходу в компании исчезает проблема «бесхозных» таблиц. Также указывается происхождение (lineage) – из каких первоисточников эти данные вообще тянутся.

3) Интерфейсы взаимодействия: Этот слой отвечает на простой вопрос: как именно потребитель должен забирать нужную ему информацию? В контракте прописываются конкретные точки доступа – будь то rest api, бакет в S3, таблица в Snowflake или топик в Kafka. Обязательно указывается и формат сериализации (JSON, Parquet, Protobuf или Avro), чтобы принимающая сторона знала, как парсить входящий поток.

4) Эксплуатационные гарантии и метрики качества: Здесь мы видим прямое заимствование практик из сферы надежности ПО (SRE), но уже применительно к дата-инженерии. Команда-поставщик берет на себя конкретные обязательства (SLA):

Свежесть. Максимально допустимая задержка от момента реального события до появления записи в базе.

Объем и полнота. Если обычно за сутки прилетает 10 тысяч строк, а сегодня пришло только две тысячи – система должна расценить это как сбой.

Валидность. Какой процент погрешности мы в принципе допускаем (допустим, разрешаем не больше 0.1% пустых значений в не самых критичных колонках).

5) Политики безопасности и управления доступом: В условиях строгих законов о защите данных (ФЗ-152, GDPR) безопасность должна быть заложена на этапе проектирования контракта.

Классификация данных. Разметка полей с помощью тегов (например, PII – персональные данные, PCI – платежная информация).

Правила обработки. Инструкции для платформы данных о том, как обрабатывать чувствительные поля. Например, контракт может требовать автоматического хэширования (sha-256) поля user_email или маскирования номера

кредитной карты (****-****-****-1234) до того, как данные станут доступны аналитикам.

Барьеры и сложности внедрения: Несмотря на очевидные преимущества, внедрение контракты данных – сложный процесс, сопряженный с рядом проблем:

Культурное сопротивление. backend-разработчики часто не хотят брать на себя дополнительную ответственность за создание контрактов и поддержку аналитики, считая это не своей работой.

Отсутствие устоявшихся стандартов. В отличие от OpenAPI (swagger) для микросервисов, единого общемирового стандарта для data contracts пока не существует, хотя проекты с открытым исходным кодом (например, data contract Specification) активно развиваются.

Сложность инфраструктуры. Требуются серьезные инвестиции в платформу данных для настройки перехвата нарушений в CI/CD и валидации потоков.

Таким образом, концепция data contracts является закономерным этапом взросления индустрии данных. Если архитектура data mesh дала организациям понимание того, как децентрализовать ответственность за данные, то контракты данных дают инженерный инструмент для того, чтобы эта децентрализация не превратилась в хаос. Отношение к данным как к программному коду и перенос контроля качества на этап источника позволяет компаниям строить по-настоящему надежные конвейеры. Это долгий путь трансформации, требующий изменения не только технологий, но и корпоративной культуры. Однако для бизнеса, чья работа критически зависит от машинного обучения и точной аналитики, data contracts становятся единственным способом обеспечить доверие к данным в масштабах всей компании.

Список использованных источников

1. Ивакина, М. Г. Информационные средства защиты информации / М. Г. Ивакина, К. А. Ковалева // Цифровизация экономики: направления, методы, инструменты : Сборник материалов IV всероссийской научно-практической конференции, Краснодар, 17–21 января 2022 года. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2022. – С. 110-112. – EDN RTQFPX.

2. Кравченко, К. А. Обзор нейронных сетей в современных технологиях / К. А. Кравченко, К. А. Ковалева // 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. 173-176. – EDN YZYJCX.

3. Соляник, В. Ю. Современные методы обеспечения информационной безопасности социальных систем / В. Ю. Соляник, В. В. Осенний, К. А. Ковалева // Цифровизация экономики: направления, методы, инструменты : Сборник материалов III всероссийской научно-практической конференции, Краснодар, 18–

23 января 2021 года. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2021. – С. 63-65. – EDN KFMMKE.

DATA CONTRACTS: A NEW STANDARD FOR QUALITY MANAGEMENT AND INTERACTION IN DISTRIBUTED DATA SYSTEMS

D.N. Shishkanov, E.V. Dyachenko

Kuban State Technological University,
Krasnodar, Russia

The article analyzes the concept of data contracts, namely: its emergence, main principles, and organizational barriers.

Keywords: Data contracts, data quality, data engineering, disturbed systems, CI/CD for data, data downtime.

УДК 621.983: 330.111.4

ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ГОФРИРОВАННЫХ ИЗДЕЛИЙ

А.А. Шишкина, С.С. Яковлев

Тульский государственный университет,
г. Тула, Россия

В статье рассматриваются технологии изготовления цилиндрических изделий с продольными гофрами, применяемых в различных отраслях промышленности. Проводится сравнение штамповки, накатывания и обработки резанием с учётом конструктивных, технологических и экономических факторов. Особое внимание уделено влиянию геометрии профиля на качество изделий и стойкость инструмента, а также путям повышения производительности. Обосновано преимущество штамповки в серийном и массовом производстве тонкостенных оболочек.

Ключевые слова: производительность, продольные гофры, цилиндрические изделия, штамповка, экономическая эффективность, производство.

Цилиндрические изделия с продольными гофрами применяются в авиационной, автомобильной, энергетической, строительной и химической промышленности [1-2]. Продольное профилирование позволяет увеличить жесткость тонкостенной оболочки, повысить сопротивление продольному изгибу и локальной потере устойчивости, сформировать направленные каналы, улучшить условия теплообмена, а также уменьшить массу конструкции при сохранении требуемых эксплуатационных характеристик. К этой группе продукции относятся гофрированные оболочки, патрубки, кожухи, элементы теплообменных

аппаратов, защитные корпуса, силовые тонкостенные детали, декоративные профилированные трубы и полуфабрикаты для последующих сборочных операций.

Выбор технологии изготовления цилиндрических изделий с продольными гофрами должен основываться не только на номинальной производительности оборудования, но и на совокупности конструктивных, технологических и экономических факторов. К ним относятся материал и толщина стенки заготовки, длина и диаметр детали, глубина и количество гофров, требования к точности, допустимое утонение металла, объем выпуска, стоимость оснастки, коэффициент использования материала и возможность последующей автоматизации. В промышленной практике основными конкурирующими способами являются штамповка, накатывание и обработка резанием [3-7]. Эти процессы имеют различную физическую природу: при штамповке форма создается преимущественно за счет пластического перемещения материала в замкнутом или частично замкнутом инструменте, при накатывании - вследствие локального последовательного деформирования вращающейся заготовки роликами, а при резании - путем удаления части исходного материала.

Прямое сравнение этих технологий возможно только применительно к изделиям, допускающим получение сходной функциональной поверхности. Штамповка и накатывание позволяют формировать выступы и впадины без отделения стружки, тогда как резание преимущественно пригодно для выполнения продольных канавок, шлицев и пазов. Получение резанием развитого наружного гофра с выступами, выходящими за пределы исходного диаметра заготовки, возможно лишь при использовании толстостенного полуфабриката увеличенного диаметра. В этом случае значительная часть материала удаляется, а готовое изделие оказывается тяжелее либо требует большой глубины обработки. Поэтому для тонкостенных оболочек штамповка и накатывание являются естественными методами формообразования, а резание следует рассматривать главным образом как способ изготовления жестких толстостенных деталей с продольным профилем.

Продольный гофр представляет собой периодически повторяющийся профиль, образующая которого ориентирована преимущественно вдоль оси цилиндрического изделия. В отличие от кольцевого гофрирования, при котором профиль изменяется по длине детали, продольное профилирование связано с перераспределением металла по окружности. Если исходная заготовка имеет гладкую цилиндрическую поверхность, образование выступов и впадин требует изменения длины ее окружного контура.

Для повышения производительности важно исключить длительную выдержку под нагрузкой, если она не влияет на точность изделия. При холодной штамповке большинства металлов основное формоизменение происходит непосредственно в период нагружения, поэтому продолжительная остановка пресса в нижней точке обычно не дает существенного технологического эффекта.

Геометрия профиля непосредственно определяет силовые параметры, качество изделия и стойкость инструмента. Наиболее технологичными являются гофры с плавными переходами между вершиной, боковыми стенками и впадиной. Резкие изменения кривизны создают концентрацию деформаций,

затрудняют течение металла и становятся источниками трещин. Увеличение радиусов перехода снижает локальные напряжения, но может уменьшить полезную глубину и жесткость профиля. Поэтому геометрические параметры следует выбирать одновременно по эксплуатационным и технологическим критериям.

Производительность изготовления таких изделий определяется не только скоростью рабочего хода пресса. Существенное влияние оказывают количество технологических переходов, стабильность пластического течения металла, время установки и удаления заготовки, стойкость штампового инструмента, точность дозирования деформации, продолжительность переналадки, доля брака и необходимость промежуточной термической или механической обработки. Поэтому повышение производительности следует рассматривать как комплексную научно-техническую задачу, включающую совершенствование схемы формообразования, оптимизацию геометрии инструмента, применение средств автоматизации и использование компьютерного моделирования напряженно-деформированного состояния.

Таким образом, штамповка обладает наибольшим потенциалом производительности в серийном и массовом производстве. Если все продольные гофры формируются одновременно, продолжительность рабочего цикла определяется временем подачи заготовки, закрытия штампа, деформирования, раскрытия и выгрузки изделия. Для автоматизированного комплекса цикл может измеряться несколькими секундами или десятками секунд в зависимости от размеров детали, типа привода и необходимости калибровки. Число гофров при этом оказывает относительно небольшое влияние на продолжительность операции, хотя увеличение количества формующих элементов повышает усилие и усложняет конструкцию штампа.

Список использованных источников

1. Кухарь В.Д., Яковлев С.С., Шишкина А.А., Шеховцов С.Д. Исследование повреждаемости и вероятности образования дефектов при штамповке гофрированных в продольном направлении трубчатых заготовок // Черные металлы. 2026. № 5. С. 83-87.

2. Шишкина А.А., Яковлев С.С. Проблема изготовления гофрированных продольном направлении трубных заготовок // Опыт и проблемы реформирования системы менеджмента на современном предприятии: тактика и стратегия: сборник статей XXV Международной научно-практической конференции Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2026. С. 1025-1028.

3. Галкин Ю.С., Кондаков Д.И. Получение изделий комбинированием операций вытяжки и отбортовки // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2024. Вып. 1. С. 629-632. EDN RMJDZA.

4. Галкин Ю.С., Кондаков Д.И. Напряженное и деформированное состояние при комбинировании операций вытяжки и отбортовки // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2024. Вып. 1. С. 645-648. EDN JRYIOD.

5. Землянушнов Н. А., Землянушнова Н. Ю. Совершенствование способа упрочнения высоконагруженных конических и параболоидных пружин //

Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2026. № 2(376). С. 58-65. EDN XUKUQG.

6. Сторожев М. В. Теория обработки металлов давлением : учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. / М. В. Сторожев, Е. А. Попов. М. : Машиностроение, 1977. 423 с.

INCREASED PRODUCTIVITY AND ECONOMIC EFFICIENCY OF CORRUGATED PRODUCTS PRODUCTION

A.A. Shishkina, S.S. Yakovlev

Tula State University,
Tula, Russia

The article discusses manufacturing technologies for cylindrical products with longitudinal corrugations used in various industries. A comparison of stamping, knurling and cutting is carried out, taking into account design, technological and economic factors. Special attention is paid to the influence of profile geometry on product quality and tool durability, as well as ways to increase productivity. The advantage of stamping in the serial and mass production of thin-walled shells is substantiated.

Keywords: productivity, longitudinal corrugations, cylindrical products, stamping, economic efficiency, production.

УДК 621.983: 330.111.4

СИСТЕМНОЕ СОКРАЩЕНИЕ ВРЕМЕНИ ПЕРЕНАЛАДКИ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ КАК ФАКТОР РОСТА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И ВЫПУСКА ПРОДУКЦИИ

А.А. Шишкина, Я.В. Грибачев

Тульский государственный университет,
г. Тула, Россия

Статья посвящена сокращению времени переналадки оборудования производства. Рассмотрено влияние переналадок на полезный фонд времени, производительность, размер партий, незавершённое производство и себестоимость продукции. Представлены основные положения методологии SMED. Показано, что наибольший эффект достигается при совершенствовании оборудования, являющегося ограничивающим звеном технологического потока, с учётом загрузки смежных операций и фактического спроса на продукцию предприятия.

Ключевые слова: производство, экономическая эффективность, рост производительности, переналадка, штамповая оснастка.

В условиях серийного и мелкосерийного производства увеличение выпуска продукции не всегда требует приобретения нового оборудования,

расширения производственных площадей или роста численности персонала [1-6]. Значительный резерв производительности часто связан с уменьшением непроизводительных потерь времени, возникающих при переходе от изготовления одного вида продукции к другому. Одним из наиболее существенных видов таких потерь является переналадка оборудования, включающая остановку технологической системы, демонтаж и установку оснастки, регулирование рабочих органов, загрузку управляющих программ, пробные пуски, контроль первых изделий и достижение устойчивого режима выпуска годной продукции.

Продолжительная переналадка снижает фактический фонд времени работы оборудования, увеличивает длительность производственного цикла и стимулирует предприятие к выпуску продукции крупными партиями. Крупные партии позволяют реже останавливать оборудование, однако одновременно приводят к росту незавершённого производства, запасов, потребности в складских площадях и рисков изготовления продукции, на которую может снизиться спрос. Поэтому сокращение времени переналадки следует рассматривать не только как локальную техническую задачу, но и как элемент комплексного управления производственной системой.

Научно обоснованное совершенствование переналадки предполагает исследование структуры затрат времени, разделение операций на внутренние и внешние, стандартизацию действий персонала, модернизацию оснастки, применение цифровых средств контроля, а также оценку влияния разработанных мероприятий на производительность, себестоимость и устойчивость технологического процесса. Результатом такой работы становится увеличение полезного машинного времени без изменения номинального фонда работы оборудования.

Под временем переналадки обычно понимают интервал между выпуском последнего годного изделия предыдущей производственной партии и получением первого годного изделия следующей партии при установленной производительности и требуемых параметрах качества. Такое определение принципиально важно, поскольку простого запуска оборудования после замены инструмента недостаточно. Если после запуска требуется длительная регулировка, а первые изделия направляются в брак или на доработку, данный период также относится к потерям, связанным с переналадкой.

Даже умеренное сокращение продолжительности одной переналадки способно дать существенный прирост выпуска без приобретения дополнительной единицы оборудования. Однако реальный экономический результат зависит от наличия спроса, обеспеченности производства материалами, пропускной способности последующих операций и положения модернизируемого оборудования в структуре технологического потока. Если оборудование не является ограничивающим звеном, высвобождение его времени не обязательно приведёт к пропорциональному увеличению выпуска всего предприятия.

Производственная мощность оборудования определяется не только его паспортной производительностью, но и фактической доступностью для выполнения технологических операций. Номинальный фонд времени уменьшается из-за планового технического обслуживания, аварийных простоев, ожидания материалов, отсутствия персонала, переналадок и организационных задержек.

Вместе с тем производственная мощность участка определяется по операции с наименьшей пропускной способностью.

Поэтому мероприятия по ускорению переналадки наиболее результативны на оборудовании, образующем технологическое ограничение. Если, например, пресс способен после модернизации выпускать на 15 % больше заготовок, но термическая печь уже загружена полностью, увеличение выпуска прессового участка приведёт лишь к накоплению межоперационных запасов. В таком случае требуется либо синхронное повышение пропускной способности печи, либо изменение графика загрузки, либо перераспределение деталей между альтернативными маршрутами.

Наиболее известным подходом к уменьшению продолжительности переналадок является методология SMED, название которой происходит от выражения Single-Minute Exchange of Die. Дословно оно связано с заменой штампа за однозначное число минут, однако современное содержание метода значительно шире. Методология применяется к металлорежущим станкам, прессам, прокатным линиям, литьевым машинам, упаковочному оборудованию, сварочным комплексам, деревообрабатывающим центрам и другим технологическим системам. Основной принцип SMED заключается в разделении работ на внутренние и внешние. Внутренними считаются операции, которые могут выполняться только при остановленном оборудовании. К ним относятся снятие установленной оснастки, монтаж нового штампа, фиксация приспособления на рабочем столе и действия внутри опасной зоны машины. Внешние операции выполняются во время изготовления предыдущей партии.

После устранения организационных потерь основным резервом становится модернизация технических средств переналадки. Наибольшее время часто занимают крепление, базирование и подключение сменной оснастки. Традиционные резьбовые соединения требуют выполнения большого числа оборотов, использования нескольких типоразмеров ключей и последовательной затяжки. Замена их эксцентриковыми, клиновыми, гидравлическими или пневматическими зажимами существенно ускоряет фиксацию.

Таким образом сокращение времени переналадки повышает загрузку оборудования, уменьшает производственные потери и размер партий. Наибольший эффект обеспечивают разделение внутренних и внешних операций, стандартизация работ, применение быстродействующей оснастки и модернизация ограничивающих звеньев производственного потока.

Список использованных источников

1. Кухарь В.Д., Яковлев С.С., Шишкина А.А., Шеховцов С.Д. Исследование повреждаемости и вероятности образования дефектов при штамповке гофрированных в продольном направлении трубчатых заготовок // Черные металлы. 2026. № 5. С. 83-87.

2. Шишкина А.А., Яковлев С.С. Проблема изготовления гофрированных продольном направлении трубных заготовок // Опыт и проблемы реформирования системы менеджмента на современном предприятии: тактика и стратегия: сборник статей XXV Международной научно-практической конференции Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2026. С. 1025-1028.

3. Галкин Ю.С., Кондаков Д.И. Получение изделий комбинированием операций вытяжки и отбортовки // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2024. Вып. 1. С. 629-632. EDN RMJDZA.

4. Галкин Ю.С., Кондаков Д.И. Напряженное и деформированное состояние при комбинировании операций вытяжки и отбортовки // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2024. Вып. 1. С. 645-648. EDN JRYIOD.

5. Землянушнов Н. А., Землянушнова Н. Ю. Совершенствование способа упрочнения высоконагруженных конических и параболоидных пружин // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2026. № 2(376). С. 58-65. EDN XUKUQG.

6. Сторожев М. В. Теория обработки металлов давлением : учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. / М. В. Сторожев, Е. А. Попов. М. : Машиностроение, 1977. 423 с.

SYSTEMIC REDUCTION OF INDUSTRIAL EQUIPMENT CHANGEOVER TIME AS A FACTOR OF PRODUCTIVITY AND OUTPUT GROWTH

A.A. Shishkina, J.V. Gribachev

Tula State University,
Tula, Russia

The article is devoted to reducing the time of equipment changeover in production. The impact of changeovers on the useful time pool, productivity, batch size, work-in-progress and cost of production is considered. The main provisions of the SMED methodology are presented. It is shown that the greatest effect is achieved by improving equipment, which is the limiting link in the technological flow, taking into account the workload of related operations and the actual demand for the company's products.

Keywords: production, economic efficiency, productivity growth, changeover, die tooling.

УДК 629.12

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ОБЛАСТИ СУДОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Е.Г. Шумихина

Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова,
г. Чебоксары, Россия

Работа посвящена перспективам развития математического моделирования, включая возможность интеграции более совершенных методов глубокого обучения, гибридных математических моделей и расширенного использования

цифровых двойников для мониторинга и управления судовыми энергетическими комплексами. Такой подход создаёт фундамент для дальнейших исследований и практических решений, направленных на повышение надёжности, безопасности и эффективности морских судовых энергетических установок в условиях возрастающей технической сложности и требований к экологичности.

Ключевые слова: моделирование, искусственный интеллект, цифровые двойники, эффективность, интеграция, подход.

Введение

Перспективы развития в области математического моделирования и искусственного интеллекта (ИИ) связаны с расширением применения гибридных цифровых двойников, глубокого обучения и адаптивных методов управления, а также с усилением внимания к объяснимости и безопасности интеллектуальных систем. Такое направление открывает возможности для повышения энергетической эффективности, надежности и экологичности судовых энергетических установок при снижении эксплуатационных расходов [1, 2].

Цель исследования - рассмотрение прикладных вопросов внедрения интеллектуальных систем в процессы эксплуатации, с анализом успешных кейсов и выявлением ограничений современной технологии.

Материал и методы исследования

Практические вопросы эксплуатации интеллектуальных систем в морских судах

Внедрение интеллектуальных систем в эксплуатацию судовых энергетических установок сопровождается рядом значимых практических вызовов, вызванных спецификой морских условий и особенностями судового хозяйства [3-6]:

● существенным препятствием является жёсткая эксплуатационная среда: высокая влажность, вибрации, солевая коррозия и температурные колебания создают риски выхода из строя оборудования и снижают надёжность датчиков и вычислительных средств, на которых базируются ИИ-системы. Это требует разработки специализированных аппаратных решений и усиленной защиты для обеспечения устойчивой работы интеллектуальных модулей в тяжелых условиях.

● ограниченность ресурсов на борту судна. Ограничения по энергии, вычислительной мощности и доступу к коммуникациям накладывают жесткие рамки на объём и скорость обработки данных. Для эффективного функционирования ИИ-систем требуется оптимизация алгоритмов, внедрение распределённых вычислительных архитектур и использование методов предварительной фильтрации и сжатия данных, что снижает нагрузку на бортовые ресурсы и позволяет поддерживать высокую скорость принятия решений в реальном времени.

● интеграция интеллектуальных систем в существующие судовые энергетические комплексы сопряжена с необходимостью обеспечения совместимости с устаревшими техническими решениями и системами автоматизации, часто различными по производителю и протоколам передачи данных. Практической

задачей является достижение бесшовной интеграции, которая требует стандартизации интерфейсов, разработки адаптеров и обеспечения надёжного обмена информацией между компонентами. Кроме того, персонал судна должен быть обучен работе с новыми системами, что требует разработки обучающих программ и комплекса технической поддержки.

● сложности возникают и при сборе и обработке данных на борту. Система мониторинга сталкивается с проблемами пропусков данных, неполноты информации и ошибками измерений, что требует внедрения методов непрерывной оценки качества данных и корректировок моделей в режиме реального времени. Для поддержания качества работы ИИ-моделей необходимо реализовывать процедуры постоянного обновления параметров на основе поступающих эксплуатационных данных, что требует организации инфраструктуры обновлений и безопасного управления версиями моделей.

● особое внимание уделяется вопросам кибербезопасности. Использование интеллектуальных систем увеличивает поверхность потенциальных атак, способных вывести из строя энергетическую установку или привести к неправильным управляющим воздействиям. Практическая реализация ИИ предполагает внедрение комплексных механизмов защиты: от аппаратных средств безопасности до многоуровневых систем мониторинга и обнаружения вторжений, а также регулярного аудита и обновления систем безопасности.

● в морской практике важным моментом является обеспечение надёжной связи с береговыми центрами управления и технической поддержки. Несмотря на развитие спутниковых коммуникаций, передача больших объёмов данных с борта на берег ограничена, что требует предварительной обработки информации и применения методов передачи только ключевых событий и параметров. Такая организация связи способствует оперативному анализу и поддержке решений, но накладывает дополнительную ответственность на системы автономной работы ИИ.

● одним из ключевых факторов успешной эксплуатации интеллектуальных систем является организация постоянного мониторинга работы оборудования и состояния модели в реальном времени с возможностью своевременного вмешательства экипажа или службы технического контроля. Непрерывный мониторинг способствует выявлению отклонений и аномалий, снижает вероятность аварий, позволяет прогнозировать техническое состояние и корректировать режим работы в режиме онлайн, обеспечивая устойчивость и безопасность эксплуатации судовых энергетических комплексов.

Практика внедрения и эксплуатации интеллектуальных систем на морских судах требует комплексного подхода с учётом специфики морской среды, ограничений ресурсов и особенностей инфраструктуры. Только систематическая работа по обеспечению устойчивости систем, качеству данных, безопасности и взаимодействию с персоналом создаст условия для надёжного функционирования ИИ в долгосрочной перспективе и повысит общую безопасность судовых энергетических установок.

Результаты исследования и их обсуждение

Современные тенденции в сфере искусственного интеллекта для судовых энергетических установок направлены на усиление интеграции глубокого и многомодального обучения с традиционными физико-математическими моделями. Ведутся активные исследования по созданию гибридных цифровых двойников, которые не просто симулируют поведение оборудования, а динамически адаптируются на основе поступающей в реальном времени информации с датчиков и внешних источников. Такие системы способны осуществлять самокоррекцию моделей, учитывая износ компонентов, вариации эксплуатационных условий и непредвиденные возмущения, что существенно увеличивает точность прогнозов и эффективность управления [7, 8].

Перспективным направлением является более глубокое использование методов обучения с подкреплением для проектирования интеллектуальных систем управления судовыми энергетическими комплексами. Вместо традиционных алгоритмов с фиксированными правилами, обучение с подкреплением позволяет системам самостоятельно находить оптимальные стратегии регулирования в условиях неопределённости и динамично изменяющейся среды. Это открывает возможности для реализации адаптивного и прогнозного управления, минимизирующего потребление топлива и снижая выбросы без потери производительности.

Рост вычислительных мощностей и развитие распределённых вычислительных платформ способствуют внедрению на борту судов комплексных систем анализа больших данных, которые способны обрабатывать и интерпретировать многоканальные потоки информации – от вибрационных сигналов до прогностических моделей окружающей среды. Интеграция таких систем с технологиями Интернета вещей (IoT) и 5G-связи обеспечивает масштабируемость и оперативность обработки, создавая основу для «умных» энергетических установок с высокой степенью автономности.

Важным направлением является развитие методов объяснимого искусственного интеллекта (Explainable AI, XAI), что особенно актуально для морской отрасли с её жесткими требованиями к безопасности и прозрачности принятия решений. Благодаря XAI операторы и инженеры получают возможность понимать логику рекомендаций интеллектуальных систем, что увеличивает доверие к автоматизированным решениям и облегчает диагностику и устранение нештатных ситуаций.

Переход к гибридным моделям, комбинирующим физические и данные на основе ИИ, позволит существенно сократить время на разработку и внедрение новых систем, а также упростить адаптацию моделей под конкретные типы судов и энергетических установок. Такой подход повысит универсальность и масштабируемость решений, что особенно важно в условиях быстро меняющихся требований к экологичности и экономичности флота.

Необходимо активное внедрение технологий цифровых двойников на основе нейросетевых моделей и машинного обучения во все стадии жизненного

цикла судовых энергетических систем – от проектирования и испытаний до эксплуатации и технического обслуживания. Это позволит не только повысить эффективность и надежность, но и реализовать циклы предиктивного обслуживания с оптимальным планированием ремонтов и ресурсов, снижая затраты и время простоя судов [9, 10].

Влияние этих инноваций на отрасль будет многоаспектным: за счёт повышения точности моделирования и эффективности управления вырастет энергоэффективность судовых установок, что напрямую снизит эксплуатационные расходы и экологическую нагрузку. Увеличится уровень безопасности эксплуатации за счёт своевременного обнаружения неисправностей и предотвращения аварийных ситуаций. Автоматизация и интеллектуализация процессов управления снизят нагрузку на экипаж и позволят задействовать более компактные командные составы с фокусом на мониторинг и принятие стратегических решений.

Заключение

Дальнейшее развитие математического моделирования с использованием искусственного интеллекта способно кардинально изменить подходы к разработке и эксплуатации судовых энергетических систем, обеспечивая рост технологичности, экономичности и экологичности морского флота [1-10].

Список использованных источников

1. Тихонов, Н. Ф. Реализация инновационных технологий в судовых энергетических установках / Н. Ф. Тихонов // Донецкие чтения - 2025: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: Материалы X Международной научной конференции, посвященной 60-летию создания Донецкого научного центра, Донецк, 05–07 ноября 2025 года. – Донецк: Донецкий государственный университет, 2025. – С. 67-70. – EDN XVSILP.

2. Васильев, С. А. Судовые энергетические установки (СЭУ) / С. А. Васильев, Н. Ф. Тихонов, А. А. Петров // Тенденции развития науки и образования. – 2021. – № 72-7. – С. 80-83. – DOI 10.18411/lj-04-2021-285. – EDN BUNQEP.

3. Тихонов, Н. Ф. Актуальность применения информационных технологий в математическом моделировании судовых энергетических установках / Н. Ф. Тихонов // Информационно-вычислительные технологии и их приложения : Сборник статей XXIX Международной научно-технической конференции, Пенза, 15–16 августа 2025 года. – Пенза: Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2025. – С. 222-226. – EDN LDWLEL.

4. Тихонов, Н. Ф. Анализ требований к показателям надежности современных судовых энергетических установок / Н. Ф. Тихонов // Вопросы науки. – 2025. – № 2. – С. 73-78. – EDN RSRVJX.

5. Шумихина, Е. Г. Инновационные технологии и экологическая устойчивость судовых энергетических установок / Е. Г. Шумихина // Мировые научные достижения естественно-научных и социально-гуманитарных исследований: от теории к практике: Сборник научных статей III Международной научно-

практической конференции, Москва, 28 февраля 2025 года. – Москва: ООО "Симметрия", 2025. – С. 508-512. – EDN MTAJAD.

6. Попов, Д. А. Направления и перспективы развития судовых энергетических установок безэкипажных судов / Д. А. Попов, А. Р. Иващук, И. А. Андреев. – Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2024. – № 10 (509). – С. 82-85. – URL: https://moluch.ru/archive/509/111857.

7. Тихонов, Н. Ф. Эффективность системы наддува и утилизации тепловых потерь в тронковых дизелях / Н. Ф. Тихонов, Е. Г. Шумихина // Наукосфера. – 2023. – № 1-2. – С. 276-279. – EDN JWCUZZ.

8. Тихонов, Н. Ф. Судовые энергетические установки / Н. Ф. Тихонов, О. А. Надеждина, А. А. Петров // Высокие технологии и инновации в науке : Сборник избранных статей Международной научной конференции, Санкт-Петербург, 28 марта 2021 года. – Санкт-Петербург: ЧНОУ ДПО ГНИИ «НАЦРАЗВИТИЕ», 2021. – С. 75-79. – EDN JOOBAS.

9. Тихонов, Н. Ф. Критерии эффективности и качества управления судовыми энергетическими установками / Н. Ф. Тихонов // Донецкие чтения - 2025: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности : Материалы X Международной научной конференции, посвященной 60-летию создания Донецкого научного центра, Донецк, 05–07 ноября 2025 года. – Донецк: Донецкий национальный университет, 2025. – С. 307-309. – EDN YBXPXA.

10. Тихонов, Н. Ф. Устройство генераторной установки и моторное масло для дизельного генератора Yanmar / Н. Ф. Тихонов, Е. Г. Шумихина // Тенденции развития науки и образования. – 2022. – № 81-2. – С. 115-118. – DOI 10.18411/trnio-01-2022-70. – EDN UWVEMC.

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODELING AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE FIELD OF SHIP POWER ENGINEERING

E.G. Shumikhina

I.N. Ulyanov Chuvash State University,
Cheboksary, Russia

The work is devoted to the prospects for the development of mathematical modeling, including the possibility of integrating more advanced deep learning methods, hybrid mathematical models, and the expanded use of digital twins for monitoring and managing shipboard energy systems. This approach lays the foundation for further research and practical solutions aimed at improving the reliability, safety, and efficiency of marine shipboard energy installations in the context of increasing technical complexity and environmental requirements.

Keywords: modeling, artificial intelligence, digital twins, efficiency, integration, approach.

УДК 621.983: 330.111.4

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ШТАМПОВКИ

С.С. Яковлев, И.В. Гребенщиков

Тульский государственный университет,
г. Тула, Россия

В статье рассматривается переход от традиционного проектирования штамповки, основанного на опыте и пробных испытаниях, к компьютерному моделированию технологических процессов. Показано, что использование специализированных программ позволяет ещё до изготовления оснастки анализировать течение металла, выявлять зоны складкообразования и незаполнения, оценивать напряжённо-деформированное состояние и усилия. Такой подход значительно сокращает затраты времени и ресурсов, а также повышает качество сложнопрофильных изделий за счёт обоснованного выбора заготовки, количества переходов и режимов деформирования.

Ключевые слова: компьютерные технологии, штамповка, компьютерное моделирование, технологическая подготовка производства.

Проектирование технологических процессов штамповки традиционно основывается на расчётных зависимостях, справочных данных, результатах физического моделирования и производственном опыте технолога. Такой подход сохраняет практическую ценность, однако его возможности ограничены при изготовлении сложнопрофильных поковок, характеризующихся неравномерным течением металла, значительными локальными деформациями и повышенными требованиями к точности размеров.

Наиболее сложной задачей является разработка последовательности переходов, при которой металл равномерно распределяется по объёму штамповой полости, а заполнение тонких, глубоких или удалённых элементов происходит без образования складок, зажимов и незаполнения.

При традиционном проектировании многие решения проверяются непосредственно в цеховых условиях. Для этого изготавливается опытная оснастка, выполняются пробные штамповки, после чего штампы корректируются. Подобная схема требует значительных затрат времени, металла, энергии и ресурса оборудования.

Развитие компьютерных технологий позволило перенести значительную часть экспериментальной отработки процесса в виртуальную среду, так специализированные программные комплексы, включая QForm и DEFORM, дают возможность воспроизводить течение металла в штампе, учитывать температурные и скоростные условия деформирования, контактное трение, теплообмен и характеристики материала [1-7].

В результате технолог получает не только геометрическую картину формоизменения, но и информацию о напряжённо-деформированном состоянии

заготовки, усилиях штамповки, температурных полях и вероятных причинах возникновения дефектов.

Компьютерное моделирование наиболее эффективно при его включении в технологическую подготовку производства до начала изготовления штамповой оснастки. На этой стадии расчёт используется как инструмент сравнительной оценки нескольких возможных вариантов процесса. Анализироваться могут форма исходной заготовки, количество переходов, распределение металла между элементами поковки, размеры облойной канавки, температурный режим, кинематика рабочего оборудования.

Практический опыт показывает, что моделирование особенно востребовано при разработке поковок со сложным сочетанием массивных и тонкостенных участков. В таких изделиях металл перемещается по различным направлениям, а скорость заполнения отдельных элементов существенно различается. Если заготовка выбрана без учёта реальной кинематики течения, избыток металла может преждевременно вытесняться в облой, тогда как отдельные участки ручья остаются незаполненными. Увеличение массы заготовки в данном случае не всегда решает проблему. Оно способно повысить нагрузку на инструмент и оборудование, но не изменить неблагоприятную схему течения материала.

Расчётная модель позволяет наблюдать процесс поэтапно. Технолог получает возможность определить момент начала заполнения отдельных полостей, оценить положение свободной поверхности и выявить зоны, в которых встречаются разнонаправленные потоки металла. Именно в местах такого столкновения часто формируются складки и зажимы. На готовой поковке дефект может проявляться в виде линии или внутреннего несплошного участка, однако его причина обычно возникает значительно раньше, на промежуточной стадии деформирования.

Таким образом, компьютерный анализ позволяет перейти от изучения конечной формы изделия к исследованию механизма её образования. Это является одним из главных преимуществ численного моделирования по сравнению с оценкой только готовой поковки.

Список использованных источников

1. Инженерные методы расчета технологических процессов обработки металлов давлением. М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной и судостроительной литературы, 1993. 214 с.

2. Каменев С. В. Основы метода конечных элементов в инженерных приложениях: учебное пособие / С. В. Каменев; Оренбургский гос. ун-т. Оренбург: ОГУ, 2019. 110 с.

3. Шеховцов, С. Д. Гидравлическое усиление хода пуансона в устройстве импульсной штамповки и расчёт коэффициента его передачи / С. Д. Шеховцов, Д. Т. Бунтури // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2026. – № 5. – С. 368-372. – EDN YGZXXI.

4. Вобликов, Г. А. Определение влияния температуры штампового инструмента на процесс холодной листовой штамповки / Г. А. Вобликов, С. С. Яковлев

// Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2025. – № 9. – С. 328-332. – EDN WJOQEB.

5. Черепашков А. А., Носов Н. В. Компьютерные технологии, моделирование и автоматизированные системы в машиностроении. М.: ИнФолио, 2017. 642 с.

6. Компьютерное моделирование процессов обработки металлов давлением : учебное пособие / А. А. Богатов, Д. А. Павлов, М. В. Ерпалов [и др.] ; под общей редакцией А. А. Богатова; Министерство образования и науки Российской Федерации, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина. – Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2018. – 248 с.

7. Яковлев, С. С. Анализ температуры инструмента при продольном гофрировании обжимом / С. С. Яковлев, А. А. Шишкина // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – № 10. – С. 623-625. – EDN CKBGKF.

EXPERIENCE IN USING COMPUTER TECHNOLOGIES FOR DESIGNING STAMPING TECHNOLOGIES

S.S. Yakovlev, I.V. Grebenshchikov

Tula State University,
Tula, Russia

The article examines the transition from traditional stamping design, based on experience and trial tests, to computer modeling of technological processes. It has been shown that the use of specialized software makes it possible to analyze the flow of metal, identify areas prone to folding and non-filling, and assess the stress-strain state and forces even before the tooling is manufactured. This approach significantly reduces time and resource expenditures and also improves the quality of complex-profile products through a well-founded selection of the workpiece, the number of operations, and the deformation modes.

Keywords: computer technologies, stamping, computer modeling, technological preparation of production.

УДК 811.111

ДЕТЕРМИНИРОВАННАЯ СИНТАКСИЧЕСКАЯ СЕГМЕНТАЦИЯ АНГЛОЯЗЫЧНОГО ТЕКСТА КАК СРЕДСТВО ОПТИМИЗАЦИИ АКАДЕМИЧЕСКОГО ЧТЕНИЯ

Е.В. Маломанова

Алтайский государственный педагогический университет, г. Барнаул, Россия

Статья посвящена проблеме когнитивных трудностей, возникающих при чтении англоязычных академических текстов, обусловленных сложной синтаксической структурой и высокой информационной плотностью. В качестве эффективного средства оптимизации чтения предлагается метод детерминированной синтаксической сегментации, основанный на формальных правилах выделения минимальных синтаксических единиц (предложений, клауз и синтагм). Описывается пошаговый алгоритм сегментации, включающий идентификацию границ предложений, их маркировку, выделение клауз и анализ синтагматических групп.

Ключевые слова: синтаксическая сегментация, детерминированный подход, когнитивная нагрузка, клауза, синтагма.

Академическое чтение англоязычных научных текстов представляет собой сложную когнитивную задачу из-за высокой плотности информации, длинных предложений с вложенными конструкциями и обилия терминов. Читатель одновременно выполняет синтаксический и смысловой анализ, при этом синтаксическая структура играет решающую роль в понимании, а сложные предложения замедляют процесс и ведут к потере логики. Поэтому поиск эффективных стратегий чтения крайне актуален. Одним из перспективных подходов является детерминированная синтаксическая сегментация ─ метод, основанный на формальных правилах выделения минимальных синтаксических единиц (предложений, клауз, синтагм) по легко идентифицируемым признакам, без привлечения сложных лингвистических знаний. В отличие от вероятностных методов, перебирающих множество вариантов, детерминированный подход использует фиксированные алгоритмы, что сокращает число интерпретаций и ускоряет обработку текста, позволяя читателю сосредоточиться на смысле, а не на синтаксической неоднозначности.

В основе детерминированной сегментации лежит идея, что восприятие информации требует её членения на законченные смысловые блоки. Метод опирается на строгие правила, что обеспечивает предсказуемость и воспроизводимость результата, в отличие от статистических моделей, которые оценивают вероятности. Хотя в ряде случаев один фрагмент может подпадать под несколько правил, общее число вариантов всё равно остаётся минимальным, и такая вариативность не критична. Это свойство особенно ценно для автоматического реферирования и анализа текстов, где важна однозначность.

Ключевыми единицами сегментации выступают предложение, клауза и синтагма. Предложение — минимальная самостоятельная единица с формальной и смысловой завершённостью. Клауза — предикативная единица, выражающая законченную пропозицию и служащая строительным блоком для развёрнутой аргументации. Синтагма — минимальная интонационно-смысловая единица, занимающая промежуточное положение между словом и предложением; она аккумулирует просодические признаки и облегчает восприятие текста, особенно при чтении вслух или мысленном проговаривании. Вместе эти три уровня образуют иерархию, позволяющую проводить сегментацию с учётом как синтаксических, так и интонационных параметров.

Алгоритм детерминированной сегментации включает несколько последовательных этапов. Первый — идентификация границ предложений на основе формальных маркеров (точка, вопросительный знак, заглавная буква), что даёт первичное грубое разделение текста. Второй — синтаксическая маркировка выделенных предложений, присвоение им меток (главное, придаточное), что создаёт схему для дальнейшего анализа. Третий, наиболее важный, — выделение клауз, то есть предикативных единиц, которые несут отдельные пропозиции. Это позволяет разложить сложное предложение на дискретные информационные порции и облегчает понимание логики автора. Выделение клауз также помогает оценить синтаксическую сложность текста и диагностировать уровень академического письма. Четвёртый этап — анализ синтагматических групп, которые членят предложение на минимальные смысловые отрезки, способствуя оптимальному восприятию и выделению ключевых связей между элементами. В итоге читатель получает возможность последовательно обрабатывать текст по блокам, что снижает когнитивную нагрузку.

Применение сегментации к многоуровневым предложениям с придаточными и инверсиями значительно облегчает чтение, так как предварительное структурирование даёт ориентиры ещё до полного синтаксического разбора. Сложные периоды становятся доступными для осмысления, а читатель может сосредоточиться на аргументации, а не на грамматике. Сегментация выступает не просто техническим приёмом, а фундаментальным механизмом перехода от линейного текста к иерархической смысловой модели. Выделение клауз и синтагм позволяет строить ментальную модель, опираясь на порции информации, что особенно важно для понимания логических связей между тезисами и их обоснованиями.

Освоение методики требует понимания теоретических основ членения текста на сверхфразовые единства и абзацы, а затем — регулярной практики анализа сложных предложений. Это помогает преодолевать грамматические трудности и вырабатывать навык быстрого выделения смысловых ядер. В результате студенты и исследователи получают инструмент для осознанного анализа научной литературы.

Проведённое исследование подтверждает, что детерминированная синтаксическая сегментация эффективно снижает когнитивную нагрузку, ускоряет понимание и уменьшает число ошибок интерпретации. Метод особенно ценен в

условиях роста объёмов научной информации на английском языке, так как не требует специальной лингвистической подготовки и легко алгоритмизируется. Разработанный пошаговый алгоритм прошёл апробацию на реальных академических текстах и показал свою практическую применимость. Важно, что методика может быть автоматизирована с помощью компьютерных инструментов, что открывает возможности для интеграции в программные средства анализа текста и делает её доступной для широкой аудитории.

Перспективы развития методики связаны с её внедрением в учебные курсы по академическому чтению и созданием автоматизированных систем реального времени, помогающих читателям в процессе работы. Дальнейшие исследования могут быть направлены на расширение правил для разных типов научных текстов и оценку долгосрочного влияния сегментации на глубину понимания, что позволит уточнить рекомендации и усилить практическую отдачу от использования данного подхода.

Список использованных источников

1. Андрусенко Т.В. Технология обучения лингвистическому анализу текстов на занятиях по английскому языку // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. ─ 2016. ─ С. 28-32.

2. Виноградова С.Г. Коммуникативное членение английского сложного предложения в когнитивном аспекте // Вопросы когнитивной лингвистики. ─ 2013. ─ С. 5-13.

3. Гудухина М.Н. Особенности использования предикативных структур в англоязычных научных текстах // Вестник Московского государственного лингвистического университета. Гуманитарные науки. ─ 2018. ─ С. 86-97.

4. Лытаева М.А., Пестрикова Е.А. Структура академического чтения // Педагогика и психология образования. ─ 2024. ─ №3. ─ С. 153-173.

5. Манушкин Е.С., Клышинский Э.С. Метод автоматической генерации правил синтаксической сегментации // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. ─ 2009. ─ №12. ─ С. 135-148.

6. Пушкина Е.Н. Анализ предложения и снятие грамматических трудностей англоязычных текстов профессиональной направленности // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. Серия: Социальные науки. ─ 2020. ─ С. 177-185.

7. Серова Т.С., Сабитова А.Р. Моделирование простых предложений на иностранном языке при формировании лексико-грамматических навыков информативного чтения // Вестник ПНИПУ. Проблемы языкознания и педагогики. ─ 2018. ─ №2. ─ С. 110-121.

8. Шпит Е. И., Куровский В. Н. Изучение англоязычного академического письма инструментами компьютерной лингвистики // Высшее образование в России. ─ 2020. ─ №7. ─ С. 89-103.

DETERMINISTIC SYNTACTIC SEGMENTATION OF ENGLISH-LANGUAGE TEXT AS A TOOL FOR OPTIMIZING ACADEMIC READING

E.V. Malomanova

Altai State Pedagogical University,
Barnaul, Russia

This article addresses the cognitive difficulties encountered when reading English-language academic texts due to their complex syntactic structure and high information density. A deterministic syntactic segmentation method based on formal rules for identifying minimal syntactic units (sentences, clauses, and syntagmas) is proposed as an effective means of reading optimization. A step-by-step segmentation algorithm is described, including the identification of sentence boundaries, their marking, clause extraction, and syntagmatic group analysis

Keywords: syntactic segmentation, deterministic approach, cognitive load, clause, syntagma.

СОДЕРЖАНИЕ

ГЕНЕРАТИВНЫЙ ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В СОВРЕМЕННОМ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ: ВОЗМОЖНОСТИ, ВЫЗОВЫ И ОГРАНИЧЕНИЯ
В.И. Абрамов, О.В. Абрамов 3

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ И ИХ РОЛЬ В ЭФФЕКТИВНОМ МЕНЕДЖМЕНТЕ КОРПОРАЦИЙ: АНАЛИЗ ТРЕНДОВ ВНЕДРЕНИЯ ГЕНЕРАТИВНОГО ИИ
В.И. Абрамов, О. В. Абрамов 9

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СПРОСА НА ТОВАРЫ И УСЛУГИ
М.В. Алиева 17

К АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ МАТЕРИАЛОЕМКОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ЕГО ВКЛАД В ВАЛОВЫЙ ПРОДУКТ РЕГИОНА
Д.А. Ануфриев 21

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ В ОТДЕЛЬНЫХ СТЕРЖНЯХ МНОГОЭТАЖНОЙ РАМЫ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО ИЗМЕРЕННЫМ ПЕРЕМЕЩЕНИЯМ
Е.С. Апилатов, Л.Е. Путеева, Б.А. Тухфатуллин 25

ИЗ ОПЫТА ДИСТАНЦИОННОГО ПРОВЕДЕНИЯ УЧЕБНОЙ ПРАКТИКИ ПО РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММ ВНЕУРОЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
О.В. Арзыбова, Е.В. Путилова, Н.В. Беленов 31

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ БЕЗОПАСНОГО ТУРИСТИЧЕСКОГО МАРШРУТА
Р.Е. Белкин 33

МЕТОД РАСЧЕТА УСЛОВИЙ ОБРАЗОВАНИЯ И РАСТВОРЕНИЯ УПРОЧНЯЮЩИХ ФАЗ МИКРОЛЕГИРОВАННОЙ КОЛЕСНОЙ СТАЛИ
Р.А. Богословский, Е. Ю. Нарусова 37

РЕГРЕСИОННАЯ МОДЕЛЬ ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ КАК СПОСОБ АНАЛИТИЧЕСКОГО ПОДБОРА ПАРАМЕТРОВ КОЛЕСНОЙ СТАЛИ
Р.А. Богословский, Е. Ю. Нарусова 41

ИНФОРМАЦИОННЫЙ ОБЗОР ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ООО «ЭКОВОЛГА» ПО ЭКОЛОГИЧЕСКИМ УСЛОВИЯМ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА АКВАКУЛЬТУРЫ-РАКИ
И.В. Бородулин, В.А. Милюткин, В.А. Милюткин 44

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ ПОИСКА НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ
Д.А. Васьковская, А.О. Завтур 49

ЦИФРОВИЗАЦИЯ КАК ОДНО ИЗ РЕШЕНИЙ ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОСПРОИЗВОДСТВОМ ОСНОВНЫХ ФОНДОВ ПРЕДПРИЯТИЯ ТРАНСПОРТНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ
О.В. Войнова, А.Ю. Клюшин 53

ОСОБЕННОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕКСТОВЫХ ДАННЫХ
В.А. Воробьев 56

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МЕТОДОВ НОРМАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ НА КАЧЕСТВО АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ
Н.В. Гаевский 61

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ШТАМПОВКИ
Ю.С. Галкин, Я.В. Грибачев 65

ШТАМПОВКА КАК ИНСТРУМЕНТ СНИЖЕНИЯ СЕБЕСТОИМОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ В СЕРИЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ
Ю.С. Галкин, Я.В. Грибачев 68

МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ В СЕТЕВОМ ТРАФИКЕ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ
А.А. Галкин, И.А. Шперов 72

ПРИМЕНЕНИЕ СВЁРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ПОВЕРХНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ
А.А. Галкин, И.А. Шперов 77

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ОБРАЗОВАНИЯ: ВЫЗОВЫ, ТЕХНОЛОГИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ
А.Р. Гизатуллина, С.В. Куценко 82

МОДЕЛИРОВАНИЕ И РЕИНЖИНИРИНГ БИЗНЕС-ПРОЦЕССА ОРГАНИЗАЦИИ ВЫСТАВОЧНО-ЯРМАРОЧНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ДЕЛОВОГО ЦЕНТРА НА ОСНОВЕ IDEF0/IDEF3/DFD-МОДЕЛЕЙ И ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТОИМОСТНОГО АНАЛИЗА
И.А. Грошева, И.В. Игнатьев, А.А. Батанова 85

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ И СТРУКТУРНОЙ ПРОЧНОСТИ ГАЗОБЕТОНА НА ОСНОВЕ СИНТЕЗА ТОБЕРМОРИТА
А.С. Громов, В.В. Кузина 90

АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ К СИСТЕМЕ ОБУЧЕНИЯ И АТТЕСТАЦИИ СОТРУДНИКОВ ИТ-КОМПАНИИ
О.П. Дранишникова, Н.С. Ксенз 94

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА СИММЕТРИЧНОГО ГОРИЗОНТАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДАННЫХ ДЛЯ БАЛАНСИРОВКИ НАГРУЗКИ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМАХ
Е.А. Евсеев 98

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ФОТОМЕТРИЧЕСКОЙ НОРМАЛИЗАЦИИ НА ЦИФРОВЫХ МЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ ПРИ НЕОДНОРОДНОМ ОСВЕЩЕНИИ
Е.В. Заров 102

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПОЛИГОНАЛЬНОЙ РАЗМЕТКИ НА ЦИФРОВЫХ МЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ
Е.В. Заров 106

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ХОЛОДНОЙ ОБЪЁМНОЙ ШТАМПОВКИ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
И.В. Зверев, В.С. Новоселов 111

РОЛЬ ЭЛЕКТРОННОГО ОБУЧЕНИЯ В ЛИНГВОКУЛЬТУРНОЙ АДАПТАЦИИ ИНОСТРАННЫХ СТУДЕНТОВ
Е.Ю. Зимина, А.Г. Фурин 114

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
М.Е. Иванов, А.В. Корецкий 118

ПРИМЕНЕНИЕ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ЗАДАЧ ОБРАБОТКИ ТЕКСТА
М.Е. Иванов, А.В. Корецкий 122

СРАВНЕНИЕ АРХИТЕКТУР ТРАНСФОРМЕРОВ В ЗАДАЧАХ ОБРАБОТКИ ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА
М.Е. Иванов, А.В. Корецкий 127

ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ОБРАЗОВАНИЯ: ТЕХНОСТРЕСС И ВОВЛЕЧЕННОСТЬ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ ВУЗОВ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ
В.Д. Иванова 130

ФОРМИРОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ РУКОВОДЯЩИХ КАДРОВ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ОТРАСЛИ
В.С. Иванова 133

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ ДЛЯ НАВИГАЦИИ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ
Идрисс Абдел-Азиз Идрисс, О.С. Литвинская 137

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ И СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ЗАДАЧ
К.К. Иорганский, А.В. Скринник 140

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ СХОДИМОСТИ ГРАДИЕНТНОГО СПУСКА ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ЛИНЕЙНОЙ РЕГРЕССИИ
Е.Ю. Казакова, Д.В. Гонштейн 143

УПРАВЛЕНИЕ ЦЕПОЧКАМИ ПОСТАВОК В ЭЛЕКТРОННОЙ КОММЕРЦИИ НА ПРИМЕРЕ WILDBERRIES
Э.М. Калимуллина, А.С. Юсупова 147

ВЛИЯНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ТРУДА И ТРАНСФОРМАЦИЮ РЫНКА ЗАНЯТОСТИ
Н.И. Кириякова, Е.Д. Медякова 152

АЛГОРИТМ ВЫБОРА МАРШРУТА МИНИМАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ С УЧЁТОМ СВЕТОФОРНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ
А.А. Клейменов, В.В. Кузина 158

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА PHREEQC ДЛЯ ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ГЕОЛОГИИ: АЛГОРИТМ ВЕРИФИКАЦИИ ПО ЛАБОРАТОРНЫМ ДАННЫМ
Д.С. Климов 161

ОСОБЕННОСТИ ЦИФРОВИЗАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ
А.Ю. Клюшин, А.Ю. Смирнов 166

МЕХАНИЗМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЦЕЛОСТНОСТИ ПОТОКА УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ УКАЗАТЕЛЕЙ: КОМПЛЕКСНЫЙ ОБЗОР
Д.Ю. Ковалев 169

РЕЛЯЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПОСТРОЕНИЯ ГАМИЛЬТОНОВЫХ ЦИКЛОВ: ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ РЕДУКЦИЯ И ВСТРЕЧНЫЙ АЛГОРИТМ
С.В. Козлов, С.А. Морозов 174

ОБЗОР РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОНСТРУКТОРОВ HIWONDER ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ РОБОТОТЕХНИКЕ ШКОЛЬНИКОВ
Е.Ю. Константинович 180

ВЫБОР И ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМ БИЗНЕС - АНАЛИТИКИ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ В РФ В УСЛОВИЯХ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ
Н.М. Королёв 183

МЕТОДЫ МАСКИРОВКИ И МЕХАНИЗМЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ВРЕДОНОСНЫХ ПРОГРАММ В ФОРМАТАХ МЕДИА ФАЙЛОВ
К.Э. Костин, И.Д. Нурмухамедов 191

УДЕЛЬНАЯ РЕАКЦИОННАЯ ПОВЕРХНОСТЬ УГЛЕГРАФИТОВЫХ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ, КАК РАСПРЕДЕЛЕННЫЙ ПАРАМЕТР ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ В ПРОТОЧНЫХ ТРЕХМЕРНЫХ ЭЛЕКТРОДАХ
В.В. Кузина, А.Д. Рыжов, А.Н. Кошев 196

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ РАСЧЁТА КАЛОРИЙ И ИХ ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ В АВТОНОМНОМ МОБИЛЬНОМ ПРИЛОЖЕНИИ
Е.Ю. Кулагина 200

АНАЛИЗ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА КАЛИБРОВКИ ОБОРУДОВАНИЯ
Е.В. Кузьменко, Н.С. Ксенз 206

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА СЕГМЕНТАЦИИ МИКРОСВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ
М.С. Лисин 209

ГРАФОВАЯ МОДЕЛЬ АНАЛИЗА ВЕКТОРОВ АТАК НА КОМПОНЕНТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ
А.А. Лукоянов, Е.А. Рогозин, Г.А. Шевцова 212

МЕТОДЫ ЗАПИСИ И ОТОБРАЖЕНИЯ СТЕРЕОСКОПИЧЕСКОГО ВИДЕО ТРЕХМЕРНЫХ СЦЕН В ФОРМАТЕ 360 ГРАДУСОВ
А.В. Мальцев, И.Н. Мироненко 218

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ПОМЕХ ВИДЕОСИГНАЛА В СИСТЕМАХ ВИРТУАЛЬНОГО ОКРУЖЕНИЯ
А.В. Мальцев 222

НЕКОТОРЫЕ РАЗМЫШЛЕНИЯ ОБ ЭКОЛОГИИ В ВОДНОЙ СРЕДЕ С СИНЕ-ЗЕЛЕНЫМИ ВОДОРОСЛЯМИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИМЕЮЩИХСЯ ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ
В.А. Милюткин , И.В. Бородулин 227

МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ НА ОСНОВЕ СЕМАНТИЧЕСКОГО СЛИЯНИЯ ПРИЗНАКОВ
Н.С. Миронов 231

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНО-ВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ КОМПОЗИЦИЙ В ПРОЦЕССЕ ДУГОВОЙ НАПЛАВКИ С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИРОВАНИЯ В ANSYS
Р.С. Михеев , П.А. Быков , И.Е. Калашников , Л.И. Кобелева 237

ЭФФЕКТ ФОРРЕСТЕРА И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ
А.М. Морозов, А.Ю. Клюшин 241

МЕТРИКИ КАЧЕСТВА БИНАРИЗАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДОКУМЕНТОВ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ F-МЕРЫ, PSNR И СМЕЖНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
Д.С. Найденко 244

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КЛАССИЧЕСКИХ МЕТОДОВ БИНАРИЗАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДОКУМЕНТОВ: ГЛОБАЛЬНЫЙ ПОДХОД ОЦУ И ЛОКАЛЬНЫЕ АЛГОРИТМЫ НИБЛЭКА И БЕРНСЕНА
Д.С. Найденко 248

БИНАРИЗАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДОКУМЕНТОВ В КОНВЕЙЕРЕ ОЦИФРОВКИ И ОПТИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ ТЕКСТА: ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ
Д.С. Найденко 253

ПЛАГИННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПОДДЕРЖКИ УСТРОЙСТВ В МЕДИЦИНСКОМ ПРОГРАММНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАФИИ
В.А. Нефедов 257

ФРАГМЕНТАЦИЯ ПРОГРАММНЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАФИИ
В.А. Нефедов 261

ОСОБЕННОСТИ РАСПОЗНАВАНИЯ АВТОМАТНЫХ ЯЗЫКОВ
Е.М. Николаев 266

ЭТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЙРОСЕТЕЙ В НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ
В.В. Нурмухаметова, Э.М. Хайрутдинова 271

ИНТЕГРАЦИЯ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ В РАЗРАБОТКУ АРХИТЕКТУРНОЙ РАБОЧЕЙ ДОКУМЕНТАЦИИ: НОВЫЕ ФОРМАТЫ, ОШИБКИ И ЗОНЫ ОТВЕТСТВЕННОСТИ
А.А. Павлов, С.В. Ильвицкая 274

ЗНАЧЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ
Д.С. Пискунов 277

РАЗРАБОТКА МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ЦИФРОВОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
Д.С. Пискунов 280

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ
Д.С. Пискунов 284

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНФОКОММУНИКАЦИЙ В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ
Ю.В. Редькин, Р.А. Яковлев 287

ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ВЫЧИСЛЕНИЙ НА СТРОКОВЫХ ЗАПРОСАХ
Н.А. Ржавин 292

ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ЛОГИРОВАНИЯ В СЕРВЕРНЫХ ПРИЛОЖЕНИЯХ НА NESTJS
В.В. Рогов, А.А. Каршков 297

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ЗАДАЧИ ОЦЕНКИ ТОНАЛЬНОСТИ ТЕКСТА
М.А. Романова 301

ЭЛЕКТРОННЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ КАК ИНСТРУМЕНТ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ В ОБЛАСТИ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА НА ПРЕДПРИЯТИИ
М.Ф. Рубан 305

ОБОСНОВАНИЕ КОНЦЕПЦИИ ПЛАТФОРМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ УНИФИКАЦИИ API-ДОКУМЕНТАЦИИ ДЛЯ СИСТЕМ ИИ
А.Ю. Садикова 310

ВЫБОР ЧИСЛЕННОГО МЕТОДА ДЛЯ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ТУРБУЛЕНТНОГО ПОТОКА В ЗАДАЧЕ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА ДЫМОВЫХ ГАЗОВ
А.М. Садуллаев, М.Л. Шустрова, В.А. Фафурин 318

КОНЦЕПЦИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ И АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ФОРМОВКИ ДЕТАЛЕЙ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНЫМ НАГРУЖЕНИЕМ
Ж.В. Самохвалова , Н.В. Самохвалов 322

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ РАСЧЕТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССОВ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ФОРМОВКИ ДЕТАЛЕЙ
Н.В. Самохвалов 327

РАЗЛОЖЕНИЕ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ ИСХОДА ПО ВЕРОЯТНОСТИ ПОБЕДЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ БАЛАНСА И ДИНАМИЧНОСТИ БОЕВЫХ ВСТРЕЧ В НАСТОЛЬНЫХ РОЛЕВЫХ ИГРАХ
А.Г. Свириденков, К.Э. Фадеев 335

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ЦИФРОВЫХ СТРАТЕГИЯХ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ФОНДОВ
А.С. Скрипка, А.В. Базеенков 343

АЛГОРИТМ РОСТА МИЦЕЛИЯ ГРИБА AMANITA MUSCARIA КАК МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ СЕТЕВОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ
И.О. Смирнов, А.А. Ковалев 347

ДРОНЫ В НЕБЕ: НОВЫЕ ВЫЗОВЫ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ
А.А. Смирнов, К.А. Грачев, Д.Р. Мундштуков, Я.И. Олейникова, И.Н. Шаго 351

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ТЫЛА: ОТ АВТОМАТИЗАЦИИ РУТИНЫ К ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОМУ УПРАВЛЕНИЮ
А.А. Смирнов, К.В. Семенов, Д.Р. Мундштуков, Я.И. Олейникова, А.А. Максимов 355

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ПЕДАГОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПО ИНФОРМАТИКЕ, БАЗИРУЮЩИХСЯ НА ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ПОДХОДАХ ОБУЧАЮЩИХСЯ
Л.Л. Стародумов 360

РЕАЛИЗАЦИЯ ПОВОРОТОВ ВИРТУАЛЬНОГО РОБОТА В РЕЖИМЕ ЗАХВАТА ПОРУЧНЯ ВНУТРИ МОДЕЛИ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ
Е.В. Страшнов 363

ПРИНЦИПЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СОСТАВОВ ПРОТИВОПРИГАРНЫХ ПОКРЫТИЙ
И.А. Стрельников 367

ИНТЕГРАЦИЯ ЦИФРОВЫХ ИНТЕРАКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ГИБРИДНЫХ РАБОЧИХ ТЕТРАДЕЙ В ОБУЧЕНИЕ МАТЕМАТИКЕ ИНОСТРАННЫХ СЛУШАТЕЛЕЙ
Д.Ю. Сулейманова 371

ПРИМЕНЕНИЕ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ DEDUCTOR STUDIO ДЛЯ АНАЛИЗА ИТОГОВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ СТУДЕНТОВ УНИВЕРСИТЕТА
М.М. Сухова, В.В. Кузина 376

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В МОДЕЛИРОВАНИИ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК
Н.Ф. Тихонов 381

ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА БАЗЕ АЛГОРИТМА КРАСКАЛА
Н.В. Тюльпинова 386

ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ РАСЧЁТА РАСТЯЖЕНИЯ И СЖАТИЯ БРУСА КАК ИНСТРУМЕНТ ФОРМИРОВАНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ НАВЫКОВ В КУРСЕ «СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ»
Н.В. Тюльпинова 390

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ СКЛОНОВ И ОТКОСОВ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ
Н.В. Тюльпинова 395

ПРИМЕНЕНИЕ TELEGRAM-ЧАТ-БОТА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ОБСЛУЖИВАНИЯ КЛИЕНТОВ АПТЕКИ
К.Ф. Ульяшов, Е.С. Манаенкова 398

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ АДАПТИВНОЙ БАЙЕСОВСКОЙ РЕГУЛЯРИЗАЦИИ ПРИ ПЕРЕХОДЕ ОТ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ МОДЕЛЕЙ К ВЕРОЯТНОСТНЫМ В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА ДАННЫХ
О.Н. Уткина 402

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МНОЖЕСТВ И МУЛЬТИМНОЖЕСТВ В SQL
С.Д. Хлебников 406

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РОТАЦИОННОЙ ВЫТЯЖКИ В ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСАХ
И.С. Хрычев, В.С. Новоселов 410

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В КОМПАНИЯХ СРЕДНЕГО БИЗНЕСА
К.А. Хушкина, С.М. Куценко 413

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И НАДЁЖНОСЬ СИСТЕМ: ДВЕ СТОРОНЫ ОДНОЙ МЕДАЛИ
Е.П. Цыганкова, С.М. Куценко 416

АКТУАЛЬНЫЕ УГРОЗЫ БЕЗОПАСНОСТИ: КИБЕРУГРОЗЫ И ФИЗИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА ОБЪЕКТОВ
В.Р. Шарипова, Р.Н. Пигилова 421

DATA CONTRACTS: НОВЫЙ СТАНДАРТ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ В РАСПРОСТРАНЁННЫХ СИСТЕМАХ ДАННЫХ
Д.Н. Шишканов, Е.В. Дьяченко 423

ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ГОФРИРОВАННЫХ ИЗДЕЛИЙ
А.А. Шишкина, С.С. Яковлев 427

СИСТЕМНОЕ СОКРАЩЕНИЕ ВРЕМЕНИ ПЕРЕНАЛАДКИ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ КАК ФАКТОР РОСТА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И ВЫПУСКА ПРОДУКЦИИ
А.А. Шишкина, Я.В. Грибачев 430

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ОБЛАСТИ СУДОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ
Е.Г. Шумихина 433

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ШТАМПОВКИ
С.С. Яковлев, И.В. Гребенщиков 439

ДЕТЕРМИНИРОВАННАЯ СИНТАКСИЧЕСКАЯ СЕГМЕНТАЦИЯ АНГЛОЯЗЫЧНОГО ТЕКСТА КАК СРЕДСТВО ОПТИМИЗАЦИИ АКАДЕМИЧЕСКОГО ЧТЕНИЯ
Е.В. Маломанова 442

Научное издание

ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИХ ПРИЛОЖЕНИЯ

Статьи публикуются в авторской редакции

Ответственный за выпуск – начальник Межотраслевого научно-информационного центра
Е.А. Галиуллина
Компьютерная верстка **Т.В. Масловой**

Дата подписания к публикации 03.09.2026
Учетно-издательские листы 27,26
Межотраслевой научно-информационный центр Пензенского государственного аграрного университета. 440014, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30, https://mnic.pgau.ru; mnic@pgau.ru; www.pgau.ru телефоны редакции: тел.-факс. (841-2) 62-90-60, +7 967 442-60-42

ISBN 978-5-00196-456-8