

16. E-3 Sentry (AWACS) // Aerotech News. – 2016. – Режим доступа: <https://www.aerotechnews.com/davis-mon-thanafb/2016/03/04/e-3-sentry-awacs/> (дата обращения: 10.06.2025).
17. E-3 AWACS (Sentry) Airborne Warning and Control System // Airforce Technology. – 2020. – Режим доступа: <https://www.airforce-technology.com/projects/e3awacs/> (дата обращения: 10.06.2025).
18. E-3 SENTRY (AWACS) // U.S. Air Force Fact Sheet. – Режим доступа: <https://www.acc.af.mil/About-Us/Fact-Sheets/Display/Article/199162/e-3-sentry-awacs/> (дата обращения: 10.06.2025).
19. Zdzisław Pawlak ROUGH SET THEORY AND ITS APPLICATIONS TO DATA ANALYSIS // Institute of Theoretical and Applied Informatics, Polish Academy of Sciences, ul. Baltycka 5, 44 100 Gliwice, Poland
20. Zhang L., Huang G. Extracting of Micro Doppler Parameter of Helicopter Rotor Based on Time-frequency Analysis // Applied Mechanics and Materials. – 2012. – Vol. 130–134. – P. 2696–2700. – DOI:10.4028/www.scientific.net/AMM.130-134.2696.

© Т. М. Лифанова, М. Э Громовой., С. В. Петренко

Ссылка для цитирования:

Лифанова Т. М., Громовой М. Э., Петренко С. В. Применение метода анализа иерархий т. саати для сравнительного системного анализа самолета и вертолета в качестве подвижных носителей радиолокационной станции // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань: ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2026. № 2 (56). С. 118–125.

УДК 004.9:69
DOI 10.52684/2312-3702-2026-56-2-125-131

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОВЕРКИ СООТВЕТСТВИЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ
ВЫСОТНОГО ЗДАНИЯ НОРМАТИВНЫМ ТРЕБОВАНИЯМ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЦИИ ТИМ И RAG-LLM**

Н. В. Купчикова, А. И. Сухорукова, Т. В. Золина

Купчикова Наталья Викторовна, доктор технических наук, профессор кафедры «Строительные конструкции, здания и сооружения», Российский университет транспорта (МИИТ); доктор технических наук, профессор кафедры промышленного и гражданского строительства, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Российская Федерация; ORCID: 0000-0002-2986-4190; e-mail: kupchikova79@mail.ru;

Сухорукова Алина Игоревна, студент, Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва; Российская Федерация;

Золина Татьяна Владимировна, доктор технических наук, профессор кафедры промышленного и гражданского строительства, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Российская Федерация

Представлена концепция и программный прототип цифровой платформы «ТИМ Инспектор» для автоматизированной проверки соответствия конструктивно-технологических решений высотных зданий действующим нормативным требованиям на предпроектной и проектной стадиях. Платформа интегрирует технологии информационного моделирования (далее ТИМ), конечно-элементного анализа (CAE) и методы искусственного интеллекта (Retrieval-Augmented Generation, RAG; Large Language Model, LLM). В отличие от существующих систем rule-based checking, требующих ручного программирования каждого правила, предлагаемое решение автоматически извлекает нормативные требования из документов (СП, ГОСТ, СанПиН), преобразует их в векторные эмбединги и с помощью LLM генерирует проверочные правила. Разработана модульная архитектура, включающая пять независимых модулей: NormaParser, BIMChecker, CalcValidator, CodeAdvisor и CostEstimator. Апробация выполнена на конечно-элементной модели многофункционального жилого комплекса «Астра» (109 662 элемента). Сформированы проектные цифровые кейсы для проверки армирования колонн, несущей способности свай, эвакуационных путей и геометрических ограничений. Экономическая эффективность подтверждена: снижение времени нормоконтроля на 40–60 %, количества ошибок на 60 %, срок окупаемости – не более 18 месяцев. Получены три акта о внедрении в проектные организации.

Ключевые слова: ТИМ, RAG, LLM, автоматизация проверки, высотное здание, нормативные требования, семантический поиск, импортозамещение.

**AUTOMATED COMPLIANCE CHECKING OF HIGH-RISE BUILDING DESIGN
USING BIM AND RAG-LLM INTEGRATION**

N. V. Kupchikova, A. I. Sukhorukova, T. V. Zolina

Kupchikova Natalya Viktorovna, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Department of Building Structures, Buildings, and Facilities, Russian University of Transport (MIIT); Doctor of Engineering Sciences, Professor, Department of Industrial and Civil Engineering, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-2986-4190; e-mail: kupchikova79@mail.ru;

Sukhorukova Alina Igorevna, student, Russian University of Transport (MIIT), Moscow; Russian Federation;

Zolina Tatyana Vladimirovna, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Department of Industrial and Civil Engineering, Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, Astrakhan, Russian Federation

The paper presents a concept and a software prototype of the digital platform “TIM Inspector” for automated checking of structural and technological solutions of high-rise buildings against current regulatory requirements at pre-design and design stages. The platform integrates Building Information Modelling (BIM), finite-element analysis (CAE) and artificial intelligence techniques (Retrieval-Augmented Generation, RAG; Large Language Model, LLM). Unlike existing rule-based checking systems that require manual coding of each rule, the proposed solution automatically extracts regulatory requirements from documents (SP, GOST, SanPiN), converts them into vector embeddings and uses an LLM to generate check rules. A modular

architecture comprising five independent modules – NormaParser, BIMChecker, CalcValidator, CodeAdvisor and CostEstimator – is developed. The system is tested on a finite-element model of the multifunctional residential complex “Astra” (109 662 elements). Project digital cases are created for checking column reinforcement, pile bearing capacity, escape routes and geometric constraints. Economic efficiency is confirmed: 40–60 % reduction in code-review time, 60 % reduction in errors, pay-back period ≤18 months. Three implementation certificates from design organisations have been obtained.

Keywords: BIM, RAG, LLM, automated compliance checking, high-rise building, regulatory requirements, semantic search, import substitution.

Введение

В условиях цифровой трансформации строительной отрасли Российской Федерации одной из ключевых задач является повышение качества и надежности проектных решений на ранних стадиях инвестиционно-строительного цикла. Большинство критических ошибок закладывается на предпроектной и проектной стадиях, когда их исправление требует минимальных затрат; на строительной площадке стоимость устранения ошибок возрастает в десятки раз, а на этапе готового объекта многие недочеты становятся неустраняемыми без серьезной реконструкции. Высотные здания отличаются высокой сложностью конструктивных и технологических решений, плотной насыщенностью инженерными системами и жесткими требованиями к безопасности. Традиционный ручной контроль становится неэффективным - эксперт не способен одновременно оперировать постоянно обновляющимся массивом нормативных документов СП, ГОСТ, СанПиН и др. и проверять их соблюдение в каждом элементе сложной цифровой модели [1].

Зарубежный опыт демонстрирует, что ключевыми факторами успешной автоматизации являются: государственное требование использования BIM для государственных проектов, финансовая поддержка организаций, перевод нормативов в машиночитаемые форматы и создание единых цифровых платформ, например, CORENET [2–4]. Российская практика, несмотря на стратегические инициативы, сталкивается с системными барьерами: низкая заинтересованность предприятий,

дефицит кадров, проблемы семантической совместимости ПО и высокая стоимость лицензий [5].

Существующие системы автоматизированного контроля, например, Solibri Model Checker ориентированы на ручное программирование проверочных правил, что трудоемко и не позволяет оперативно адаптироваться к изменениям нормативной базы. Поэтому разработка концепции цифровой платформы, способной автоматически извлекать и интерпретировать нормативные требования, является актуальной научно-технической задачей.

Цель работы – разработка концепции цифровой платформы для автоматизированной проверки соответствия конструктивно-технологических решений высотных зданий действующим нормативным требованиям на предпроектной и проектной стадиях.

Для достижения цели решены следующие задачи:

- анализ отечественного и зарубежного опыта автоматизации контроля;
- разработка архитектуры платформы на основе RAG и LLM;
- создание программных модулей и их интеграция с BIM/CAE;
- апробация на примере конечно-элементной модели высотного здания;
- формирование цифровых кейсов и оценка экономической эффективности.

Методы

Платформа «ТИМ Инспектор» построена по модульному принципу и включает следующие компоненты (рис. 1):

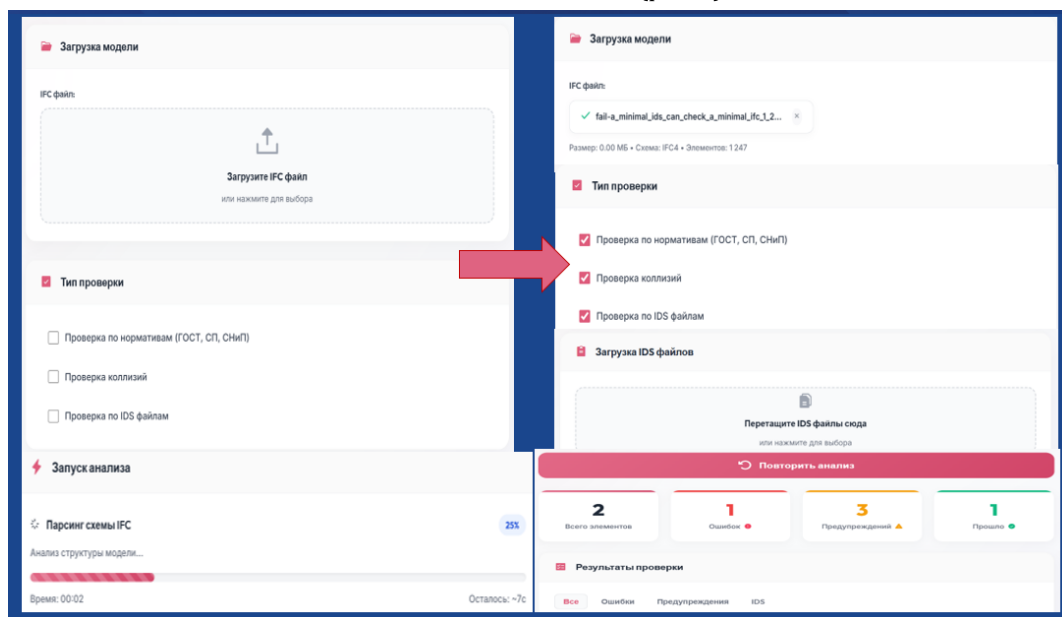


Рис. 1. Архитектура цифрового модуля «ТИМ инспектор», утилиты «запуск проекта», «загрузка исходных данных» и «запуск анализа» (иллюстрация авторов)

Fig. 1. Architecture of the digital module "TIM Inspector", utilities "Run project", "Load input data" and "Run analysis" (illustration by the authors)

1. *NormaParser* – автоматическая формализация нормативных документов. Модуль извлекает текст из PDF, DOCX, TXT, очищает его и разбивает на смысловые фрагменты - чанки с перекрытием. Для каждого чанка с помощью модели «multilingual-e5-large» формируется векторное представление - эмбединг. Индекс хранится в FAISS для быстрого семантического поиска.

2. *ТИМинспектор* – интеграция с ТИМ-средами через IFC (версия 4.3) или прямой плагин для Revit API. Модуль извлекает параметры элементов - геометрия, материалы, нагрузки и передает их на проверку.

3. *CalcValidator* – верификация результатов конечно-элементных расчетов в SCAD, MIDAS GTS NX,

ЛИРА-САПР. Сравнивает полученные напряжения и усилия с предельными значениями по нормам.

4. *CodeAdvisor* – генерация рекомендаций по устранению несоответствий на основе LLM и базы проектных кейсов.

Принцип работы цифрового модуля состоит в том, что пользователь загружает IFC-файл или фрагмент модел (через веб-интерфейс. RAG-система преобразует параметры элемента в текстовый запрос, находит в векторной базе релевантные нормативные фрагменты и подает их в LLM для генерации проверочного правила в формате JSON. Правило выполняется; при нарушении формируется отчет с рекомендацией, а проблемные элементы подсвечиваются в Revit через BCF-формат (рис. 2).

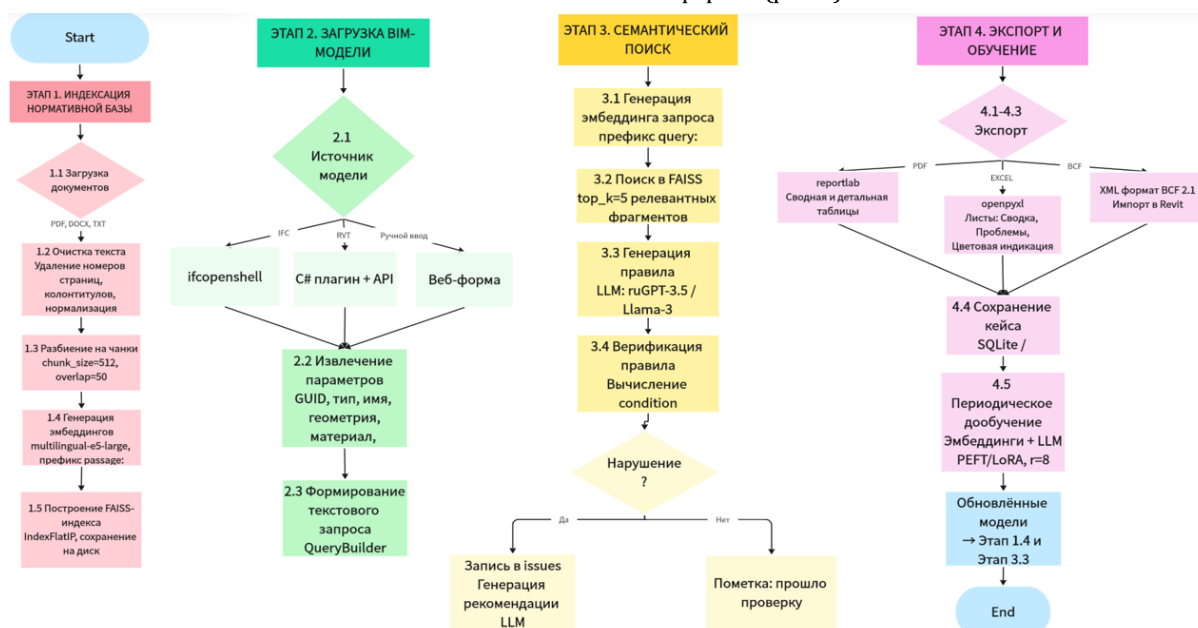


Рис. 2. Структура программного модуля (иллюстрация авторов)
Fig. 2. Structure of the software module (illustration by the authors)

Объект исследования – многофункциональный жилой комплекс «Astra» переменной этажности 21–25 этажей с подземной парковкой. Конструктивная система – каркасно-ствольная из монолитного железобетона. В ПК SCAD построена конечно-элементная модель, содержащая 109 662 элемента и 104 185 узлов (рис. 3). Анализ сходимости сетки показал расхождение менее 2,4 % по напряжениям и 1,8 % по перемещениям, что подтверждает достаточность дискретизации. В ПК MIDAS GTS NX создана модель «основание – фундамент – здание» с разделением грунтового массива на слои и заданной стадийности строительства. Определена несущая способность свай: 450 кН по грунту, 380 кН по материалу.

Разработаны четыре типовых сценария автоматической проверки (рис. 4):

1. Армирование колонн – процент армирования $\mu = 0,785$ %, норма 0,5–3 % – соответствует.

2. Несущая способность свай – запас 18,4 % – соответствует.

3. Эвакуационные пути – длина коридора 32 м при норме 25 м – несоответствие.

4. Отступ от красной линии – 4,8 м при норме 5 м – несоответствие.

Время выполнения каждого кейса не превышает 5 секунд, что в десятки раз быстрее ручного контроля.

Результаты и обсуждение

Платформа реализована на Python 3.10 с использованием библиотек sentence-transformers, FAISS, Flask, ifcopenshell. Для Revit разработан плагин на C#. Проверка фрагмента модели до 10 000 элементов в интерактивном режиме выполняется за <5 с; пакетная проверка всей модели – за 10–12 минут.

Для типовой проектной организации 50–100 проектировщиков годовая экономия составляет около 7,7 млн руб. за счет:

- сокращения времени нормоконтроля на 40–60 %;
- снижения количества ошибок на 60 %;
- уменьшения итераций согласований.

Изополю перемещений системы "высотное здание – свайно-плитный фундамент – грунтовое основание"
 Изополю результирующих перемещений по оси X системы "высотное здание – свайно-плитный фундамент – грунтовое основание" с $\Delta t_{max}=+2.72e-003$ м и $\Delta t_{min}=-2.73e-003$ м;
 Изополю результирующих перемещений по оси Y системы "высотное здание – свайно-плитный фундамент – грунтовое основание" с $\Delta t_{max}=+1.34e-003$ м и $\Delta t_{min}=-1.92e-003$ м

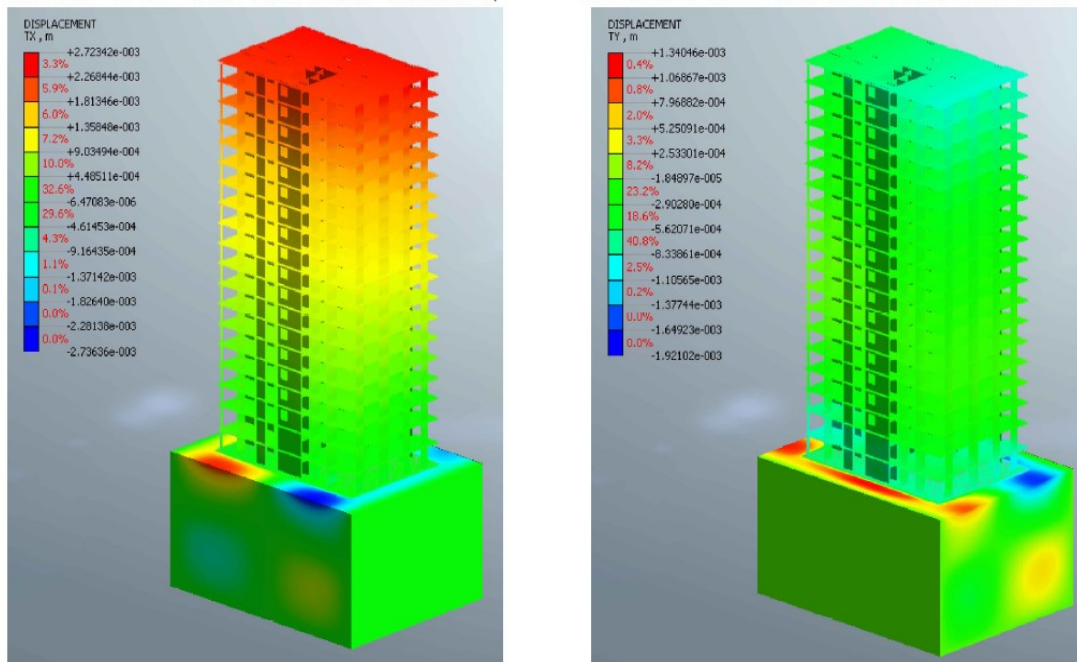


Рис. 3. Результаты численного моделирования (иллюстрации авторов)
 Fig. 3. Results of numerical simulation (authors' illustrations)

<p>КЕЙС №1</p> <p>Каркасно-столбовая система из монолитного железобетона $\mu = 0,785\%$ – норма</p>	<p>КЕЙС №2</p> <p>Проверка несущей способности свай запас 18,4%</p>	<p>КЕЙС №3</p> <p>Проверка эвакуационных путей выявлен коридор 32 м – несоответствие</p>	<p>КЕЙС №4</p> <p>Контроль отступов от красной линии 4,8 м – несоответствие</p>
--	--	---	--

Рис. 4. Разработанные цифровые кейсы для проверки в цифровом модуле (иллюстрации авторов)
 Fig. 4. Developed digital cases for verification in the digital module (illustrations by the authors)

Таблица 1

Бюджет первого года

N п/п	Этап	Сумма, руб.
1	2	3
2	Разработка промышленной версии	12 300 000
3	Оборудование и инфраструктура	1 800 000
4	Внедрение в организации	1 000 000
5	Эксплуатация за первый год (12 мес.)	1 200 000
6	ИТОГО (первый год)	16 300 000

Бюджет первого года реализации, включающий разработку, оборудование и внедрение – 16,3 млн руб. Ежегодные эксплуатационные расходы – 1,2 млн руб.

Срок окупаемости при учете предотвращенных рисков – 3-4 года, дисконтированный – 3,5 года.

Оценка затрат и экономии

№ п/п	Статья затрат/экономии	Методика расчета	Ориентировочное значение
1	2	3	4
1	Капитальные затраты	Разработка платформы, закупка серверного оборудования, лицензии на вспомогательное ПО	2,5–3,5 млн руб.
2	Текущие расходы	Обслуживание, обновление нормативной базы, хостинг, поддержка пользователей	0,5 - 0,8 млн руб./год
3	Экономия трудозатрат нормоконтроля	Снижение времени на проверку на 40–60 % при средней зарплате нормоконтролера (≈ 1,2 млн руб./год на одного специалиста). Для организации с 2 штатными нормоконтролерами экономия составляет 0,96–1,44 млн руб./год	1,2 млн руб./год
4	Экономия от предотвращения ошибок	Снижение количества ошибок на 60%. По данным ФАУ «Главгосэкспертиза», средняя стоимость исправления ошибки, выявленной на строительной площадке, в 15–20 раз выше, чем на стадии проекта. Оценка – 0,8–1,2 млн руб./год	1,2 млн руб./год
5	Сокращение итераций согласований	Ускорение выпуска документации, уменьшение числа возвратов на доработку – экономия времени проектировщиков (~0,5–1,0 млн руб./год)	1,0 млн руб./год
6	Итого годовая экономия	Сумма вышеперечисленного	≈ 7,7 млн руб./год

Результаты работы приняты к внедрению в трех организациях: ООО «Астраханьархпроект», ПОСП «Национальные инвестиции» и АО «ЦНИИ-Промзданий». Опубликованы три статьи по теме. Платформа «ТИМ Инспектор» является полностью отечественным решением, ориентированным на российские СП, и может служить заменой импортных аналогов. Проект является ПРИЗЕРОМ (второе место) Всероссийского инженерного конкурса выпускных квалификационных работ ВИК ВКР 2026г. по направлению «СТРОИТЕЛЬСТВО».

В отличие от Solibri Model Checker и других rule-based систем, наша платформа не требует ручного программирования правил – правила генерируются автоматически на основе семантического анализа нормативных документов. Это снижает трудозатраты на настройку, позволяет адаптироваться к изменениям норм и обрабатывать контекстно-зависимые требования.

Заключение

В работе разработана концепция цифровой платформы для автоматизированной проверки соответствия конструктивно-технологических решений высотных зданий нормативным требованиям на основе интеграции ТИМ и RAG-LLM. Основные результаты:

1. Создана модульная архитектура, включающая пять модулей, обеспечивающих полный цикл контроля – от формализации норм до генерации рекомендаций и стоимостной оценки.

2. Реализован программный прототип, верифицированный на модели высотного здания «Astra» - 109 662 элемента.

3. Сформированы цифровые кейсы, демонстрирующие автоматическую проверку армирования, несущей способности, эвакуационных путей и геометрических ограничений.

4. Экономическая эффективность подтверждена: снижение времени нормоконтроля на 40–60 %, ошибок – на 60 %, срок окупаемости – 3–4 года.

5. Получены три акта о внедрении, что подтверждает практическую значимость работы.

Научная новизна заключается в интеграции ТИМ и САЕ с RAG и LLM для автоматической генерации проверочных правил из нормативных документов без ручного программирования, а также в создании проектных цифровых кейсов, объединяющих несколько программных комплексов.

Практическая значимость – предложенная платформа может быть использована проектными организациями для повышения качества внутреннего нормоконтроля, а также как основа для импортозамещения зарубежных систем автоматизированной проверки.

Благодарности

Авторы выражают благодарность сотрудникам АО «ЦНИИПромзданий», ООО «Астраханьархпроект» и ПОСП «Национальные инвестиции» за содействие в проведении апробации и предоставление актов о внедрении.

Список литературы

1. Дронов Д.С., Киметова Н.Р., Ткаченко В.П. Проблемы внедрения BIM-технологий в России // Синергия Наук. – 2017. – № 10. – С. 529–549.
2. Орлова Я.А. Анализ зарубежного опыта внедрения BIM-технологий в строительную отрасль // Материалы XXIII научно-практической конференции молодых ученых. – Саранск, 2019. – С. 408–413.
3. Пурс Г.А. Опыт Великобритании в области внедрения BIM-технологии в строительстве // БСТ: бюллетень строительной техники. – 2017. – № 9. – С. 20–23.
4. Бутова О.А., Божик А.С., Шевцов А.В. Применение BIM-технологий в строительстве: отечественный и мировой опыт // Вестник МФЮА. – 2020. – № 2. – С. 84–90.



5. Яскевич В., Куспангаев Б., Ходжиков А. Анализ национального опыта внедрения BIM // Проект Байкал. – 2023. – Т. 20, № 75. – С. 105–111.
6. Купчикова Н.В., Сычков А.Н. Результаты численного анализа системы «здание – свайный фундамент – грунтовое основание» с помощью MIDAS GTS NX // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2021. – № 1(35). – С. 19–24.
7. Золина Т.В., Купчикова Н.В. Цифровые кейсы как инструмент цифровой трансформации проектной деятельности // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2023. – № 4(46). – С. 86–91.
8. Курбатов В.Л., Римшин В.И., Шубин И.Л., Волкова С.В. Информационное моделирование и искусственный интеллект в современном строительстве. – М.: АСВ, 2023. – 420 с.
9. Eastman C., Lee J., Jeong Y., Lee J. Automatic rule-based checking of building designs // Automation in Construction. – 2009. – Vol. 18, Iss. 8. – P. 1011–1021.
10. Nawari N.O. Building Information Modeling: Automated Code Checking and Compliance Processes. – CRC Press, 2018.
11. Zhang J., El-Gohary N. Semantic NLP-Based Information Extraction from Construction Regulatory Documents for Automated Compliance Checking // Journal of Computing in Civil Engineering. – 2016. – Vol. 30, Iss. 2.
12. Lewis P., Perez E., Piktus A., et al. Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks // Advances in Neural Information Processing Systems. – 2020. – Vol. 33. – P. 9459–9474.
13. Купчикова Н.В., Таркин А.С., Купчиков Е.Е. Концепция управления экспертизой геоподосновы, оснований и фундаментов на всех стадиях жизненного цикла // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2022. – № 1(39). – С. 101–104.
14. Федоров В.С., Золина Т.В., Купчикова Н.В., Реснянская А.С. Конструктивная пожарная инженерия в управлении стадией проектирования высотного здания // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2022. – № 3(41). – С. 141–144.
15. Золина Т.В., Купчикова Н.В., Джантазаева К.Е., Купчиков Е.Е. Цифровизация предпроектной и проектной стадий в реализации инвестиционно-строительного проекта // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2022. – № 3(41). – С. 144–148.
16. Купчикова Н.В., Золина Т.В., Джантазаева К.Е., Купчиков Е.Е. Цифровизация процессов стадии строительства в реализации инвестиционно-строительного проекта // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2022. – № 4(42). – С. 71–80.
17. Zimatkina A.A., Mishina A.E., Sultanbekova A.V. Investigation of the impact of digitalization on reducing economic risks in construction projects // Экономика и предпринимательство. – 2024. – № 5(166). – С. 920–922.
18. Ali A.M.A., Makarova E.L. Features of project management research: Comparative case study of construction and engineering projects in Iraq and Russia // Management in Economic and Social Systems. – 2023. – № 2(16). – С. 20–26.
19. Швецов Е.В., Сухоруков И.А. Цифровое моделирование проектов и бизнес-процессов инвестиционно-строительной деятельности // Управленческий учет. – 2024. – № 12. – С. 235–240.
20. Купчикова Н.В. Численное моделирование насыпей транспортных сооружений с учетом слабого подстилающего слоя // Московский транспорт. Наука и проектирование. – 2025. – №1(1) – С.43-54
21. Шейна С.Г., Чернявский И.А. История и международный опыт применения BIM-технологий в строительстве // Экспертиза и управление недвижимостью: информационное моделирование, энергосбережение, зеленые технологии. – Ростов-на-Дону, 2022. – С. 4–12.
22. Вербов А.В., Каретникова С.В. Зарубежный опыт применения BIM-технологий // Новые технологии в учебном процессе и производстве. – Рязань, 2019. – С. 123–127.
23. Передереев М.А., Кагарманов И.Р., Рубанов А.А., Прихода В.А. Цифровизация в строительстве: BIM-технологии и их влияние на проектирование и строительство // Современная механика в цифровую эпоху. – Оренбург, 2025. – С. 243–249.
24. Соловьева Е.В., Совков В.И. BIM-технологии в строительстве: Solibri model checker // Экологические, инженерно-экономические, правовые и управленческие аспекты развития строительства и транспортной инфраструктуры. – Краснодар, 2017. – С. 272–275.
25. Купчикова Н.В., Баталов М.А. «Ледяное сердце» с масштабированием в регионы Российской Федерации // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2024. – № 1(47). – С. 32–37.

References

1. Dronov D.S., Kimetova N.R., Tkachenkova V.P. Problems of Implementing BIM Technologies in Russia // Synergy of Sciences. - 2017. - No. 10. - P. 529-549.
2. Orlova Ya.A. Analysis of Foreign Experience in Implementing BIM Technologies in the Construction Industry // Proceedings of the XXIII Scientific and Practical Conference of Young Scientists. - Saransk, 2019. - P. 408-413.
3. Purs G.A. Experience of Great Britain in Implementing BIM Technologies in Construction // BST: Bulletin of Construction Equipment. - 2017. - No. 9. - P. 20-23.
4. Burova O.A., Bozhik A.S., Shevtsov A.V. Application of BIM technologies in construction: domestic and international experience // Bulletin of the Moscow University of Finance and Law. - 2020. - No. 2. - Pp. 84-90.
5. Yaskevich V., Kuspangaliev B., Khodzhikov A. Analysis of national experience in BIM implementation // Project Baikal. - 2023. - Vol. 20, No. 75. - Pp. 105-111.
6. Kupchikova N.V., Sychkov A.N. Results of numerical analysis of the "building - pile foundation - soil base" system using MIDAS GTS NX // Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region. - 2021. - No. 1 (35). - Pp. 19-24.
7. Zolina T.V., Kupchikova N.V. Digital Cases as a Tool for Digital Transformation of Project Activities // Caspian Engineering and Construction Bulletin. – 2023. – No. 4(46). – P. 86–91.
8. Kurbatov V.L., Rimshin V.I., Shubin I.L., Volkova S.V. Information Modeling and Artificial Intelligence in Modern Construction. – Moscow: ASV, 2023. – 420 p.
9. Eastman C., Lee J., Jeong Y., Lee J. Automatic Rule-Based Checking of Building Designs // Automation in Construction. – 2009. – Vol. 18, Iss. 8. – P. 1011–1021.
10. Nawari N.O. Building Information Modeling: Automated Code Checking and Compliance Processes. – CRC Press, 2018.

11. Zhang J., El-Gohary N. Semantic NLP-Based Information Extraction from Construction Regulatory Documents for Automated Compliance Checking // Journal of Computing in Civil Engineering. – 2016. – Vol. 30, Iss. 2.
12. Lewis P., Perez E., Piktus A., et al. Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks // Advances in Neural Information Processing Systems. – 2020. – Vol. 33. – P. 9459–9474.
13. Kupchikova N.V., Tarkin A.S., Kupchikov E.E. Concept of managing the examination of the geodetic base, bases, and foundations at all stages of the life cycle // Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region. – 2022. – No. 1(39). – P. 101–104.
14. Fedorov V.S., Zolina T.V., Kupchikova N.V., Resnyanskaya A.S. Structural fire engineering in managing the design stage of a high-rise building // Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region. – 2022. – No. 3(41). – P. 141–144.
15. Zolina T.V., Kupchikova N.V., Dzhantazaeva K.E., Kupchikov E.E. Digitalization of the pre-design and design stages in the implementation of an investment and construction project // Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region. – 2022. – No. 3(41). – P. 144–148.
16. Kupchikova N.V., Zolina T.V., Dzhantazaeva K.E., Kupchikov E.E. Digitalization of construction stage processes in the implementation of an investment and construction project // Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region. – 2022. – No. 4 (42). – P. 71–80.
17. Zimatkina A.A., Mishina A.E., Sultanbekova A.V. Investigation of the impact of digitalization on reducing economic risks in construction projects // Economy and Entrepreneurship. – 2024. – No. 5 (166). – P. 920–922.
18. Ali A.M.A., Makarova E.L. Features of project management research: Comparative case study of construction and engineering projects in Iraq and Russia // Management in Economic and Social Systems. – 2023. – No. 2(16). – P. 20–26.
19. Shvetsov E.V., Sukhorukov I.A. Digital modeling of projects and business processes in investment and construction activities // Management accounting. – 2024. – No. 12. – P. 235–240.
20. Kupchikova N.V. Numerical modeling of embankments of transport structures taking into account a weak underlying layer // Moscow transport. Science and design. – 2025. – No. 1(1) – P. 43–54
21. Sheina S.G., Chernyavsky I.A. History and international experience of using BIM technologies in construction // Real estate examination and management: information modeling, energy saving, green technologies. – Rostov-on-Don, 2022. – P. 4–12.
22. Verbov A.V., Karetnikova S.V. Foreign experience in applying BIM technologies // New technologies in the educational process and production. – Ryazan, 2019. – Pp. 123–127.
23. Peredereev M.A., Kagarmenov I.R., Rubanov A.A., Prikhoda V.A. Digitalization in construction: BIM technologies and their impact on design and construction // Modern mechanics in the digital age. – Orenburg, 2025. – Pp. 243–249.
24. Solovieva E.V., Sovkov V.I. BIM technologies in construction: Solibri model checker // Environmental, engineering, economic, legal and managerial aspects of construction and transport infrastructure development. – Krasnodar, 2017. – Pp. 272–275.
25. Kupchikova N.V., Batalov M.A. “Ice Heart” with scaling to the regions of the Russian Federation // Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region. – 2024. – No. 1 (47). – P. 32–37.

© Н. В. Купчикова, А. И. Сухорукова, Т. В. Золина

Ссылка для цитирования:

Купчикова Н. В., Сухорукова А. И., Золина Т. В. Автоматизация проверки соответствия конструктивно-технологических решений высотного здания нормативным требованиям на основе интеграции ТИМ и RAG-LLM // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2026. № 2 (56). С. 125–131.

УДК 519.6
DOI 10.52684/2312-3702-2026-56-2-131-138

**РАСЧЕТ ПРОВЕРКИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ УСТРОЙСТВА ОЧИСТКИ ЖИДКОСТИ
И ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО РАЗМЕРА ОТВОДНОГО И ЩЕЛЕВОГО КАНАЛОВ
ПО КРИТЕРИЮ ПЛОЩАДИ И ОБЪЕМА ЧАСТИЦ ЗАГРЯЗНЕНИЯ**

В. В. Терехов

Терехов Владимир Валерьевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий 105 кафедрой, Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков имени Героя Советского Союза А. К. Серова, г. Краснодар, Российская Федерация, тел.: + 7 (961) 534-73-73; e-mail: gx6dx@mail.ru

Актуальность исследования обусловлена проблемой очистки воды от механических примесей – традиционной научной и инженерной задачей, которая в двадцатом веке получила достаточно глубокое теоретическое обоснование и широкое практическое применение. Цель статьи – провести расчет основных характеристик устройства при заданных параметрах для проверки работоспособности устройства очистки жидкости и выбора оптимального размера отводного и щелевого каналов по критерию площади и объема частиц загрязнения. Для расчета использовался разработанный алгоритм программы для ЭВМ. Результатом проведенных расчетов являются номограммы определения максимальной площади и объема частиц загрязнения, попадающих в отводной канал устройства очистки. Научная новизна исследования заключается в решении задачи оптимизации конструкции УО за счет минимизации размеров отводного и щелевого каналов, алгоритмом многопараметрической оптимизации методом сканирования с постоянным шагом.

Ключевые слова: оптимизация, система, расчет, устройство очистки, спираль Архимеда, отводной канал, щелевой канал, критерии оптимизации, частицы загрязнения, вычислительный алгоритм, графики зависимости, номограмма.