

ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЗАДАЧАХ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ

Материалы IX Международной научно-практической конференции

Proceedings of IX International Conference

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет

ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЗАДАЧАХ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ

Материалы IX Международной
научно-практической конференции

BIM IN CONSTRUCTION & ARCHITECTURE

Proceedings of IX International Conference

Санкт-Петербург
2026

УДК 69+004.9

Рецензенты:

д-р техн. наук, профессор, советник РААСН, академик РИА, заведующий кафедрой организации производства и городского хозяйства *Л. А. Опарина* (Ивановский государственный политехнический университет, г. Иваново);

канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Проектирование и строительство объектов нефтяной и газовой промышленности» *М. Э. Дусалимов* (Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа)

Информационное моделирование в задачах строительства и архитектуры : Материалы IX Международной научно-практической конференции / под общ. ред. А. А. Семенова ; Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. – Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2026. – 235 с. – Текст : непосредственный.

ISBN 978-5-9227-1505-8

DOI: 10.23968/BIMAC.2026

Представлены статьи участников IX Международной научно-практической конференции «Информационное моделирование в задачах строительства и архитектуры» (BIMAC 2026), проходившей в Санкт-Петербургском государственном архитектурно-строительном университете в 2026 году.

Авторами сделан обзор современных достижений и представлены результаты, полученные в области развития концепции ТИМ (BIM); информационного моделирования архитектурных решений, инженерных систем, линейных объектов; организации строительства и эксплуатации объектов строительства с применением ТИМ (BIM). Также рассматривается внедрение ТИМ в проектных организациях; современное программное обеспечение для ТИМ; программирование (автоматизация работы) в ТИМ-ПО; импортозамещение ПО; взаимодействие ТИМ и ГИС; технологии искусственного интеллекта в задачах строительства и архитектуры.

Печатается по решению Научно-технического совета СПбГАСУ

Редакционная коллегия:
д-р техн. наук, доцент *А. А. Семенов* (председатель),
д-р техн. наук, доцент *А. М. Наместников*,
канд. техн. наук, доцент *С. В. Бовтеев*,
канд. техн. наук *А. А. Ведерникова*,
канд. техн. наук, доцент *Г. Б. Захарова*,
канд. техн. наук *Ю. Н. Згода*,
канд. техн. наук *Н. В. Козак*,
канд. архит. *О. А. Песляк*,
канд. экон. наук *А. А. Скидан*,
канд. техн. наук, доцент *И. И. Суханова*,
Д. В. Нижегородцев,
Н. В. Самопал

ISBN 978-5-9227-1505-8

© Коллектив авторов, 2026
© Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2026
© Дизайн обложки Евсиков И. А.

UDC 69.05:004.942
DOI: 10.23968/BIMAC.2026.001

Hazrat Umar, Master's degree student
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)
E-mail: hazratumar.nasari@gmail.com, ORCID: 0009-0008-1655-9331
Ahmed Anas, Master's degree student
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)
E-mail: anas4200082@gmail.com, ORCID: 0009-0000-9466-8973
Romanovich Marina Aleksandrovna, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)
E-mail: romanovich_ma@spbstu.ru, ORCID: 0000-0003-1608-2883

CHALLENGES, BENEFITS AND FUTURE PROSPECTS OF 4D BIM IMPLEMENTATION IN PAKISTAN'S CONSTRUCTION SECTOR

This study examines the adoption and effectiveness of 4D Building Information Modeling (BIM) in space-constrained construction projects in Pakistan. Based on a survey of 102 industry professionals, the findings indicate moderate BIM adoption with benefits including improved clash detection, better scheduling, and enhanced project coordination. However, barriers such as high software costs, limited skilled professionals, and integration challenges restrict wider implementation. The study highlights the potential of 4D BIM to improve construction project performance and emphasizes the need for greater training, technological investment, and policy support to accelerate digital transformation in Pakistan's construction industry.

Keywords: Building Information Modeling, 4D BIM, Construction Industry, Construction Technologies, Barriers to BIM.

Building information modeling (BIM) has been a major advancement in the construction industry across the globe, as it seeks to enhance the efficiency of projects, teamwork and lifecycle management of projects [1, 2]. Spatio-temporal component of 4D BIM, which provides the ability to integrate 3D models with time schedules using such tools as Primavera P6, Revit and Synchro 4D, has proved to be a potent tool in detecting clashes, workspace optimization and the process of dynamic sequencing [3–5]. Nevertheless, in Pakistan, the developing market with acute urbanization, serious site-space constraints, numerous delays, and cost overruns, the level of BIM introduction is extremely low, and the general implementation and the use of 4D, in particular, are virtually nonexistent [6, 7]. High software prices, acute lack of competent specialists, inadequate regulatory conditions, and

resistance to change remain also the key obstacles on the way to the further development of 4D capabilities [8]. Although 4D BIM has gained increasing popularity as a potential among developers and architects, the current literature does not pay significant attention to its application, integration issues, advantages, and performance effects on space-constrained projects in Pakistan [9, 10]. Such a major gap in research provides a burning necessity to conduct specific empirical data to inform digital transformation in the local industry. Another key gap that the current research aims to fill is survey of 102 senior professionals through a rigorous adoption level, the integration of the tool and perceived benefits and barriers and future perspective. In such a way, it will offer the needed and context-abiding information needed by evidence-based strategies, better site management, and sustainable development of the construction industry in Pakistan.



Fig. 1. Research methodology flowchart of the study

Objective. The objective of this study is to evaluate the adoption, integration, benefits, and barriers of 4D BIM in construction projects in Pakistan based on industry professionals' perspectives.

Respondent Demographics and Professional Background. The demographic results indicate that the survey captured a diverse representation of professionals within the construction industry. The largest group of respondents were involved in site engineering and supervision (28.4 %), followed by planning and scheduling (22.5 %), project management (15.7 %), and BIM management or coordination (15.7 %). Smaller proportions represented design, estimation, surveying, suggesting a broad professional spectrum. In terms of experience, most participants had less than five years of experience (37 %), though a considerable share possessed 5–15 years of industry exposure. Firms were primarily engaged in residential (61.8 %) and commercial projects (58.8 %), with notable involvement in infrastructure and industrial works. Overall, the familiarity results demonstrate a generally strong awareness of BIM, with the majority rating their knowledge at intermediate to advanced levels.

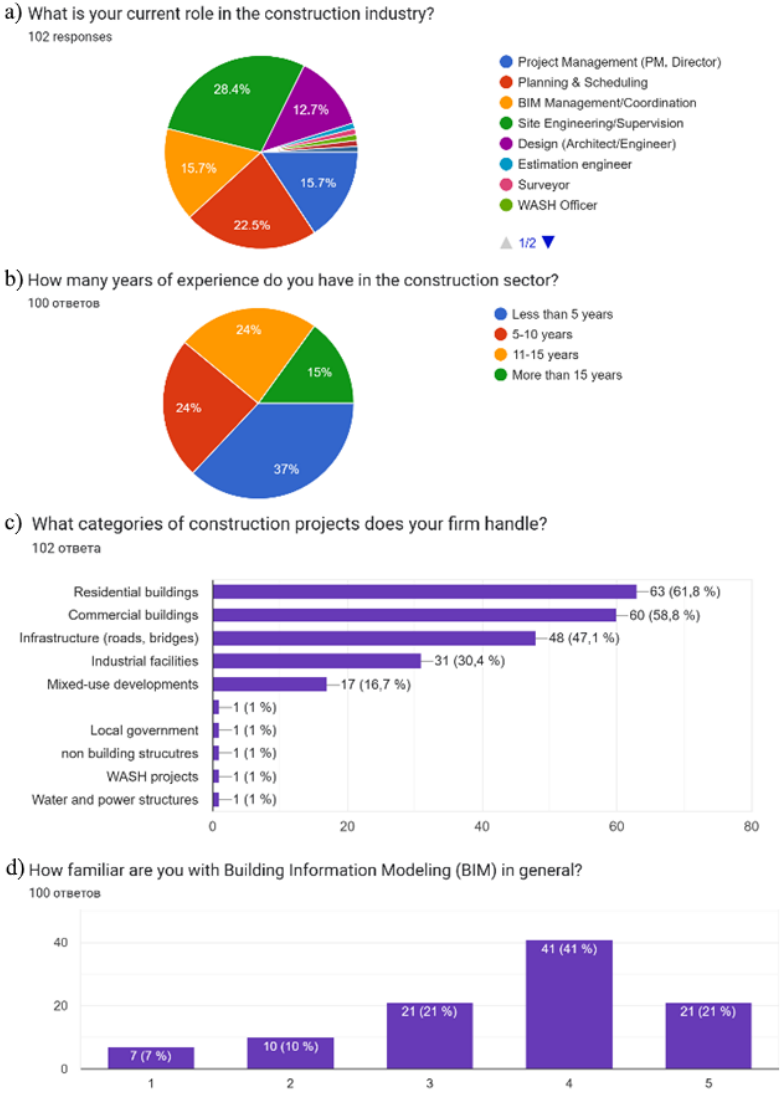


Fig. 2. Overview of respondent demographics, including (*a*) professional roles, (*b*) years of experience, (*c*) project types handled by firms, and (*d*) general familiarity with BIM

BIM Adoption, Maturity Level, and Space Constraint Challenges. The survey results indicate a moderate but growing adoption of Building Information Modeling (BIM) in space-constrained construction projects in Pakistan. Approximately 64.7 % of respondents reported that their organizations have implemented BIM either extensively (20.6 %) or in a few projects (44.1 %), while 21.6 % plan to adopt it in the future. BIM maturity levels also reflect a transitional stage, with the largest share of organizations operating at Level 3 (30.4 %), followed by Level 1 (26.5 %) and Level 2 (20.6 %), while only 11.8 % have reached Level 4 or higher. Additionally, space constraints are a frequent challenge, with 40.2 % experiencing them sometimes and 18.6 % often. These findings suggest that although BIM adoption and maturity are improving, significant opportunities remain for wider implementation and advancement.

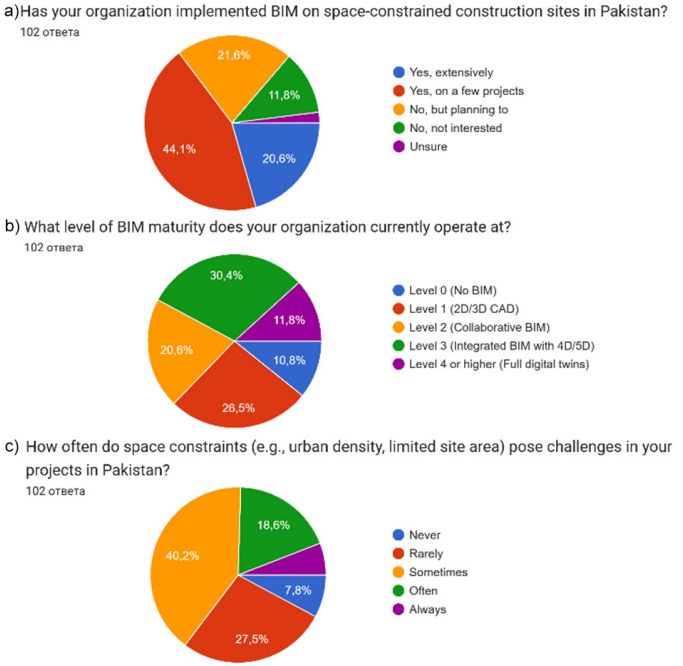


Fig. 3. Analysis of space constraints and 4D BIM adoption in Pakistan, showing (*a*) frequency of space constraints, (*b*) BIM implementation on space-constrained sites, (*c*) barriers to 4D BIM adoption

Integration, Usage, and Effectiveness of 4D BIM Tools. The findings indicate a moderate but still developing integration of BIM tools for scheduling and

clash detection. While 47.1 % of respondents reported integrating Primavera P6 in BIM workflows (fully or partially), a significant portion either has not considered it or relies on alternative scheduling tools such as MS Project. Integration of Revit, P6, and Synchro 4D within a single workflow remains limited, with only a small percentage achieving successful implementation, while many reported issues or have not attempted integration. Compatibility among these tools is perceived as mostly moderate rather than seamless, highlighting existing data exchange challenges. Nevertheless, most respondents rated P6 as reasonably effective for linking schedules with 3D models, indicating its practical value for time-based analysis in space-constrained construction projects.

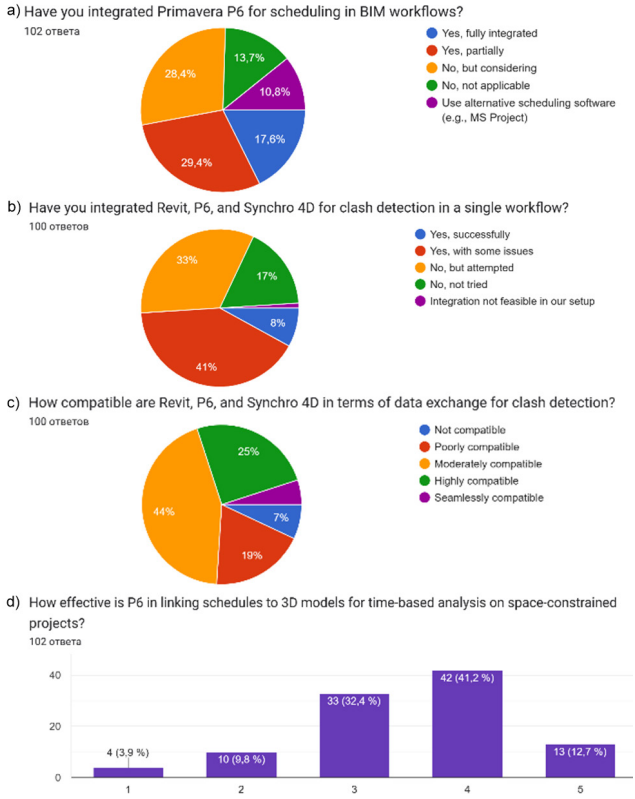


Fig. 4. Integration and effectiveness of Primavera P6, Revit, and Synchro 4D, showing (*a*) P6 integration level, (*b*) tool compatibility, (*c*) clash detection experience, and (*d*) P6 effectiveness for time-based analysis

Perceived Benefits and Project Performance Impacts of 4D BIM. The survey findings highlight the significant perceived benefits of integrating 4D BIM and related tools for managing space-constrained construction projects. A majority of respondents (44.6 %) identified early identification of conflicts as the primary advantage of these tools, followed by improved resource allocation and enhanced stakeholder communication. In terms of financial impact, most professionals estimated cost savings between 11–20 %, indicating moderate but meaningful economic benefits. Regarding project timelines, over half of the respondents (50.5 %) reported that 4D BIM leads to a significant reduction in construction time. However, the results also show that clashes still occur during project execution, with 46.5 % indicating they sometimes remain undetected, emphasizing the need for improved implementation and coordination practices.

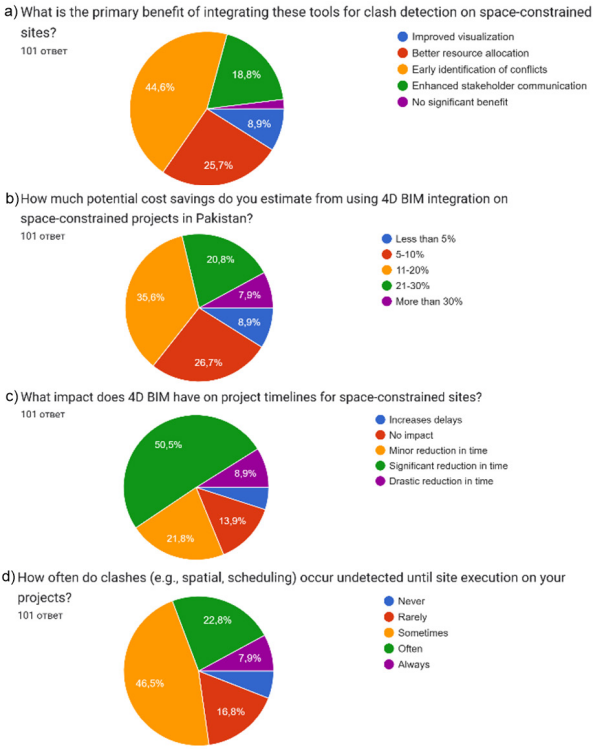


Fig. 5. Benefits and impacts of 4D BIM integration, showing (*a*) primary clash detection benefit, (*b*) estimated cost savings, (*c*) timeline impact, and (*d*) frequency of undetected clashes

Barriers, Enablers, Success Factors, and Future Adoption Outlook. The survey findings highlight several key factors affecting the adoption and implementation of 4D BIM in the Pakistani construction industry. The most significant barrier identified by respondents is resistance to change (56.4 %), followed by a lack of skilled personnel (42.6 %) and high software costs (40.6 %). Regulatory hurdles and inadequate internet infrastructure also present notable challenges. Despite these barriers, perceptions of government support for BIM adoption are generally moderate, with most respondents rating policy support between levels 3 and 4 on a five-point scale. Successful implementation of 4D BIM is strongly associated with adequate budget allocation (55.4 %), increasing client demand (46.5 %), and the availability of necessary software and technological infrastructure. Overall, the majority of professionals indicated a positive outlook toward 4D BIM, with most respondents likely to recommend its use for space-constrained construction projects.

To sum up, this paper has indicated moderate adoption of 4D BIM in the construction industry of Pakistan, especially in space-constrained construction project where Primavera P6 and Revit and Synchro 4D tools are found to have a lot of advantages like improved clash management, cost savings of 5-15 percent and project schedule reduction despite partial integration issues. The obstacles such as high cost of software and shortage of skilled workforce are the main weaknesses, which highlight the need to have better training programs and involvement of the government to help speed up the digital transformation. Altogether, the optimistic forecast as 72.6 % of specialists expect to recommend 4D BIM strategies is a good indication of a possible sustainable growth and efficiency within the industry.

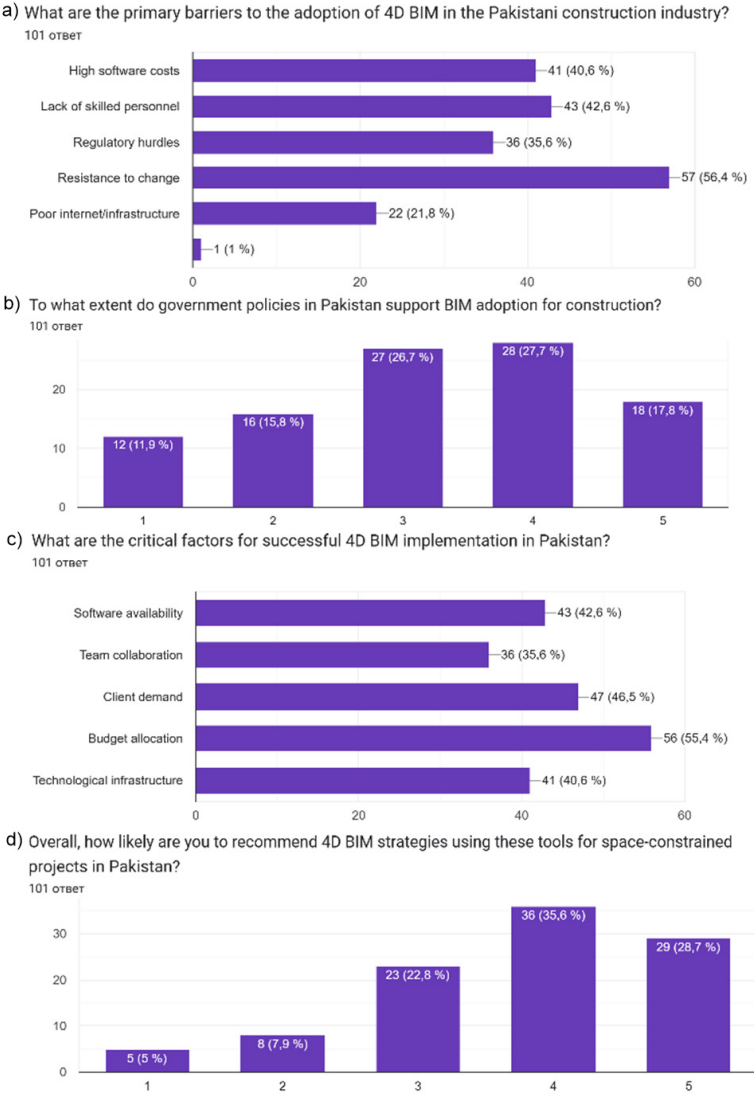


Fig. 6. Barriers, success factors, and outlook for 4D BIM adoption in Pakistan, showing (*a*) primary adoption barriers, (*b*) critical success factors, (*c*) government policy support level, and (*d*) likelihood of recommending 4D BIM strategies

References

1. *Waqar A., Othman I., Saad N., Azab M., Khan A.M.* BIM in green building: Enhancing sustainability in the small construction project // Cleaner Environmental Systems. 2023. Vol . 11. P. 100149. DOI: 10.1016/j.cesys.2023.100149. EDN: PXERPB.

2. *Burgess M., Wilson C., Fan Y.V.* Adoption drivers and barriers of Building Information Modelling (BIM) in Europe // Energy and Buildings. 2026. Vol. 355. P. 116953. DOI: 10.1016/j.enbuild.2026.116953.

3. *Chen Ju., Liu D., Li X.* Extracting water channels from aerial videos based on image-to-BIM registration and spatio-temporal continuity // Automation in Construction. 2021. Vol. 132. P. 103970. DOI: 10.1016/j.autcon.2021.103970. EDN: NNUEBA.

4. *Liu B., Yang B., Zhang B., Dong M., Jiang Sh., Xiao J.* Spatio-temporal deduction of floor construction based on the agent modeling of construction actors // Automation in Construction. 2022. Vol. 142. P. 104487. DOI: 10.1016/j.autcon.2022.104487. EDN: QWYPFG.

5. *Amani N., Amrollahi M.* BIM-based cost optimization through optimum analytic for clash root cause detection in hospital building facilities management // Facilities. 2026. Vol. 44, No. 1–2. P. 1–26. DOI: 10.1108/F-11-2024-0153.

6. *Amaechi Ch. V., Ullah S., Deng X., Beddu S.B., Ja'e I.A., Mohamed D.B., Syamsir A.* Utilising factor analysis on political risks including strategies of managing firm-specific risk factors for multinational construction projects in Pakistan // Engineering, Construction & Architectural Management. 2026. Vol. 33, No. 1. P. 1–27. DOI: 10.1108/ecam-05-2024-0663. EDN: FILDLP.

7. *Zafar I., Yousaf T., Ahmed S.* Evaluation of risk factors causing cost overrun in road projects in terrorism affected areas Pakistan – a case study // KSCE Journal of Civil Engineering. 2016. Vol. 20, No. 5. P. 1613–1620. DOI: 10.1007/s12205-015-0348-6.

8. *Khan A. M., Tariq M. A., Alam Z., Alaloul W.S., Waqar A.* Optimizing energy efficiency through building orientation and building information modelling (BIM) in diverse terrains: A case study in Pakistan // Energy. 2024. Vol. 311. P. 133307. DOI: 10.1016/j.energy.2024.133307. EDN: ANROIL.

9. *Akdag S.G., Maqsood U.* A roadmap for BIM adoption and implementation in developing countries: the Pakistan case // Archnet-IJAR: International Journal of Architectural Research. 2020. Vol. 14, No. 1. P. 112-132. DOI: 10.1108/ARCH-04-2019-0081.

10. *Masood R., Kharal M.K.N., Nasir A.R.* Is BIM Adoption Advantageous for Construction Industry of Pakistan? // Procedia Engineering. 2014. Vol. 77. P. 229-238. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.07.021.

УДК 69.05:004.94
DOI: 10.23968/BIMAC.2026.002

Горин Андрей Андреевич, магистрант
(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)
E-mail: bobowi42015@yandex.ru, ORCID: 0009-0000-9426-9112

Gorin Andrey Andreevich, Master's degree student
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ 4D-МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ КОНТРОЛЕ ИСПОЛНЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТА

GLOBAL EXPERIENCE IN USING 4D MODELING FOR CONSTRUCTION PROJECT EXECUTION CONTROL

В статье рассмотрен мировой опыт применения 4D-моделирования как инструмента мониторинга хода строительства и контроля исполнения проекта. 4D-модель представляет собой связку 3D-модели с календарным графиком выполнения работ, который позволяет визуализировать последовательность строительства и отклонения от плановых сроков выполнения работ. В работе рассматривается международный опыт перехода от локального использования 4D-моделирования к его применению для автоматического строительного мониторинга хода и качества строительства. Также приведены решения, которые позволят существенно повысить объективность контроля, сократить трудозатраты на проведение мониторинга, усилить функции управления рисками и охраной труда, а также частично сделать формирование документации автоматизированным. Выделены ограничения применения технологий, которые могут приводить к ошибкам при проведении контроля, а также отмечено отсутствие унифицированной нормативно-правовой базы.

Ключевые слова: 4D-моделирование, контроль исполнения строительного проекта, мониторинг строительства, BIM-технологии, цифровизация контроля.

This article examines global experience in using 4D modeling as a tool for monitoring construction progress and project execution. The 4D model is a combination of a 3D model and a work schedule, allowing for the visualization of the construction sequence and deviations from planned completion dates. The paper examines international experience in transitioning from local use of 4D modeling to its application for automated construction monitoring of construction progress and quality. Solutions are also presented that can significantly improve the objectivity of monitoring, reduce labor costs for monitoring, enhance risk management and occupational safety, and partially automate documentation generation. Limitations of the technology's use, which can lead to errors during monitoring, are highlighted, as well as the lack of a unified regulatory framework.

Keywords: 4D modeling, construction project execution control, construction monitoring, BIM technologies, digitalization of construction control.

Под контролем исполнения строительного проекта в соответствии с ГОСТ Р 54869 подразумевается проверка соответствия процессов и продукта проекта установленным требованиям. 4D-моделирование рассматривается не только как инструмент визуализации и мониторинга строительства, но и как средство контроля исполнения календарного графика проекта. Применение 4D-модели дополняет традиционные процедуры контроля исполнения строительного проекта инструментами цифрового мониторинга прогресса строительства и анализа фактического выполнения работ.

Анализ работ авторов B. Manzoor, R. Charef, Д. В. Топчий, А. Я. Токарского, S. Rui, K. Makanae показал смещение фокуса исследований от локального применения 4D-моделирования на стадии проектирования к его использованию для мониторинга хода строительства, контроля исполнения проекта и обеспечения безопасности строительных процессов [1–3].

Исследования, посвященные интеграции 4D-моделей с технологиями SLAM (Simultaneous Localization and Mapping), iMMS (indoor Mobile Mapping Systems), LiDAR-сенсорами (Light Detection and Ranging), демонстрируют возможность автоматизированного получения и отслеживания данных о положении возводимых объектов. Использование данных технологий позволяет формировать пространственные модели объекта и сопоставлять их с проектными данными, обеспечивая мониторинг хода строительства [4–6].

Анализ современных исследований [7, 8] показал, что при общей технической готовности внедрения 4D-моделирования для мониторинга хода строительства ключевыми барьерами остаются: отсутствие общей нормы применения 4D-мониторинга, низкая цифровая зрелость партнеров и нехватка специалистов.

Цель исследования – обобщить и критически оценить международный опыт использования 4D-моделирования при контроле исполнения строительного проекта, чтобы выявить наиболее эффективные технологические решения, обеспечивающие повышение точности и надежности контроля хода строительства.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Провести критический анализ научных разработок в области применения 4D-моделирования.

2. Выявить и систематизировать возможности и ограничения интеграции 4D-моделирования.

Критический анализ современных программных решений для управления строительными процессами, таких как SYNCHRO Pro и 7D Modeler, показывает, что интеграция 4D-моделирования с информационной моделью возводимых элементов повышает эффективности контроля за счет сокращения трудозатрат и объективности оценки прогресса строительства [5, 9, 10].

Базовый уровень применения 4D-моделирования для контроля исполнения строительного проекта трактуется как внедрение трехмерной модели

и календарно-сетевого плана строительства, что обеспечивает визуализацию строительного процесса, на основании которой можно выявить и предотвратить пространственные и временные коллизии. В работах A. El Masry, C. Diana и A. Mannino отмечается, что без увязки 4D-модели с фактическими данными с стройплощадки ее потенциал в части контроля остается нереализованным [5, 8].

Наиболее развитой областью применения технологий информационного моделирования является метод «point-to-plane distance estimation», то есть оценка расстояния точка-плоскость. Распространенным решением является интеграция 3D-облака точек с IFC-моделью (Industry Foundation Classes), которая может автоматизировать контроль хода строительства. Анализ элементов модели формирует перечень завершенных и незавершенных объектов [6, 10].

Отдельную нишу в цифровизации контроля строительного процесса заняли эффективные RGB-D сенсоры (Red Green Blue – Depth), такие как Microsofr Kinect v2, Xtion Pro Live, Structure Sensor. В работе Z. Pucko и N. Šuman предложен метод ACPM (Automated Construction Progress Monitoring), основанный на использовании строительных касок с интегрированными RGB-D камерами. Данный подход обеспечивает автоматическое формирование частичных облаков точек в зонах выполнения работ [11].

Рассматривая исследования стран (Китай, Швеция, США), представленные в работах зарубежных авторов, было выявлено, что внедрение 4D-моделирования в процессы мониторинга хода строительства зависит от ряда факторов [12]:

1. Наличие особых регуляторных требований;
2. Уровень BIM-зрелости организации;
3. Распределение ролей между участниками проекта.

В работе С. М. Анпиловой, анализирующей эволюцию строительного контроля на территории Российской Федерации, отмечается несоответствие между потенциальными возможностями 4D-технологий и консервативными процедурами контроля, ориентированными на журналы, акты освидетельствования скрытых работ и выборочные инструментальные проверки [13].

По состоянию на 2025 год российские разработчики пробуют адаптировать указанные технологические тренды (Point-to-plane distance, SLAM-технологий, IoT-интеграция) в условиях национальной системы контроля строительства [2, 3, 13].

Интеграция 4D-моделирования может обладать рядом положительных возможностей и одновременно ограничениями.

Возможности интеграции:

1. Автоматизация план-факт анализа и фиксации прогресса выполнения строительно-монтажных работ. 4D-модель, включающая в себя 3D-модели по разделам проектной документации и календарный план, в сочетании

с облаками точек позволяет определить степень готовности возводимых элементов.

2. Повышение оперативности выявлений отклонений. Использование SLAM-комплексов и сетей RGB-D-сенсоров позволяет кратно увеличить частоту обновления фактической 3D-картины стройплощадки.

3. Укрепление функций безопасности и управления рисками. 4D-моделирование позволяет увязывать во времени и пространстве потенциально опасные операции, зоны работы техники и бригад, расширяя возможности контроля строительного процесса.

Ограничения, возникающие при интеграции 4D-моделирования:

1. Техническая ограниченность средств сбора информации. Основными проблемами остаются закрытие элементов временными конструкциями, шум и артефакты, а также неполнота облака точек из-за недоступности отдельных зон.

2. Разрыв между облаками точек и BIM-моделью. Облако точек не содержит информации о типе и назначении объекта, отчего падает процент согласования полученной точки с элементов в проекте.

3. Значительные затраты на цифровизацию контроля. Развертывание систем 4D-мониторинга требует закупки дорогостоящего оборудования (сканеры, датчики), специализированного ПО.

Опираясь на комплексный анализ сформулированы рекомендации по оптимизации процессов контроля исполнения строительного проекта на основе 4D-моделирования:

1. Необходимо закрепить инструмент технического информационного моделирования 4D-мониторинг как эффективное средство контроля требований заказчика и нормативной базы.

2. Необходимо стандартизировать данные, получаемые в процессе строительства, а также процедуры их обработки и анализа при использовании технологий 4D-моделирования.

3. Целесообразно применять гибридный подход к сбору данных со строительной площадки, предусматривающий использование нескольких технологий мониторинга.

Подводя итоги проведенного исследования, можно сформулировать следующие выводы:

1. Глобальный анализ 4D-моделирования показывает высокий уровень технологической зрелости, однако его внедрение в системы контроля строительного процесса остается ограниченным.

2. Внедрение 4D-моделирования носит явно выраженный неравномерный характер по странам.

3. Научный фокус смещен в сторону задач обработки данных, тогда как связь 4D-модели с процессами контроля выполнения строительно-монтажных работ изучена слабее.

Литература

1. *Manzoor B., Charef R., Antwi-Afari M.F., Alotaibi K.S., Harirchian E.* Revolutionizing construction safety: unveiling the digital potential of building information modeling (BIM) // Buildings. 2025. Vol. 15, No. 5. P. 828. DOI: 10.3390/buildings15050828. EDN: XBGILR.

2. *Топчий Д.В., Токарский А.Я.* Концепция контроля качества организации строительных процессов при проведении строительного надзора на основе использования информационных технологий // Вестник евразийской науки. 2019. Т. 11, № 3. С. 49. EDN: BWLDSN.

3. *Rui S., Makanae K., Liu J., Wu J., Fujiu M., Morisaki Y.* A Mixed-Method Comparative Analysis of BIM Technology Adoption in China's and Japan's Construction Sectors // Buildings. 2025. Vol. 15, No. 13. P. 2234. DOI: 10.3390/buildings15132234. EDN: VDDDTB.

4. *Fuller A., Fan Z., Day C., Barlow C.* Digital twin: enabling technologies, challenges and open research // IEEE Access. 2020. Vol. 8. P. 108952–108971. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2998358. EDN: CELLZE.

5. *Mannino A., Dejaco M.C., Re Cecconi F.* Building Information Modelling and Internet of Things Integration for Facility Management: Literature Review and Future Needs // Applied Sciences. 2021. Vol. 11, No. 7. P. 3062. DOI: 10.3390/app11073062. EDN: DRQRPD.

6. *Vassena G.P.M., Perfetti L., Comai S., Mastrolembo Ventura S., Ciribini A.L.C.* Construction progress monitoring through the integration of 4D BIM and SLAM-based mapping devices // Buildings. 2023. Vol. 13, No. 10. P. 2488. DOI: 10.3390/buildings13102488. EDN: BUBGQO.

7. *Alghamdi M.S., Beach T.H., Rezgui Ya.* Reviewing the effects of deploying building information modelling (BIM) on the adoption of sustainable design in Gulf countries: a case study in Saudi Arabia // City, Territory and Architecture. 2022. Vol. 9, No. 1. P. 1-17. DOI: 10.1186/s40410-022-00160-7. EDN: POBBIE.

8. *El Masry A., Chronéer D.* Obstacles to BIM Adoption in Construction Production: A Study of Swedish Construction Contractors' Experiences // Buildings. 2025. Vol. 15, No. 18. P. 3288. DOI 10.3390/buildings15183288. EDN: YCWTIK.

9. *Артаменко А.Е., Бовтеев С.В., Мартыновский А.М.* Анализ процесса импортозамещения программного обеспечения 4D-моделирования // Информационное моделирование в задачах строительства и архитектуры: матер. VII Междунар. научно-практ. конф. СПб.: СПбГАСУ, 2024. С. 161–167. DOI: 10.23698/BIMAC.2024.022. EDN: FKGTVW.

10. *Kavaliauskas P., Fernandez J.B., McGuinnes K., Jurelionis A.* Automation of construction progress monitoring by integrating 3D point cloud data with an IFC-based BIM model // Buildings. 2022. Vol. 12, No. 10. P. 1754. DOI: 10.3390/buildings12101754. EDN: RDOAYD.

11. *Pučko Z., Šuman N., Rebolj D.* Automated continuous construction progress monitoring using multiple workplace real time 3D scans // Advanced Engineering Informatics. 2018. Vol. 38. P. 27-40. DOI: 10.1016/j.aei.2018.06.001.

12. *Bosch-Sijtsema P., Gluch P.* Challenging construction project management institutions: the role and agency of BIM actors // International Journal of Construction Management. 2019. Vol. 21, No. 1. P. 1077–1087. DOI: 10.1080/15623599.2019.1602585. EDN: VNNYGV.

13. *Анпилов С.М., Михайлов А.В., Сорочайкин А.Н.* Строительный контроль, как правовое средство, обеспечивающее надлежащее исполнение подрядных работ // Эксперт: теория и практика. 2021. № 2(11). С. 77–91. DOI: 10.51608/26867818_2021_2_77. EDN: LGSMQH.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗДАНИЙ

УДК 69.057
DOI: 10.23968/BIMAC.2026.003

Аверина Татьяна Александровна, канд. техн. наук, доцент
(Воронежский государственный технический университет)
E-mail: ta_averina@mail.ru, ORCID: 0000-0002-9150-9018

Averina Tatiana Alexandrovna, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Voronezh State Technical University)

ЦИФРОВИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫМИ ПРОЕКТАМИ: НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОБЛАСТИ

DIGITALIZATION AND CONSTRUCTION PROJECT MANAGEMENT: NEW TECHNOLOGIES AND KNOWLEDGE AREAS

В работе представлены актуальные технологии, характерные для «Строительство 4.0» и «Строительство 5.0». Рассмотрены особенности управления строительными проектами, приведены расширения функциональных областей управления для строительных проектов. На основе анализа трендов развития технологий, выявленных тенденций ускорения процессов цифровизации в сфере строительства и учета современных нормативных требований обозначена необходимость и перспективность добавления еще одной функциональной области в управлении строительными проектами – управление информационной моделью. Управление информационной моделью – раздел управления проектами, включающий задачи и процедуры управления, необходимые для обеспечения работы цифровых моделей, цифровых теней и цифровых двойников.

Ключевые слова: управление, строительный проект, информационная модель, функциональные области управления строительными проектами, цифровизация, цифровая модель, цифровая тень, цифровой двойник.

This paper presents current technologies characteristic of Construction 4.0 and Construction 5.0. It examines the specifics of construction project management and provides expanded knowledge management areas for construction projects. Based on an analysis of technology development trends, identified trends in accelerating digitalization in construction, and consideration of modern regulatory requirements, the need and potential for adding another knowledge area to construction project management – information model management – is identified. Information model management is a section of project management that includes the tasks and management procedures necessary to support the operation of digital models, digital shadows, and digital twins.

Keywords: management, construction project, information model, functional areas of construction project management, digitalization, digital model, digital shadow, digital twin.

1. Введение. Цифровизация активно развивается, охватывая все новые сферы и отрасли. Строительство не является исключением. В настоящее время в употребление входят такие понятия как «Строительство 4.0» и «Строительство 5.0». Можно говорить о новом революционном подходе к строительному процессу – «Строительство 4.0», демонстрирующем значительные возможности и преимущества, предоставляемые цифровыми технологиями для всей цепочки создания ценности в строительной отрасли [1].

Согласно проведенным исследованиям [2], более 60 % компаний считают управление строительными проектами и цифровое управление стройкой приоритетными направлениями, а 30% относят их к ключевым аспектам цифровизации. На втором месте – цифровизация маркетинга и продаж – соответственно 57 % и 35 % компаний относят эту сферу к высоким и средним приоритетам.

Близкие показатели значимости цифровых технологий – у этапов производственного процесса (строительство) и проектирования: более 50 % опрошенных считают эту сферу безусловно приоритетной, 35 % относят ее к средне необходимой. В целом же, в строительной отрасли инвестиции в цифровизацию составляют не более 1 % от выручки, отрасль занимает 17 место из 18 по уровню цифровизации [3].

Главными барьерами на пути цифровизации являются: недостаточная теоретико-методологическая база, отсутствие гарантированного эффекта, нехватка квалификации сотрудников и недостаток финансовых ресурсов для реализации инициатив [2].

Целью исследования является разработка теоретико-методологических основ по расширению функциональных областей управления строительными проектами в контексте развития парадигм «Строительство 4.0» и «Строительство 5.0», что обеспечит эффективное внедрение цифровых моделей, цифровых теней и цифровых двойников и повысит качество реализации строительных проектов.

2. Материалы и методы. Анализ публикаций относительно использования цифровых технологий в строительстве представлен в работе [4]. Интересен тот факт, что на период до 2020 года, когда проводилось исследование (2011-2020), было выделено две основные технологии в данной области: технологии информационного моделирования и 3D-печать.

В аналогичного рода обзоре [5], тоже опубликованном в 2021 году, сделан вывод о том, что перспективными в строительной отрасли, в условиях ее цифровой трансформации, становятся такие технологии, как: 3D сканирование, смешенная и дополненная реальность, цифровые двойники, технологии информационного моделирования и пр. В работе [6] выделено пять

технологий, которые оказывают наибольшее влияние на революционные изменения в строительной отрасли. К ним отнесены трехмерное лазерное сканирование и технологии информационного моделирования, цифровое сотрудничество и мобильность, интернет вещей и продвинутая аналитика, применение перспективных технологий и материалов при проектировании.

Согласно исследованию [7] был определен ряд исследовательских кластеров в форме сценариев Строительство 4.0: промышленный интернет вещей (Industrial Internet of Things, IIoT) для эффективного использования энергии; автоматизация и поддержка принятия решений для мониторинга сборных конструкций в режиме реального времени на предмет устойчивости, безопасности и управления окружающей средой; интеллектуальные здания для комфорта жильцов; цифровизация управления активами; а также проблемы и решения для интегрированных приложений BIM-IoT.

Развитие строительной отрасли идет очень высокими темпами и если проанализировать мнения российских экспертов и практиков [2], то безусловно следует отметить следующие технологии и тренды. Первый тренд – искусственный интеллект. За прошедший период многие участники рынка стали использовать решения для текущих задач, а также проявляют интерес к специализированным решениям для автоматического формирования проектов. Второй тренд – реальное импортозамещение. Только сейчас компании стали активно внедрять отечественные решения как для разработки моделей, так и для управления данными. Третье – кадровый дефицит. Очень многие организации осознали, что нехватка кадров – это основное препятствие для роста.

3. Информационная модель управления строительными проектами. Относительно системности подхода к цифровизации можно говорить о том, что пока еще нет готовой к применению Единой системы информационного моделирования, как совокупности систематизированных стандартов, которая могла бы непосредственно применяться в профессиональной деятельности.

Однако, в связи с тем, что обязательным является формирование информационной модели (как она определена по Градостроительному кодексу РФ – совокупность взаимосвязанных сведений, документов и материалов об объекте капитального строительства, формируемых в электронном виде на этапах выполнения инженерных изысканий, осуществления архитектурно-строительного проектирования, строительства, реконструкции, капитального ремонта, эксплуатации и (или) сноса объекта капитального строительства), а трехмерная цифровая информационная модель (ЦИМ) пока является обязательной только там, где это прямо указано в техническом задании или проектной документации, заказчики поручают подрядчикам формировать информационную модель, без ЦИМ [8].

На конференции, организованной Bimeister, «Айбим» и СОВНЕТ «CONSTRUCTION 4.0: Industrial Meetup», посвященной теме «Современные

методы реализации крупных инвестиционно-строительных проектов», обсуждались вопросы необходимости и сложности формирования цифровой экосистемы для управления строительными проектами. Внимание было акцентировано на необходимости обеспечения автоматического обновления данных, в том числе включая информацию из других систем при формировании единого цифрового пространства для всех участников проекта, особенно при построении экосистемы [9]. Обеспечение процессов подобного рода требует грамотного управления виртуальными моделями строительных проектов. Под виртуальными моделями будем понимать совокупность цифровых моделей, цифровых теней и цифровых двойников, представляющих физические объекты и процессы в цифровом пространстве с различной степенью детализации и интерактивности [10].

Применяемые расширения для строительной отрасли специфичными областями знаний по управлению проектами: управление безопасностью, управление воздействием на окружающую среду, управление финансами и управление претензиями [11, 12] являются уже привычными.

Учитывая современные тренды и нормативные акты, в частности ПП РФ 331, ПП РФ № 1431, Приказ Минстроя России № 344/пр и № 1026/пр, национальный стандарт ГОСТ Р 57700.37–2021, Распоряжение Правительства РФ от 31 октября 2022 г. № 3268-р и пр., актуальным является рассмотрение возможности добавления еще одной области управления строительными проектами: управление информационной моделью строительного проекта.

Тем более, что в ближайшее время нас ожидает переход к парадигме «Строительство 5.0». «Строительство 5.0» представляет инновационное видение строительной отрасли, для которого характерны высокая эффективность, безопасность, устойчивость и человекоориентированный подход, в котором технологии дополняют человеческие навыки, а не заменяют их.

4. Заключение. Вскоре строительные площадки станут «умными» на основе Интернета вещей (IoT). Датчики, встроенные в оборудование, материалы и возведенные объекты, будут постоянно собирать данные, предоставляя в режиме реального времени информацию о ходе проекта, использовании ресурсов и условиях безопасности. Цифровые двойники будут обычным явлением, позволяя моделировать, оптимизировать и прогнозировать обслуживание.

Применение искусственного интеллекта и машинного обучения трансформирует процесс принятия решения. Благодаря использованию данных технологий можно повысить эффективность и снизить риски на различных этапах строительного процесса: выбор лучшей площадки для строительства среди имеющихся альтернатив, обнаружение недостатков проектирования, предиктивная аналитика временных задержек, перерасхода ресурсов, сроков технического обслуживания и др.

Использование робототехники для выполнения сложных и опасных задач на объектах позволит существенно повысить уровень безопасности на строительных площадках. Благодаря грамотному взаимодействию роботы будут расширять возможности человека и при этом учиться на его опыте.

Но за человеком останется стратегическая роль и в рамках парадигмы «Строительство 5.0». От специалиста потребуется освоение новых цифровых компетенций и разработка методологии и инструментов работы с современными технологиями. Очень важно создать систему работы с огромным объемом данных, обеспечить ее работоспособность, интегрировать и дать возможность для взаимодействия заинтересованным сторонам. Только при выполнении подобного рода условий возможно достижение синергетического эффекта взаимодействия цифровых технологий, робототехники и человека [13].

Таким образом, с учетом текущей ситуации и трендов совершенствование системы управления строительными проектами неизбежно. Эффективное управление строительными проектами в условиях цифровизации требует сбалансированного сочетания технологий, методологии и человеческих компетенций, что обеспечит достижение максимальной эффективности и устойчивости строительной отрасли.

Литература

1. *Casini M.* Construction 4.0: Advanced Technology, Tools and Materials for the Digital Transformation of the Construction Industry. Woodhead Publishing, 2022. 676 p. DOI: 10.1016/C2019-0-04325-7. EDN: ZITYXJ.

2. О цифровой зрелости стройотрасли. URL: https://stroimprosto-msk.ru/publications/o-cifrovoj-zrelosti-strojotrasli/ (дата обращения: 06.03.2026).

3. Цифровизация строительства: ключевые цифры и выводы ЦУС Day. URL: https://companies.rbc.ru/news/11nblTmf9r/tsifrovizatsiya-stroitelstva-klyuchevyie-tsifryi-i-vyivodyi-tsus-day/ (дата обращения: 06.03.2026).

4. *Гинзбург А.В., Адамцевич Л.А., Адамцевич А.О.* Строительная отрасль и концепция «Индустрия 4.0»: обзор // Вестник МГСУ. 2021. Т. 16, № 7. С. 885-911. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.7.885-911. EDN: NWPZGH.

5. *Тумасов А.А.* Композиционные принципы гармонизации современной архитектуры в исторической среде // Строительство и архитектура. 2014. Т. 2, № 2. С. 70-72. DOI: 10.12737/5953. EDN: ZQPJBX.

6. *Куневич С.Н.* Четвёртая промышленная революция или BIM-технологии Индустрии 4.0 в строительстве // Colloquium-Journal. 2023. № 4-2(163). С. 6-9. DOI: 10.24412/2520-6990-2023-4163-6-9. EDN: AZJVTT.

7. *Statsenko L., Samaraweera A., Bakhshi Ja., Chileshe N.* Construction 4.0 technologies and applications: a systematic literature review of trends and potential areas for development // Construction Innovation. 2023. Vol. 23, No. 5. P. 961-993. DOI: 10.1108/ci-07-2021-0135. EDN: UEGLZY.

8. Цифровизация строительства в 2024 году: мнения экспертов. URL: https://academy.tsus.ru/czifrovizacziya-stroitelstva-v-2024-godu-mneniya-ekspertov/ (дата обращения: 06.03.2026).

9. Construction 4.0: Industrial Meetup. URL: https://bimeister.com/ru/press-center/construction-4-0-industrial-meetup/ (дата обращения: 06.03.2026).

10. *Аверина Т.А.* Виртуальные модели в управлении жизненным циклом объекта капитального строительства // Информационное моделирование в задачах строительства и архитектуры : Мат-лы VII Междунар. науч.-практ. конф. Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2024. С. 42-48. DOI: 10.23968/BIMAC.2024.006. EDN: ZLUKMZ.

11. *Баркалов С.А.* [и др.]/ Управление проектами и программами. Воронеж : Воронежская областная типография – издательство имени Е.А. Болховитинова, 2023. 556 с.

12. Расширение для строительной отрасли к третьему изданию Руководства к своду знаний по управлению проектами ; [пер. с англ.]. М. : Олимп-Бизнес, 2015. 232 с.

13. Construction 5.0: The Next Era of Tech Revolution. URL: https://neuroject.com/construction-5/ (дата обращения: 06.03.2026).

УДК 69.05
DOI: 10.23968/BIMAC.2026.004

Аверина Татьяна Александровна, канд. техн. наук, доцент
(Воронежский государственный технический университет)
E-mail: ta_averina@mail.ru, ORCID: 0000-0002-9150-9018
Писарева Алина Александровна, магистрант
(Воронежский государственный технический университет)
E-mail: alinapisareva2012@gmail.com

Averina Tatiana Alexandrovna, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Voronezh State Technical University)
Pisareva Alina Alexandrovna, Master's degree student
(Voronezh State Technical University)

ИИ-АССИСТЕНТ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА: КОНЦЕПЦИЯ И ДОРОЖНАЯ КАРТА ВНЕДРЕНИЯ В ЖИЛИЩНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

A COMPUTER VISION-BASED AI ASSISTANT FOR QUALITY CONTROL: CONCEPT AND ROADMAP FOR IMPLEMENTATION IN HOUSING CONSTRUCTION

В статье рассматривается концепция внедрения интеллектуальной системы контроля качества в жилищном строительстве на основе технологий компьютерного зрения. Анализируются проблемы традиционных методов визуального контроля, характеризующиеся субъективностью и низкой степенью охвата. Предлагается динамическая модель управления качеством – «цифровой двойник» строительного процесса. Определен теоретический фундамент для создания ИИ-ассистента, который интегрирует методы сегментации экземпляров, генеративно-состязательных сетей и архитектур-трансформеров. Обоснован переход от реактивного к предиктивному управлению качеством, что позволяет значительно снизить издержки на исправление брака и повысить стандарты отрасли.

Ключевые слова: искусственный интеллект, компьютерное зрение, контроль качества, жилищное строительство, цифровой двойник, дорожная карта.

The article discusses the concept of implementing an intelligent quality control system in housing construction based on computer vision technologies. It analyzes the challenges of traditional visual inspection methods, characterized by subjectivity and low coverage. A dynamic quality management model – a "digital twin" of the construction process is proposed. A theoretical foundation is developed for creating an AI assistant that integrates instance segmentation methods, generative adversarial networks, and transforming architectures. A transition from reactive to predictive quality management is substantiated, which significantly reduces the cost of remedial work and improves industry standards.

Keywords: artificial intelligence, computer vision, quality control, housing construction, digital twin, roadmap.

Качество возведённых жилых зданий определяет их безопасность, долговечность и привлекательность для покупателей. Согласно данным Национального объединения строителей (НОСТРОЙ), 46 % несчастных случаев на строительной площадке возникают из-за некачественного выполнения работ и недобросовестного строительного контроля. Эта статистика была озвучена президентом НОСТРОЙ Антоном Глушковым в ходе всероссийской конференции «Строительный контроль: практические основы и перспективные направления развития» в 2025 году [1]. Низкий уровень строительного контроля не только угрожает жизни и здоровью рабочих, но и закладывает фундамент для будущих финансовых потерь. Затраты на устранение дефектов, выявленных в процессе эксплуатации таких объектов, составляют в среднем 12–15 % от первоначальной стоимости их строительства, что превращает экономию на контроле в масштабные убытки [2]. Несмотря на то, что нормативная база и цифровые технологии проектирования развиваются активно, строительный контроль остаётся слабым звеном, зависимым от человеческого фактора. Выборочные осмотры инженерами часто страдают недостаточной объективностью, низкой частотой и большими трудозатратами, приводящими к накоплению незамеченных дефектов. Исправление таких дефектов на позднем этапе строительства обходится всё дороже, вызывая цепочку растущих расходов.

Цель исследования состоит в разработке методологических основ внедрения интеллектуальной системы контроля качества в жилищном строительстве на основе технологий компьютерного зрения для обеспечения перехода от реактивного к предиктивному контролю и повышения эффективности строительного процесса.

Интеграция технологий искусственного интеллекта (ИИ), в частности компьютерного зрения (Computer Vision, CV), предлагает значительный сдвиг в этом процессе, переводя его в плоскость непрерывного, объективного и предиктивного мониторинга.

Компьютерное зрение (CV) – научная область, занимающаяся исследованиями в области автоматической фиксации и разного рода обработки изображений (обнаружение, отслеживание, идентификация) с помощью компьютера [3, 4]. Ключевые технологии CV для задач контроля качества представлены в табл. 1.

Таблица 1

Технологии CV для задач контроля качества

Метод	Описание
Сегментация экземпляров	Точное выделение границ объектов (Mask R-CNN, Mask2Former). Определяют трещины, арматуру, кирпичи вплоть до пикселей [5]
Генеративно-состязательные сети	Генератор синтезирует реалистичные изображения дефектов для тренировки моделей (устойчивость к плохим условиям съемки) [6]
Трансформеры Vision Transformers	Учитывают глобальные зависимости участков изображения, улучшая классификацию и детекцию [7]

Эволюция перечисленных методов не останавливается, и актуальные научные исследования фокусируются на повышении их точности, устойчивости и интеграционной способности в сложных полевых условиях строительства. Проблема переноса моделей с синтетических данных на реальные (sim-to-real gap) и контекстной интерпретации дефектов остаётся ключевой.

В частности, исследование «Bridging the Sim-to-Real Gap for Construction Defect Detection with Physics-Aware Diffusion Models», представленное на конференции WACV 2025, предлагает инновационный подход, выходящий за рамки классических генеративно-состязательных сетей [8]. Авторы используют диффузионные вероятностные модели, обученные с учётом физических параметров материалов (шероховатость и пр.), для генерации фотореалистичных и физически корректных изображений дефектов в вариативных условиях окружающей среды (дождь, разное время суток, загрязнения). Это обеспечивает формирование разнообразных обучающих наборов данных, существенно улучшающих надежность конечных моделей обнаружения объектов на реальных строительных площадках, снижая влияние посторонних факторов.

ИИ-ассистент для контроля качества в данном контексте – это интегрированная программно-аппаратная система, которая в режиме, близком к реальному времени, анализирует видеопоток или набор изображений со строительной площадки, автоматически идентифицирует работы, проверяет соответствие проектным спецификациям и фиксирует отклонения.

Концепция внедрения такой системы основывается на принципе цифрового двойника (Digital Twin) строительного процесса. В данном случае цифровой двойник – это не полная виртуальная копия объекта, а его динамическая модель качества, которая непрерывно обновляется данными с CV-сенсоров. Это позволяет перейти от реактивного (нашли дефект – устранили) к предиктивному (модель предсказывает вероятность появления дефекта на следующем этапе) и превентивному контролю [9].

Таким образом, теория внедрения ИИ-ассистента строится на синтезе технологий CV, методологии цифровых двойников и процессного подхода к управлению качеством, что в совокупности формирует новую научно-практическую область – интеллектуальный строительный аудит.

Переход к практической реализации требует поэтапного, итеративного подхода, минимизирующего риски и обеспечивающего окупаемость инвестиций. Разработка дорожной карты, которая рассчитана на 24-30 месяцев и состоит из 4 ключевых фаз, поможет компаниям эффективно внедрять данную инновацию, снижая риски и оптимизируя инвестиции (табл. 2).

Таблица 2

Дорожная карта поэтапного внедрения ИИ-ассистента контроля качества

Фаза	Цель	Ключевые задачи	Технологии	Результат
Подготовительно-исследовательская (0–6 мес.)	Создать работающий прототип для ключевых дефектов	– Выбор дефектов (трещины, арматура) – Создание и разметка – Обучение и валидация модели	– CVAT (Computer Vision Annotation Tool) – инструмент разметки изображений – Трансферное обучение (YOLO – You Only Look Once, нейросеть реального времени) – GAN (Generative Adversarial Network) – генеративно-состязательная сеть для синтеза изображений	Прототип ИИ-модели для 2–3 типов дефектов с отчетом
Пилотная эксплуатация и валидация (6–14 мес.)	Проверить систему в реальных условиях	– Развертывание MVP (Minimum Viable Product – минимально жизнеспособный продукт) на объекте – Активное дообучение модели – Интеграция с BIM	– IoT-камеры (Internet of Things – интернет вещей), периферийные вычисления (Edge Computing) – Активное обучение – BIM API (интерфейс для связи с информационной моделью)	Рабочий MVP на объекте. BIM-отчеты о дефектах

Окончание табл. 2

Фаза	Цель	Ключевые задачи	Технологии	Результат
Масштабирование и интеграция (14–22 мес.)	Внедрить систему в бизнес-процессы	– Расширение библиотеки (+10 дефектов) – Разработка AR-приложения – Интеграция с ERP (1С)	– Vision Transformers (архитектура нейросетей на механизме внимания) – ARKit / ARCore (фреймворки для AR от Apple и Google) – REST API (программный интерфейс для веб-сервисов)	Корпоративная ИИ-система с AR и ERP-синхронизацией
Внедрение предиктивной аналитики (22–30 мес.)	Перейти к прогнозированию и автоматизации	– Создание цифрового двойника – Автоматизация приемки (паспорт качества) – Проектирование SaaS-платформы	– Графовые нейронные сети – Анализ временных рядов – Микросервисная архитектура	Предиктивная платформа. Процедура автоматической приемки

Данная таблица служит наглядным управленческим инструментом, который позволяет отслеживать прогресс, распределять ресурсы и корректировать план внедрения в зависимости от достижения промежуточных KPI.

На основании проведенного анализа данных [1, 2, 10] прогнозная экономическая эффективность дорожной карты может быть представлена в виде условных расчетных значений, отражающих ожидаемую динамику показателей с учетом ряда допущений и ограничений (табл. 3).

Таблица 3

Прогнозная экономика проекта на объект

Показатель	Прогнозное значение	Комментарий
Инвестиции (CAPEX)	5–10 млн ₽	Оборудование, ПО, данные
Годовая экономия	5–8,5 млн ₽	Основная статья: снижение затрат вследствие брака (2,5–4 млн ₽)
Окупаемость	18–24 мес.	
ROI за 3 года	80–150 %	Высокая рентабельность

Прогноз показывает, что основные инвестиции в размере 5–10 млн рублей окупятся уже в течение 18–24 месяцев за счет значительного сокращения самой крупной статьи потерь – затрат на исправление дефектов. Годовая экономия в 5–8,5 млн рублей на одном объекте обеспечит высокую рентабельность инвестиций (ROI 80–150 % за 3 года), может превратить систему из статьи расходов в инструмент прямой финансовой экономии и повышения надежности строительства.

Таким образом, внедрение ИИ-ассистента на основе компьютерного зрения представляет собой не просто технологическую модернизацию, а стратегическую трансформацию подхода к контролю качества в строительстве.

Концепция, основанная на синтезе передовых методов CV и принципе цифрового двойника, позволяет преодолеть ключевые недостатки традиционного визуального контроля: субъективность, низкую частоту и реактивный характер.

Предложенная дорожная карта, структурированная в четыре последовательные фазы, обеспечивает управляемый и минимально рисковый путь интеграции инновации. Прогнозная оценка также подтверждает экономическую эффективность.

В результате, внедрение ИИ-ассистента решает не только операционную задачу повышения качества, но и прямую финансовую – снижение издержек и повышение надёжности строительства.

В перспективе реализация данной концепции заложит основу для перехода отрасли на новый уровень – от фрагментарной цифровизации к созданию целостной, самообучающейся экосистемы управления качеством, основанной на данных, что позволит не только минимизировать дефекты, но и прогнозировать их появление, что в конечном итоге приведёт к созданию более безопасных, долговечных и качественных объектов строительства.

Литература

1. НОСТРОЙ: 46 % несчастных случаев возникают в результате некачественного выполнения работ и недобросовестного строительного контроля. URL: https://www.all-sro.ru/news/nostroy-46-neschastnykh-sluchaev-voznikayut-v-rezultate-nekachestvennogo-vypolneniya-rabot-i-nedobro/ (дата обращения: 15.02.2026).

2. Каждый восьмой метр – с задержкой: срывы сроков сдачи новостроек выросли в 4 раза за год. URL: https://novostroikino.ru/news/kazhdyy-vosmoy-metr-s-zaderzhkoy-sryvy-srokov-sdachi-novostroek-vyrosli-v-4-raza-za-god/ (дата обращения: 06.03.2026).

3. *Горячкин Б.С., Китов М.А.* Компьютерное зрение // E-Scio. 2020. № 9(48). С. 317-345. EDN: EBYPIO.

4. *Bolya D., Zhou Ch., Xiao F., Lee Y.Ja.* YOLACT++ Better Real-Time Instance Segmentation // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2022. Vol. 44, No. 2. P. 1108-1121. DOI: 10.1109/tpami.2020.3014297. EDN: EBFSMS.

5. Что такое Mask R-CNN и как это работает?: руководство, применение и YOLO // Ultralytics. URL: https://www.ultralytics.com/ru/blog/what-is-mask-r-cnn-and-how-does-it-work (дата обращения: 06.03.2026).

6. Что такое генеративно-состязательная сеть (GAN)?: AI 101 // Unite.AI. URL: https://www.unite.ai/ru/what-is-a-generative-adversarial-network-gan/ (дата обращения: 06.03.2026).

7. Vision Transformer (ViT) Architecture // GeeksforGeeks. 2024. 9 окт. URL: https://www.geeksforgeeks.org/deep-learning/vision-transformer-vit-architecture/ (дата обращения: 06.03.2026).

8. *Kim S., Lee J., Han K., Choi S.B.* Bridging the Sim-to-Real Gap: A Control Framework for Imitation Learning of Model Predictive Control // International Journal of Control, Automation, and Systems. 2026. DOI: 10.1007/s12555-026-00040-7.

9. *Крюков К.М., Шаповалов А.В.* Использование технологии цифровых двойников в строительстве // Инженерный вестник Дона. 2022. № 5(89). С. 517-525. EDN: SVIIWZ.

10. Цифровизация: от комфортной жизни до обеспечения промпроизводства. URL: https://национальныепроекты.рф/upload/doklad-cifra-2025/doklad-cifra-2025.pdf (дата обращения: 06.03.2026).

УДК 004.89:69
DOI: 10.23968/BIMAC.2026.005

Бовтеев Сергей Владимирович, канд. техн. наук, доцент
(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)
E-mail: sbovteev@lan.spbgasu.ru, ORCID: 0000-0002-2765-9329
Мягкова Маргарита Андреевна, студент
(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)
E-mail: margarita.myag@yandex.ru, ORCID: 0009-0008-3887-1342
Шеломенцева Ульяна Игоревна, студент
(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)
E-mail: uliana_shelomenceva@mail.ru, ORCID: 0009-0001-4885-5070

Bovteev Sergei Vladimirovich, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)
Myagkova Margarita Andreevna, student
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)
Shelomentseva Ulyana Igorevna, student
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ИНФОРМАЦИОННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ УПРАВЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫМИ ПРОЕКТАМИ

ANALYSIS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE CAPABILITIES IN CONSTRUCTION PROJECT MANAGEMENT INFORMATION MODELING

Статья посвящена исследованию современных возможностей и перспектив применения искусственного интеллекта (ИИ) в управлении строительными проектами. Рассматриваются основные инструменты и технологии ИИ, используемые в настоящее время крупными девелоперскими организациями, а также раскрываются преимущества и недостатки этих подходов. Особое внимание уделено вопросам автоматизации процесса заполнения технической документации, применению предиктивной аналитики для точного прогнозирования потребностей в материалах и оборудовании, развитию генеративного проектирования зданий и обеспечению безопасности строительства посредством мониторинговых систем. Подчёркиваются экономический эффект и практические выгоды, достигаемые благодаря внедрению ИИ, а также обозначены существующие трудности и вызовы, связанные с необходимостью адаптации сотрудников и обеспечением информационной безопасности.

Ключевые слова: ТИМ, искусственный интеллект, управление строительными проектами, машинное обучение, предиктивная аналитика, безопасность проекта.

The article is devoted to the study of the modern possibilities and prospects of using artificial intelligence (AI) in the construction project management. It examines the main AI tools and technologies currently used by large development organizations, and reveals the advantages and disadvantages of these approaches. Special attention is paid to the automation of the process of filling out technical documentation, the use of predictive analytics for accurate forecasting of material and equipment needs, the development of generative building design, and the provision of construction safety through monitoring systems. The article highlights the economic benefits and practical advantages of implementing AI, as well as the existing challenges and difficulties associated with employee adaptation and information security.

Keywords: BIM, artificial intelligence, construction project management, machine learning, predictive analytics, project safety.

Развитие современного общества устойчиво ориентируется на расширение применения во всех сферах человеческой деятельности цифровых технологий, дополненных интеллектуальными технологиями. Искусственный интеллект (ИИ) можно рассматривать как основной инструмент современной технологической трансформации [1], который пока не достиг масштабного применения в информационном моделировании управления строительными проектами (до сих пор многие процессы выполняются в «ручном» режиме), но это лишь говорит о перспективах взрывного роста внедрения ИИ в практику управления строительными проектами в самом ближайшем будущем.

ИИ впервые был исследован на двухмесячном Дартмунском семинаре, организованном в 1956 году Джоном Маккарти, Марвином Мински, Клодом Шенноном и Натаниэлем Рочестером [2]. Очень долгое время человечество не находило возможности практического применения ИИ, который только несколько лет назад стал входить в нашу жизнь. Сейчас мало кто сомневается в необходимости изучения возможностей ИИ, тогда как некоторые исследователи считают технологии ИИ максимально актуальными и значимыми для научных исследований [3].

Вместе с тем, целью настоящей статьи выступает прикладной анализ таких основанных на ИИ инструментов, которые уже сейчас применяются в крупных девелоперских и инжиниринговых организациях, управляющих строительными проектами. Под анализом авторы статьи понимают изучение отдельных примеров современного применения ИИ в практике проектирования, строительного контроля, а также планирования и управления строительством объектов и их комплексов (включая управление документооборотом) с целью выявления возможностей масштабирования исследованных решений и определения сложностей, препятствующих быстрому и эффективному внедрению ИИ в строительные проекты.

Одной из главных проблем в строительстве является большая трата времени инженеров и линейных инженерно-технических работников на заполнение и разработку документации, хотя в это время они могут решать реальные производственные задачи. Установлено, что ряд рутинных задач может взять

на себя искусственный интеллект. Например, российская платформа Sarex использует технологию компьютерного сканирования и 360-градусные камеры для анализа прогресса строительно-монтажных работ. Данные лазерного сканирования сопоставляются с ТИМ-моделью, что позволяет точно определять выполненные объёмы, выявлять отклонения от плана и отслеживать динамику строительства в реальном времени, оформляя всю необходимую документацию.

Специалисты американской компании Katerra разработали полноценную платформу на основе ИИ для управления стройкой. Приложение отслеживает создание проектной документации, наблюдение за безопасностью, формирование ежедневных отчётов, автоматизацию закупок. Всё это позволяет снизить затраты, например, экономия расходов на материалы составляет около 10-15 %.

Одним из самых востребованных и распространенных инструментов, использующих ИИ в строительстве на сегодняшний день, является предиктивная аналитика (предиктивное планирование), то есть способ прогнозирования, основанный на использовании технологий Big Data и ИИ. Самый простой и очевидный пример использования предиктивной аналитики состоит в возможности предсказать количество материалов и оборудования, требующихся на строительной площадке, что помогает избежать лишних расходов. Используя накопленный опыт и исторические данные, система обрабатывает сведения и способна обучаться с последующей выдачей ориентировочного прогноза, в котором учтено множество факторов. Благодаря этому компаниям удаётся заблаговременно подготовиться к возможным задержкам и принять превентивные меры, сводящие негативные последствия к минимуму. Подобный подход обеспечивает существенную экономию финансовых ресурсов и гарантирует своевременное завершение строительных работ. Примеры платформ, использующих предиктивную аналитику:

– Pragmacore, объединенная с сервисом Vampodryad – маркетплейс техники для стройки;

– Cynteka – сервис автоматизации закупок и снабжения;

– Tangl – платформа для автоматизированной работы с данными BIM-модели;

– Transbaza – сервис найма строительной техники.

Другой важной областью применения предиктивного моделирования является разработка эффективной квартирографии жилых комплексов. Эта задача включает оптимальное распределение жилой площади, определение типов и размеров квартир, исходя из текущих рыночных тенденций спроса и предложений. Для точной оценки привлекается комплексный анализ инфраструктуры района, транспортных связей и наличия аналогичных построек. Пример реализации подобного инструмента – пилотируемый сервис «Девелопер», разработанный ведущими игроками рынка недвижимости.

Правильно рассчитанная квартирография увеличивает доходность проектов, максимизируя полезное использование пространства.

Отдельным направлением является автоматическое генеративное проектирование зданий и сооружений с применением ИИ. Сегодня существует множество инновационных методик, позволяющих адаптировать объекты под специфичные геодезические и климатические условия, такие как строительство в районах с высоким уровнем сейсмической активности. Подобные технологии формируют оптимальный вариант расположения здания, выбирают подходящие материалы и определяют необходимое оборудование для мониторинга технического состояния постройки, такие проекты экономически целесообразны и надёжны. Российский сервис НТЦ «Платформа» успешно осуществляет генеративное проектирование зданий и сооружений с применением ИИ в связке с инженерными расчётами.

Ещё одно нововведение – генеративный дизайн, представляющий собой эвристический подход к поиску лучших архитектурных решений путем эволюции моделей, имитирующих природные процессы. Дизайнеры тратят значительное время на разработку нестандартных и интересных решений, тогда как современные алгоритмы ИИ быстро предлагают сотни возможных вариантов, основываясь на заданных параметрах. Каждое новое решение совершенствует систему, приближая итоговую модель к полностью соответствующей установленным требованиям. Примером генеративной платформы для проектирования с помощью ИИ, которая помогает создавать оптимальные жилые комплексы за считанные минуты, является Architectures. Сервис упрощает процесс проектирования жилых помещений с помощью ИИ, благодаря технологии генеративного искусственного интеллекта пользователи в режиме реального времени получают решение, которое наилучшим образом соответствует заданным критериям проектирования.

В строительной сфере ИИ отвечает за безопасность и качество возведения зданий. Одним из значимых процессов при возведении зданий и сооружений является строительный контроль, подтверждающий соответствие проводимых работ проектной документации, для которого можно использовать новую отечественную систему AITERUS. Данная система основана на технологии, способной с высокой точностью фиксировать малейшие дефекты, оперативно оповещая об их обнаружении специалистов, ответственных за строительный контроль [4]. Технология применяет сенсоры с ИИ для мониторинга условий на строительной площадке: температуры, влажности и вибрации, что помогает предотвращать аварии и повышать безопасность (см. рисунок).

Внедрение ИИ не ограничивается только процессом строительства, а также распространяется и на период эксплуатации здания. Ожидается, что ИИ будет играть ключевую роль в создании «умных городов», где здания и инфраструктура будут интегрированы в единую сеть, что поможет значительно повысить качество жизни. Такие экосистемы позволят оптимизировать

энергопотребление: например, автоматически регулировать освещение и отопление в зависимости от присутствия людей и погодных условий.



Использование системы AITERUS в строительстве[1]

В результате анализа инновационных практик установлено, что ИИ формирует множество возможностей, которые упрощают процесс строительства. Вместе с тем выявлены возможные риски при его использовании. Одним из таких является высокая стоимость технологий, которая делает ИИ недоступным для малого бизнеса. Другим риском является отсутствие творческого мышления: ИИ отлично анализирует данные, но не может предложить решение, аналогичное решению опытного производителя работ. Вместе с тем, применение ИИ ведет к сокращению рабочих мест, а необходимая переквалификация персонала требует затрат денежных средств и времени. Из существенных минусов можно выделить то, что ИИ может быть подвергнут кибератаке, поэтому квалифицированные специалисты должны быть готовы взять ответственность за управление на себя.

Новые технологии, основанные на применении ИИ, как и многие другие разработки, не приносят быстрого эффекта, выгода от их использования ожидается в отдаленной перспективе [5]. Кроме того, для корректной работы

[1] URL: https://telecomdaily.ru/news/2025/06/26/donstroy-neyroseti-v-stroitelstve-kak-ii-otvechaet-za-kachestvo

ИИ должен обучиться, для этого нужен большой объем достоверной информации. Именно поэтому многие строительные организации предпочитают готовые решения, основанные на нейронных сетях, которые могут практически без дополнительных вложений облегчить подготовку относительно несложной документации, например протоколов совещаний.

Установлено, что с каждым днем ИИ и новые технологии все больше становятся неотъемлемой частью строительной отрасли, формируя ее будущее. В настоящее время строительство нельзя рассматривать только как процесс возведения зданий и сооружений. Реализация каждого строительного проекта должна быть направлена на устойчивое развитие населённого пункта, региона и страны в целом. Для достижения данной цели должны применяться технологии нейросетей и искусственного интеллекта.

Литература

1. *Бовтеев С.В., Кащеев Н.А., Переведенцев Г.А., Писарева К.А.* Применение искусственного интеллекта в управлении строительными проектами // Экономика строительства. 2025. № 10. С. 54-57. EDN: LXBQHQ.

2. *Комарова Н.Д., Титова Д.С.* Искусственный интеллект в строительстве // Университетская наука. 2025. № 2(20). С. 57–59. EDN: FUVAXU.

3. *Саруханян С.В.* Применение искусственного интеллекта в строительстве и проектировании зданий // Искусственный интеллект. Формирование будущего : Мат-лы I Междунар. науч.-практ. конф. Краснодар, 2024. С. 211–214. EDN: GUJCRS.

4. Строительный контроль на всех этапах. URL: https://aiterus.ru/ (дата обращения: 27.01.2026).

5. *Шишкина Д.Н.* Оценка экономической эффективности применения искусственного интеллекта в строительстве: выбор оптимального метода // Вестник МГСУ. 2024. Т. 19, № 9. С. 1550-1561. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.9.1550-1561. EDN: WZMRPA.

УДК 550.8.05+004.942
DOI: 10.23968/BIMAC.2026.006

Болдырев Геннадий Григорьевич, д-р техн. наук, профессор
(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)
E-mail: g-boldyrev@geoteck.ru, ORCID: 0000-0001-8264-1431

Boldyrev Gennadii Grigorievich, Dr. Sci. Tech., Professor
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЧИВОСТИ ГРУНТОВ

DIGITAL MODELING OF SOIL VARIABILITY

В статье предлагается методология оптимизации инженерно-геологических изысканий с использованием 3D цифровых геотехнических моделей. Ключевым элементом подхода при цифровом моделировании грунтов является учет их пространственной изменчивости. Процесс цифрового моделирования рассматривается как итеративная процедура, в ходе которой схема исследований корректируется по мере накопления информации.

Ключевые слова: цифровая геотехническая модель, статическое зондирование, пространственная изменчивость, геостатистика, 3D-моделирование.

The article proposes a methodology for optimizing engineering and geological surveys based on statistical analysis of soil variability, the predominant use of cone penetration test (CPT) data, geostatistical modeling and the construction of 3D digital geotechnical models. A key element of the approach is the use of the coefficient of variation as a quantitative criterion for the sufficiency of data and the need to compact the observation network. The process of research and digital modeling is considered as an iterative procedure, during which the research scheme is adjusted as information accumulates.

Keywords: digital geotechnical model, optimization, spatial variability, geostatistics, 3D modeling.

Введение. Инженерно-геологические изыскания являются начальным этапом проектирования зданий и сооружений, определяющим достоверность расчетных моделей, надежность конструктивных решений и экономическую эффективность строительства. Ошибки, допущенные на стадии изучения грунтовых условий, приводят к значительным дополнительным затратам, аварийным ситуациям и снижению эксплуатационной надежности сооружений. Несмотря на развитие численных методов расчета, совершенствование теории оснований и фундаментов, а также внедрение цифровых технологий, сами схемы организации инженерно-геологических исследований остаются в значительной степени консервативными.

В большинстве нормативных документов объем изысканий задается в виде фиксированных требований к числу скважин, их глубине, шагу между выработками и составу испытаний. Такие требования формировались в условиях ограниченных вычислительных возможностей и отсутствия развитых методов обработки данных. При этом подразумевалось, что грунтовый массив может быть адекватно описан небольшим числом характерных разрезов, а дальнейшие расчеты выполняются с учетом нормативных запасов прочности.

Современная практика проектирования принципиально изменилась. Широкое применение получили численные методы, трехмерное моделирование, нелинейные модели грунтов, а также вероятностные подходы к оценке надежности. В этих условиях точность исходных инженерно-геологических данных становится определяющим фактором. Однако парадоксальным образом методология самих изысканий остается в значительной степени статической, не учитывающей возможности оперативной обработки информации и ее использования для корректировки программы работ. Одной из ключевых особенностей грунтовых массивов является их пространственная неоднородность. Даже в пределах одного инженерно-геологического элемента параметры прочности, деформируемости и фильтрационных свойств могут существенно изменяться. Эта изменчивость носит не случайный, а структурированный характер, связанный с условиями формирования, седиментации, постседиментационными процессами и техногенными воздействиями.

В последние десятилетия для решения этих проблем были предложены геостатистические и вероятностные методы. Эти подходы позволяют явно моделировать свойства грунта как случайные величины или случайные поля, что даёт возможность количественно оценить распространение неопределённости от исследования участка до реакции конструкции. Параллельно с этим такие методы исследования на месте, как испытание стандартным зондом (CPT), пьезозондом (CPTu) и сейсмозондом (SCPT), стали основными источниками данных при проведении инженерно-геологических изысканий. Эти методы обеспечивают непрерывное профилирование грунта и позволяют быстро накапливать статистически значимые наборы данных (параметры зондирования и свойства грунтов). Несмотря на это, на стадии инженерно-геологических изысканий пространственная изменчивость обычно не рассматривается в качестве управляющего фактора. Как правило, программы исследований формируются до начала работ и редко корректируются в зависимости от получаемых данных. Это приводит к двум противоположным, но одинаково нежелательным сценариям: либо изыскания оказываются избыточными и экономически неэффективными, либо выявляются критические проблемы уже на стадии строительства.

Настоящая работа направлена на преодоление указанного методологического разрыва. В ней предлагается адаптивная концепция инженерно-геологических изысканий, в рамках которой программа исследований формируется и уточняется на основе анализа статистических характеристик

пространственной изменчивости грунтов. Центральным элементом подхода является использование коэффициента вариации в качестве количественного критерия достаточности данных. В отличие от традиционных нормативных схем, предлагаемый метод ориентирован на минимизацию неопределенности, а не на формальное соблюдение предписанных объемов работ.

Современное состояние проблемы и обзор литературы. Грунтовые массивы представляют собой сложные природные системы, формирование которых определяется множеством геологических и геоморфологических факторов. В отличие от искусственных материалов, свойства грунтов не являются постоянными даже в пределах одного литологического слоя. Эта особенность обусловливает необходимость статистического и вероятностного подхода к их описанию. В работах Ванмарке [1], Бэхера и Кристиана [2], Фентона и Гриффитса [3] показано, что пространственная изменчивость параметров грунтов может оказывать большее влияние на результаты расчетов, чем погрешности расчетных моделей. В рамках теории случайных полей параметры грунтов рассматриваются как функции координат, обладающие заданными статистическими характеристиками и корреляционной структурой. Такой подход позволяет учитывать как локальные флуктуации, так и пространственную связанность свойств. Тем не менее, в практике инженерно-геологических изысканий эти концепции используются ограниченно. В большинстве случаев пространственная изменчивость учитывается лишь косвенно – через введение коэффициентов запаса или консервативных расчетных значений.

Вероятностный подход и оценка надежности. Развитие вероятностных методов в геотехнике привело к появлению методом проектирования основанные на надежности (reliability-based design – RBD), в рамках которого проектные решения принимаются на основе заданных уровней надежности. В таких подходах параметры грунтов рассматриваются как случайные величины с заданными распределениями, а расчеты выполняются с учетом вероятности достижения предельных состояний [4]. Однако в большинстве публикаций основной акцент делается на расчетные методы, тогда как вопросы планирования изысканий рассматриваются вторично. Предполагается, что параметры распределений уже известны, хотя на практике они формируются именно в процессе полевых и лабораторных исследований. Таким образом, возникает методологический разрыв между вероятностными расчетами и детерминированными схемами изысканий.

Роль CPT в современных изысканиях. Статическое зондирование (CPT) является одним из наиболее информативных методов полевых испытаний [5]. Оно обеспечивает непрерывные профили сопротивления, высокую повторяемость и значительную плотность данных. В работах Лунне и др. [6] и Мэйна [7] показано, что CPT может использоваться не только для классификации грунтов, но и для количественной оценки их прочностных и деформационных характеристик. Несмотря на это, в нормативных схемах CPT часто

рассматривается как вспомогательный метод. Основная нагрузка по-прежнему возлагается на бурение и лабораторные испытания, которые обладают существенно меньшей пространственной разрешающей способностью.

Геостатистика и цифровые модели. Геостатистические методы [8] широко применяются в горной геологии и нефтегазовой отрасли. В геотехнике их использование ограничено, несмотря на очевидный потенциал для описания пространственных закономерностей. В последние годы активно развиваются цифровые геологические и геотехнические модели [9–13]. Однако в большинстве случаев они выполняют лишь иллюстративную функцию и не используются как инструменты оптимизации изысканий.

Методология оптимизации инженерно-геологических изысканий. В предлагаемой методологии инженерно-геологические изыскания рассматриваются как итеративный процесс, состоящий из последовательных этапов сбора данных, их анализа, обновления геологической модели и корректировки программы работ. Такой подход принципиально отличается от традиционной практики, в которой схема изысканий задается до начала работ и не пересматривается. Концептуально процесс оптимизации можно представить в виде цикла:

1. Выполнение минимально необходимого объема первичных исследований, используя нормативное количество выработок.
2. Построение первичной цифровой геотехнической модели.
3. Оценка статистических характеристик параметров грунтов.
4. Анализ пространственной изменчивости.
5. Принятие решения о необходимости дополнительного уплотнения сети наблюдений.
6. Корректировка программы изысканий.
7. Переход к следующей итерации.

Целью каждой итерации является не просто увеличение объема данных, а целенаправленное снижение неопределенности расчетных параметров.

Критерии достаточности данных. Ключевым элементом предлагаемой методологии является формализация понятия *достаточности данных*. Данные считаются достаточными, если:

1. Математическое ожидание μ и дисперсия σ стабилизируются при добавлении новых наблюдений: $\Delta\mu \to 0$, $\Delta\sigma \to 0$.
2. Коэффициент вариации не демонстрирует систематического роста.
3. Геостатистические модели (вариограммы, поверхности интерполяции) сохраняют устойчивую структуру.
4. Расчетные характеристики (осадки, несущая способность) становятся малочувствительными к добавлению новых точек. Таким образом, достаточность данных трактуется не как достижение формального количества выработок, а как достижение устойчивости расчетных выводов.

Геостатистическое моделирование. Для восстановления пространственного распределения параметров грунтов используются методы интерполяции.

В данной работе применяются методы обратных взвешенных расстояний (inverse distance weighting – IDW) [14] и, при достаточном объеме данных, кригинг [8]. Геостатистические модели используются не только для визуализации, но и для анализа неопределенности, выявления зон повышенной изменчивости и принятия решений о локальном уплотнении сети наблюдений.

Роль СРТ в адаптивной схеме. В предлагаемой методологии СРТ рассматривается как основной метод получения данных, обеспечивающий:

– высокую вертикальную разрешающую способность;
– непрерывность профилей;
– высокую повторяемость;
– экономическую эффективность при большом числе точек.

СРТ используется для:

– идентификации типа грунта;
– выделения инженерно-геологических элементов;
– первичной оценки физико-механических свойств грунтов;
– выявления локальных аномалий.

Алгоритм оптимизации. Обобщенный алгоритм оптимизации можно представить следующим образом:

1. Выполнение минимального объема первичных изысканий.
2. Построение первичной 3D-модели.
3. Расчет статистических характеристик.
4. Определение коэффициента вариации.
5. Сравнение с критическими значениями.
6. Уплотнение сети наблюдений в зонах высокой изменчивости.
7. Обновление 3D-модели.
8. Повтор итерации.

Практический пример. В качестве объекта исследования рассмотрен участке строительства двух многоэтажных жилых зданий с плитным фундаментом. Проектируемое здание относится к первой геотехнической категории, для которой требования к деформационным характеристикам основания и равномерности осадок являются определяющими. Ситуационный план площадки изысканий показан на рис. 1.

Глубина сжимаемой толщи оценивалась на основе расчета методом послойного суммирования и составляла порядка 15 м. В связи с этим программа инженерно-геологических изысканий была ориентирована на получение данных на глубину 15 м, по всему объему массива грунта, который показан на рис. 1 пунктирной линией.

По результатам первичных исследований были выделены следующие инженерно-геологические элементы: насыпные грунты, пылеватая супесь, суглинок и глина.

На основе исходных данных была построена трехмерная цифровая геотехническая модель, включающая поверхности кровли и подошвы выделенных элементов, а также распределения основных расчетных параметров (рис. 2, 3).

Модель использовалась как инструмент анализа изменчивости и планирования дальнейших этапов исследований.

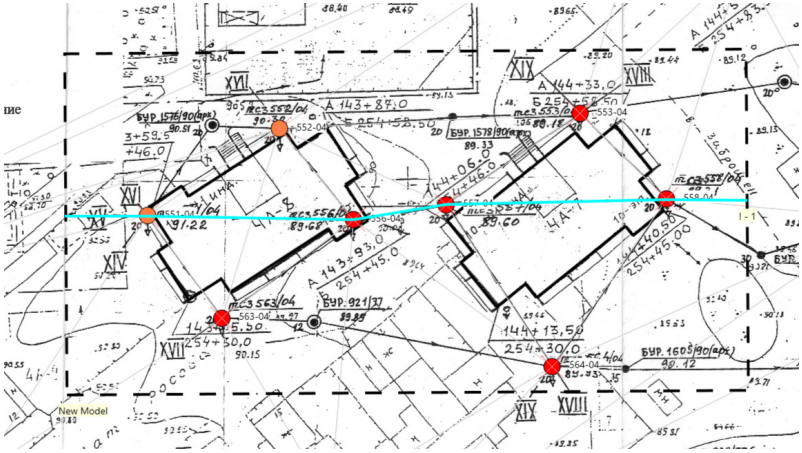


Рис. 1. Ситуационный план площадки изысканий

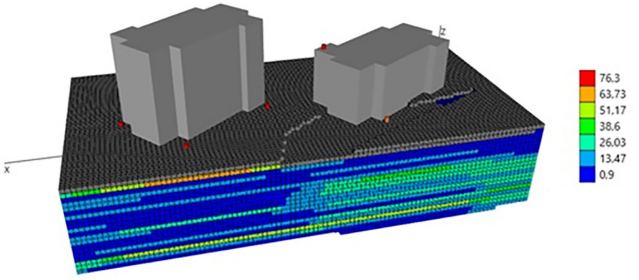


Рис. 2. Цифровая геотехническая модель

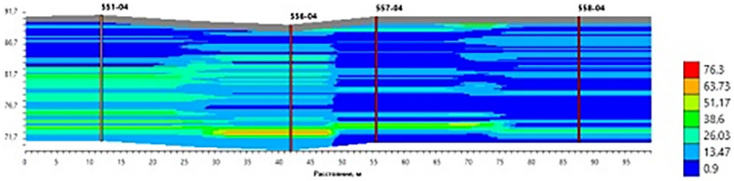


Рис. 3. Поле распределения модуля деформации по разрезу 1 – 1

Результаты. Анализ последовательных итераций показал, что при исходной редкой сети наблюдений пространственное положение границ инженерно-геологических элементов определялось с высокой неопределенностью. Добавление новых точек СРТ приводило к существенным изменениям в интерпретации стратиграфии, особенно в верхней части разреза.

После достижения определенной плотности наблюдений структура модели стабилизировалась: дальнейшее добавление точек оказывало минимальное влияние на геометрию слоев и статистические характеристики параметров.

Изменение коэффициента вариации. Для ключевых параметров грунтов были рассчитаны значения коэффициента вариации на каждом этапе итерационного процесса. Установлено, что:

– в верхних слоях, коэффициент вариации C_v, превышал 0,4, что указывает на высокую степень неоднородности;

– в более глубоких слоях значения C_v снижались до 0,15–0,20.

Это позволило сосредоточить дополнительные исследования в зонах максимальной неопределенности, а не равномерно по всей площадке.

Эффект адаптивного подхода. По сравнению с традиционной схемой изысканий предложенная методология позволила:

– сократить до двух число буровых скважин;

– увеличить до восьми количество СРТ-испытаний;

– повысить пространственную разрешающую способность 3D-модели;

– уменьшить неопределенность расчетных параметров.

При этом общая стоимость изысканий не увеличилась, а в ряде сценариев была снижена за счет сокращения объемов лабораторных исследований.

Влияние на расчетные характеристики. Использование уточненной 3D геотехнической модели (рис. 2) привело к снижению разброса прогнозируемых осадок плитного фундамента и более надежной идентификации зон повышенной сжимаемости. Это позволило внести коррективы в проектные решения на ранней стадии, до начала строительства.

Полученные результаты подтверждают гипотезу о том, что статические нормативные схемы инженерно-геологических изысканий не обеспечивают целенаправленного снижения неопределенности. В условиях выраженной пространственной неоднородности такие схемы либо оказываются избыточными, либо недостаточными.

Предложенный подход отличается тем, что рассматривает изыскания как процесс управления неопределенностью. В этом смысле он концептуально близок к байесовским процедурам обновления, хотя в настоящей работе используется более простая и практико-ориентированная формализация.

Следует отметить, что метод имеет ограничения. Для его применения требуется минимальный объем исходных данных, обеспечивающий первичную интерпретацию разреза. Кроме того, СРТ-корреляции носят

эмпирический характер и должны использоваться с учетом региональных особенностей.

Заключение. По результатам выполненных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Разработана адаптивная методология оптимизации инженерно-геологических изысканий, ориентированная на учет пространственной изменчивости грунтовых массивов.

2. Введен коэффициент вариации в качестве управляющего параметра, позволяющего формализовать критерии достаточности данных.

3. Показано, что СРТ может рассматриваться как основной метод получения информации о грунтовых условиях, обеспечивающий высокую пространственную разрешающую способность.

4. Продемонстрирована роль цифровых геотехнических моделей как инструментов принятия решений, а не только визуализации.

5. На примере реального объекта показано, что адаптивный подход позволяет снизить неопределенность расчетных параметров без увеличения стоимости изысканий.

Литература

1. *Vanmarcke E.H.* Random Fields: Analysis and Synthesis, 2010. 350 p. DOI: 10.1142/5807. EDN: WTCEQB.

2. *Baecher G.B., Christian J.T.* Reliability and Statistics in Geotechnical Engineering. 2003. 620 p.

3. *Fenton G.A., Griffiths D.V.* Risk Assessment in Geotechnical Engineering, 2008. 461 p.

4. *Болдырев Г.Г.* Вероятностная геотехника. Изд-во «Геоинфо», 2025. 526 с.

5. *Болдырев Г.Г.* Руководство по интерпретации данных испытаний методами статического и динамического зондирования для геотехнического проектирования. М. : Прондо, 2017. 475 с.

6. *Lunne T., Robertson P.K., Powell J.J.M.* Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice, 1997. 352 p.

7. *Mayne P.W.* SOA: Geotechnical Site Characterization in the Year 2012 and Beyond. 2012. P. 1–30.

8. *Демьянов В.В., Савельев Е.А.* Геостатистика. Теория и практика. 2010. 329 с.

9. *Болдырев Г.Г., Барвашов В.А., Шейнин В.И., Каширский В.И., Идрисов И.Х., Дивеев А.А.* Информационные системы в геотехнике – 3D-Геотехника // Геотехника. 2019. Т. 11, № 2. С. 6–27. DOI: 10.25296/2221-5514-2019-11-2-6-27. EDN: DKUSSH.

10. *Болдырев Г.Г., Луковкин Д.А., Анохин П.А., Новичков Г.А., Хрянина О.В.* Инженерно-геологические исследования с использованием цифровых технологий // Инженерные изыскания. 2022. Т. 16, № 3. С. 12–32. DOI: 10.25296/1997-8650-2022-16-3-12-32. EDN: CVBGAZ.

11. *Болдырев Г.Г.* Информационное моделирование в геотехнике // Информационное моделирование в задачах строительства и архитектуры : Мат-лы VIII Междунар. науч.-практ. конф. Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2025. С. 52–63. DOI: 10.23968/BIMAC.2025.008. EDN: XWPEKY.

12. *Tawelian L.R., Mickovski S.B.* The Implementation of Geotechnical Data into the BIM Process // Procedia Engineering. 2016. Vol. 143. P. 734-741. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.06.115.

13. *Konietzky H.* Building information modelling for geotechnical engineering. TU Bergakademie Freiberg. Geotechnical Institute, 2022. P. 1–32.

14. *Shepard D.* A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data // Proceedings of the 23rd ACM National Conference. 1968. P. 517–524. DOI: 10.1145/800186.810616.

УДК 004.896
DOI: 10.23968/BIMAC.2026.007

Згода Юрий Николаевич, канд. техн. наук,
специалист II категории Образовательного центра цифровых компетенций
(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)
E-mail: yurii.zgoda@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-6714-500X

Zgoda Iurii Nikolaevich, PhD in Sci. Tech.,
second category specialist of the Educational Center for Digital Competence
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ГЕНЕРАТИВНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ В ЗАДАЧАХ АРХИТЕКТУРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

ANALYSIS OF INFLUENCE OF THE GENERATIVE TOOLS ON THE EFFICIENCY OF LARGE LANGUAGE MODELS IN THE FIELD OF ARCHITECTURAL DESIGN

В данной работе рассматривается применение больших языков моделей для решения задач архитектурно-строительного профиля. Описывается подход по использованию LLM для автоматизированного построения архитектурных форм. Проведен вычислительный эксперимент по сравнению качества автоматизированной генерации геометрии с использованием различных LLM и различного ПО моделирования. Описаны критерии сравнения полученных результатов. Сформулированы выводы об их влиянии на точность моделирования и обозначены дальнейшие перспективы для исследований в данной области.

Ключевые слова: LLM, ТИМ, BIM, процедурная генерация, Blender, OpenSCAD.

The paper explores the use of large-scale model languages (LMs) for solving problems in the field of architecture and civil engineering. It describes an approach to using LLM for automated architectural form modeling. A computational experiment was performed to compare the quality of automated geometry generation using various LLMs and various modeling software. Comparison criteria for the achieved results are described. Conclusions are drawn regarding their impact on modeling accuracy and future research prospects in this area are outlined.

Keywords: LLM, TIM, BIM, procedural generation, Blender, OpenSCAD.

Современные большие языковые модели (англ. Large Language Model – LLM), такие как DeepSeek, ChatGPT, ГигаЧат и др., находят применение в различных областях науки и техники. За последние несколько лет они показали существенное развитие в таких областях, как анализ и обобщение

длинных текстов, автоматизация написания программного кода, анализ изображений и т. д. Исследуются вопросы их применения в образовательном процессе [1, 2]. Одним из достоинств LLM является способность обрабатывать запросы, составленные «человеческим языком» – без необходимости в освоении специального синтаксиса.

Особенно перспективным представляется использование LLM для автоматизации задач архитектурно-строительного профиля. На данный момент ИИ активно применяется для автоматизации разработки программ [3, 4]. Представляется, что в будущем LLM могут стать эффективным инструментом проектировщика в рамках ТИМ-моделирования и в существенной степени автоматизировать рутинные операции. Например, LLM смогут анализировать входную задачу, генерировать необходимый для ее реализации программный код с использованием API (англ. Application Programming Interface – интерфейс программирования приложения) и тем самым осуществлять моделирование. Но, как показали результаты нашего предыдущего исследования [5], на данный момент LLM склонны к грубым ошибкам даже в относительно простых задачах, таких как построение геометрии квартиры.

В рамках данной работы анализируется влияние доступного LLM инструментария на корректность результатов генерации. Большинство LLM способны применять разные языки программирования и оперировать фактами о современных программах. Научная новизна работы заключается в анализе влияния конкретных инструментов, используемых LLM, на качество генерации.

Целью данной работы является сравнительный анализ корректности решения задач архитектурного проектирования большими языковыми моделями при варьировании используемого программного инструментария. В рамках данной цели были решены следующие задачи:

1. Для вычислительного эксперимента определен набор программ автоматизированной генерации и отобраны тестируемые LLM.

2. Разработаны тестовые задачи разной степени сложности в области архитектурного проектирования.

3. Сформулированы критерии сравнения результатов, полученных в рамках каждой из задач с использованием различных LLM.

4. Осуществлен вычислительный эксперимент по решению тестовых задач языковыми моделями и проведен анализ полученных результатов.

В качестве языковых моделей были выбраны ГигаЧат актуальной версии, DeepSeek 3.2 и ChatGPT 5.2 Instant. Все три решения являются распространенными LLM с обширной базой пользователей. В качестве программных решений были выбраны Blender 5.0.1 и OpenSCAD 2021.01. OpenSCAD был успешно апробирован в контексте генерации архитектурных форм с использованием ИИ в работе [6], в то время как Blender был апробирован в рамках аналогичной задачи в ранее проведенном нами исследовании [5].

Предлагаемая в работе методика тестирования может быть успешно перенесена на ПО ТИМ-моделирования – как зарубежного, так и отечественного. Blender и OpenSCAD выбраны в связи с тем, что являются свободно доступными, имеют открытый исходный код и предоставляют возможности автоматизации. Проведение аналогичных тестов в рамках ТИМ-ПО представляется приоритетным для развития этого исследования.

Для эксперимента были разработаны следующие тестовые задачи:

1. Группа из 12 колонн высотой 20 метров и диаметров 1 метр, распределенных по кругу.

2. Комната площадью около 16 кв. м, с окном и дверью, без мебели.

3. Однокомнатная квартира с жилой комнатой площадью около 16 кв. м, кухней с площадью около 10 кв. м, лоджией и прихожей.

Первая задача предназначена для оценки способности различных нейросетей решать задачи по подробному техническому заданию. В ее формулировке есть лишь два не заданных явно элемента – расстояние от центра окружности до колонн и способ расстановки объектов по окружности.

Вторая задача исследует способности нейросетей к самостоятельному подбору параметров. Необходимо определить параметры стен, расположение и габариты окна и двери, выполнить вырезы в стенах.

Третья задача по своей сути представляет многократное повторение второй, т. к. необходимо осуществить моделирование нескольких помещений. Сложность этой задачи заключается в необходимости расположить помещения корректно относительно друг друга – как с точки зрения примыкания геометрии, так и с точки зрения планировки квартиры.

Для всех решений представлены результаты оценки по следующим критериям: отсутствие геометрических ошибок или артефактов (присутствуют/отсутствуют), соответствие результата запросу (соответствует/не соответствуют). Более сложные количественные или качественные метрики не были включены ввиду ограничений по объему работы.

Для передачи каждой из задач в LLM, был использован следующий запрос: «Составь программный код, который позволит в полностью автоматическом режиме смоделировать геометрию по следующему описанию: [текстовое описание задачи]. Для решения задачи используй [Python API в Blender | интерфейс программирования OpenSCAD]». Каждый запрос выполнялся в новом чате.

На рис. 1 приведены результаты решения первой задачи. Здесь и далее, результаты генерации на иллюстрации расположены следующим образом: сверху – Blender, снизу – OpenSCAD. Слева – DeepSeek, по центру – ChatGPT, справа – ГигаЧат.

Все LLM в рамках этой задачи сгенерировали схожие решения, соответствующие запросу и не содержащие ошибок геометрии. Единственное различие заключалось в том, что ГигаЧат (в отличие от ChatGPT и DeepSeek)

не использовал OpenSCAD-параметр детализации колонн, поэтому они являются пятиугольниками в сечении.

На рис. 2 приведены результаты решения второй задачи. Практически все решения содержат ошибки геометрии. Для Blender у всех LLM можно заметить артефакт z-fighting. Для OpenSCAD z-fighting не наблюдается только у ГигаЧата, но его геометрия не соответствует запросу. С точки зрения соответствия запросу, DeepSeek и ChatGPT показали допустимый результат только при использовании OpenSCAD, в то время как версия Blender-DeepSeek содержит выступающее наружу окно, а версия Blender-ChatGPT расположена внутри коробки, закрывающей геометрию комнаты. ГигаЧат в обоих конфигурациях сгенерировал наименее корректное решение: в Blender-версии дверь и окно находятся внутри комнаты, в OpenSCAD-версии они «выглядывают» из крыши и пола.

На рис. 3 приведены результаты решения разными LLM третьей задачи.

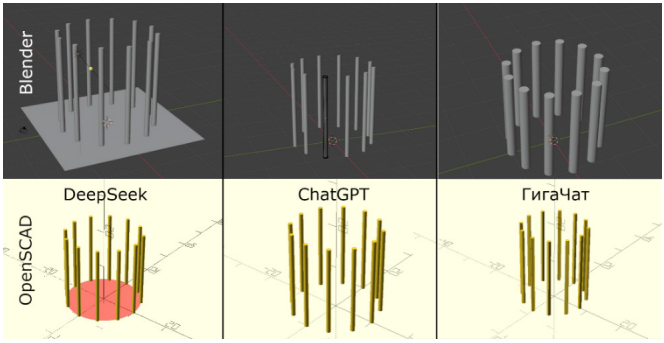


Рис. 1. Применение LLM для выполнения задачи № 1

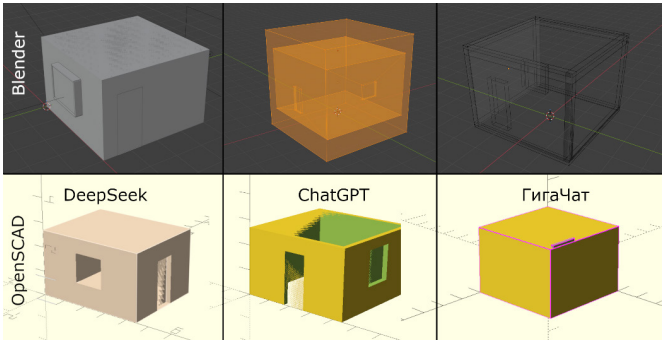


Рис. 2. Применение LLM для выполнения задачи №2

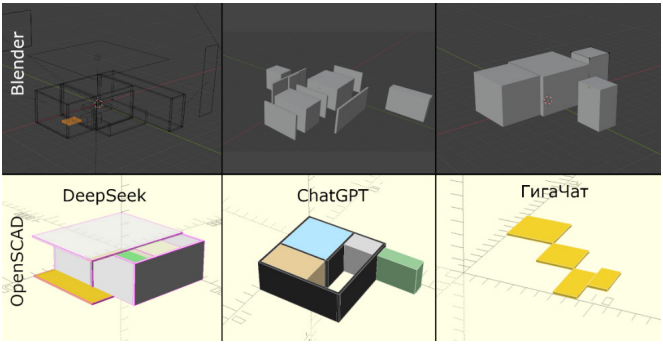


Рис. 3. Применение LLM для выполнения задачи № 3

В рамках третьей задачи, все три LLM для каждого используемого ПО сгенерировали решения без заметных графических артефактов, но некорректные с точки зрения соответствия запросу. Отметим, что при использовании OpenSCAD результаты DeepSeek и ChatGPT хоть и остаются некорректными, но значительно больше похожи на планировки квартир – зоны помещений примыкают друг к другу. ГигаЧат для OpenSCAD предложил наименее корректное решение.

В таблице приведены обобщенные результаты генерации. Используемые обозначения: G+ – корректная геометрия, G- – геометрия с видимыми ошибками, P+ – соответствие запросу, P- – нет соответствия запросу, P± – частично соответствует запросу.

Результаты анализа генерации с использованием LLM

ПО	Blender			OpenSCAD		
LLM	DeepSeek	ChatGPT	ГигаЧат	DeepSeek	ChatGPT	ГигаЧат
Задача 1	G+ P+	G+ P+	G+ P+	G+ P+	G+ P+	G+ P+
Задача 2	G- P±	G- P±	G- P-	G- P+	G- P+	G+ P-
Задача 3	G+ P-	G+ P-	G+ P-	G+ P±	G+ P±	G+ P-

Таким образом, все поставленные задачи выполнены. Проведен эксперимент с использованием ИИ-генерации, выполнен сравнительный анализ отличий между результатами генерации для каждого из ПО. Обнаружено, что варианты для OpenSCAD зачастую корректнее в сравнении с Blender-реализацией. С точки зрения качества генерации в зависимости от LLM, ГигаЧат уступает в корректности работы ChatGPT и DeepSeek.

Из полученных результатов можно сделать вывод о том, что используемый инструментарий оказывает влияние на качество автоматизированной генерации. В качестве основных перспектив для продолжения данного исследования предполагается развитие процедуры эксперимента путем многократного повторения запросов (для исключения влияния стохастической природы LLM на результаты оценивания) и апробация предложенной методики на ТИМ-ПО.

Литература

1. *Костко О.Ю. Минулин И.Г., Туранская К.А.* Интеграция искусственного интеллекта в архитектурное образование: философско-культурологические вызовы и педагогические стратегии // Архитектура, строительство, транспорт. 2025. Т. 5, № 3. С. 8–25. DOI: 10.31660/2782-232X-2025-3-8-25. EDN: CPLNDA.

2. *Назаров Д.М., Бегичева С.В.* Применение больших языковых моделей в образовательном процессе // Бизнес. Образование. Право. 2024. № 3(68). С. 430–436. DOI: 10.25683/VOLBI.2024.68.1057. EDN: EGTHFW.

3. *Долгов А.П., Петров В.А., Полтавский Я.И.* Влияние искусственного интеллекта на программирование: автоматизация разработки, тестирования и DevOps-процессов // Нанотехнологии: наука и производство. 2025. № 4. С. 25–30. EDN: ORMFRC.

4. *Ишанхонов А.Ю., Пшиченко Д.В., Можаровский Е.А., Алуев А.С.* Роль больших языковых моделей в интегрированных средах разработки нового поколения // Программные системы и вычислительные методы. 2024. № 4. С. 140–150. DOI: 10.7256/2454-0714.2024.4.72022. EDN: KMTOBG.

5. *Згода Ю.Н.* Сравнение возможностей больших языковых моделей при генерации архитектурных решений по описанию // Новые информационные технологии в архитектуре и строительстве : Мат-лы VIII Междунар. науч.-практ. конф. Екатеринбург : УрГАХУ, 2025. С. 19. EDN: CZSNJS.

6. *Любимов А.В., Максимова С.В., Семина А.Е.* Использование ChatGPT для создания 3D-моделей // Новые информационные технологии в архитектуре и строительстве : Мат-лы VI Междунар. науч.-практ. конф. Екатеринбург : УрГАХУ, 2023. С. 52. EDN: GQUCAH.

УДК 004.896
DOI: 10.23968/BIMAC.2026.008

Иванов Кирилл Евгеньевич, магистрант
(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)
E-mail: ivanov.ke72@gmail.com
Оксанен Даниэль Сергеевич, магистрант
(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)
E-mail: danieloksanen77@mail.ru
Ведерникова Алёна Андреевна, ст. преподаватель
(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)
E-mail: alena@avedernikova.ru

Ivanov Kirill Evgenievich, Master's degree student
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)
Oksanen Daniel Sergeevich, Master's degree student
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)
Vedernikova Alyona Andreevna, senior lecturer
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

АЛГОРИТМИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЖИЛЫХ МАССИВОВ НА ИСКУССТВЕННО СОЗДАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ НА ОСНОВЕ BIM+GIS+AI

ALGORITHMIC DESIGN OF RESIDENTIAL COMPLEXES ON ARTIFICIALLY CREATED TERRITORIES BASED ON BIM+GIS+AI

В статье исследуются градостроительные и технологические решения для жилой застройки на искусственно созданных территориях. Рассмотрены основные проблемы проектирования застройки на подобных участках, предложен комплексный подход с интеграцией Building Information Modeling (BIM) технологий на всех этапах – от предпроектного анализа до эксплуатации. Особое внимание уделено формированию принципов цифровой методики на базе интеграции Geographic Information Systems (GIS) и Artificial Intelligence (AI), позволяющей анализировать слабые и сильные стороны территорий, моделировать рельеф и геотехнические условия, предлагать оптимальные архитектурно-планировочные и конструктивные решения с учётом климатических и гидрогеологических факторов, прогнозировать риски и формировать рекомендации на основе строительных норм. Актуальность исследования обусловлена дефицитом свободных земельных ресурсов в крупных городах, ростом урбанизации и необходимостью расширения жилой застройки за счёт искусственно созданных территорий, что особенно проявляется в прибрежных и дельтовых городах, к числу которых относится Санкт-Петербург.

Проблематика исследования заключается в отсутствии автоматизированных методик для комплексного анализа и прогнозирования поведения застройки на искусственно созданных территориях.

Научная новизна работы состоит в разработке комплексной методики проектирования в условиях искусственно созданных территорий, интегрирующая связку BIM, GIS и AI-технологий.

Научная значимость исследования заключается в разработке подхода к проектированию жилых массивов на искусственно созданных территориях, позволяющего на этапе предпроектного анализа учитывать весь спектр характерных для них рисков: сложные гидрогеологические условия, неустойчивость грунтов, повышенную деформативность оснований и требования к экологической безопасности. Работа имеет значимость для специалистов в сферах архитектуры и градостроительства, BIM-специалистов, инженеров по Data Science, разработчиков строительного программного обеспечения и аналитиков в области цифрового проектирования.

Ключевые слова: намывные территории, искусственно созданные территории, BIM-технологии, архитектурно-планировочные решения, GIS-анализ, AI-алгоритмы.

The article examines urban planning and technological solutions for residential development on artificially created territories. Artificially created territories are understood as land plots formed through targeted engineering interventions in the terrain and foundation: hydraulic fill in water bodies, embankment construction, reclamation of industrial zones, and development of areas with modified hydrological regimes; such territories possess specific geotechnical characteristics requiring specialized design approaches. The main challenges of designing development on such sites are analyzed, and a comprehensive approach is proposed that integrates Building Information Modeling (BIM) technologies across all stages – from pre-design analysis to operation. Particular attention is given to developing principles of a digital methodology based on GIS AI integration (Geographic Information Systems, Artificial Intelligence), enabling analysis of territories' weaknesses and strengths, modeling of terrain and geotechnical conditions, generation of optimal architectural-planning and structural solutions considering climatic and hydrogeological factors, risk prediction, and formulation of recommendations based on building codes. The research relevance stems from the shortage of free land resources in major cities, urbanization growth, and the need to expand residential development through artificially created territories, particularly evident in coastal and delta cities such as Saint Petersburg.

The research problem lies in the absence of automated methodologies for comprehensive analysis and prediction of development behavior on artificially created territories.

The scientific novelty of the work lies in the development of a comprehensive design methodology for conditions of artificially created territories, which integrates the synergy of BIM, GIS, and AI technologies.

The scientific significance of the research lies in the development of an approach to the design of residential areas on artificially created territories. This approach makes it possible, at the pre-design stage, to take into account the full range of risks specific to such areas: complex hydrogeological conditions, soil instability, increased deformability of foundations, and environmental safety requirements. The work is relevant for specialists in architecture and urban planning, BIM experts, Data Science engineers, construction software developers, and analysts in digital design.

Keywords: alluvial territories, artificially created territories, BIM technologies, architectural-planning solutions, GIS analysis, AI algorithms.

Введение. В мировой практике искусственно созданные территории рассматриваются как один из ключевых инструментов городского развития в условиях дефицита свободных земель и ужесточения требований к экологической и инженерной безопасности строительства. Под искусственно созданными территориями понимаются земельные участки, сформированные в результате намыва или насыпи грунта, рекультивации промышленных и портовых зон, а также других инженерных мероприятий, приводящих к появлению новых площадок для застройки в акваториях или на неблагоприятных в естественном состоянии территориях.

Использование таких территорий обусловлено несколькими группами факторов:

Во-первых, это пространственные ограничения: крупные города исчерпывают потенциал развития в существующих границах и вынуждены создавать новые площадки для жилищного и общественно-делового строительства.

Во-вторых, это инженерные и экологические требования, связанные с необходимостью выведения застройки из зон подтопления и неблагоприятных грунтов, а также возможностью целенаправленно формировать устойчивые основания с прогнозируемыми характеристиками.

В-третьих, искусственно созданные территории позволяют переосмыслить функциональную структуру прибрежных и портовых зон, создавая новые общественные пространства и транспортные узлы.

В ряде исследований, посвящённых намывным территориям Санкт-Петербурга, подчёркивается их стратегическая роль в формировании новых городских пространств. Так, В. Д. Тонких и А. В. Вешняков [1] показывают, что намывные участки Васильевского острова являются одним из основных резервов развития города, обеспечивающим размещение жилой застройки и общественных функций при сохранении исторического центра. Е. Л. Уварова и В. А. Павлова [2] раскрывают принципы комплексной организации намывных территорий, включающие все этапы инженерной подготовки, развитие транспортного каркаса и формирование сбалансированного функционального зонирования, что подтверждает необходимость системной методики проектирования для подобных объектов.

Таким образом, актуальность исследования заключается в необходимости разработки методики цифрового проектирования жилых массивов на искусственно созданных территориях, обеспечивающей комплексный учёт геотехнических, градостроительных и экологических факторов и опирающейся на интеграцию BIM, GIS и AI-технологий.

Анализ степени разработанности вопроса об искусственно созданных территориях показывает, что проблема изучается в нескольких ключевых аспектах. В работах, посвящённых формированию намывных территорий Санкт-Петербурга, подробно рассматриваются вопросы:

– инженерной подготовки;

– формирования новых градостроительных каркасов и интеграции намывных участков в существующую городскую структуру;

– исследования гидротехнических и экологических аспектов строительства на намывных основаниях, где акцентируются риски изменения гидрологического режима и повышенная деформативность грунтов с необходимостью длительного мониторинга.

В области современных строительных технологий наблюдается активное получение опыта в практической реализации BIM-моделирования. Д. А. Канатов [3] показывает, что внедрение BIM позволяет повысить согласованность проектных решений и обеспечивает более точную оценку сроков и стоимости строительства за счёт параметризирования моделей и сквозного управления информацией. T. Moses [4] и соавторы демонстрируют на примере 5D BIM включение стоимостного измерения и календарного планирования в цифровую модель, что повышает прозрачность проектного менеджмента и позволяет оперативно оценивать последствия изменений.

Применение ГИС-технологий рассмотрено в исследованиях V. D'Ambrosio [5], где показаны возможности пространственного анализа и поэтапного моделирования в контексте городского планирования. Однако вопросы учёта российских нормативов и специфики намывных территорий в этих работах не рассматриваются. С другой стороны, методы использования AI-технологий в строительстве развиваются первостепенно в исследованиях цифровых двойников и интеграции искусственного интеллекта в инженерные расчёты, а также решение эстетических задач и автоматизации проектирования.

Цель работы. Разработать комплексный подход к созданию проектных решений на намывных и иных искусственно созданных территориях с интеграцией BIM-технологий, GIS-анализов и AI-алгоритмов. Особое внимание уделяется формированию методики проектирования, которая может быть реализована на основе различных программных комплексов.

Методология исследования основана на сравнительном анализе международного опыта в странах с развитым строительством на искусственно созданных территориях, а также на рассмотрении российских примеров намывных территорий Санкт-Петербурга. Комплексное решение проектных вопросов в исследовании представляет собой формирование концепции и методики цифрового проектирования, в рамках которой унифицируются требования нормативной базы, современные методы генерации проектных решений и инструменты прогнозирования поведения сооружений.

Мировой опыт. В мировой практике наиболее показательные примеры реализации искусственно созданных территорий связаны с крупными проектами прибрежного освоения. В ОАЭ это архипелаг «Пальма Джумейра», сформированный для размещения жилой и рекреационной застройки; в Нидерландах – проект Маасвлакте-2, обеспечивший расширение портовой

и логистической инфраструктуры Роттердама; в Сингапуре – территория Туас, где на намывных участках размещены промышленные и транспортные объекты; в Японии – международный аэропорт Кансай (Kansai International Airport) (рис. 1), построенный на насыпном искусственном острове, возведенным в южной части Осакского залива вблизи города Осака. Эти кейсы демонстрируют, что искусственные территории рассматриваются не как локальные инженерные решения, а как инструменты долгосрочной пространственной политики и перераспределения функций города.

С технологической точки зрения реализация искусственно созданных территорий опирается на сочетание методов намыва и насыпи с применением сложных систем инженерной защиты. В составе таких решений используются волноломы из природного камня, оградительные дамбы, берегоукрепляющие сооружения, намыв морскими песками с последующей цементацией, а также геосинтетические материалы, обеспечивающие распределение нагрузок и снижение фильтрационных деформаций. Для минимизации экологического воздействия практикуется создание искусственных рифов, формирование компенсационных акваторий и системный мониторинг изменений гидрологического режима и состояния донных биоценозов.

Таким образом, современные вызовы, включая дефицит земельных ресурсов и сложные гидрогеологические условия, высокие требования к плотности застройки, привели к активному освоению искусственно созданных (насыпных и намывных) территорий.



Рис. 1. Международный аэропорт Кансай в Японии[1]

[1] URL: https://www.mlit.go.jp/koku/15_hf_000033.html

Существующая ситуация объекта исследования. Санкт-Петербург сталкивается с дефицитом земель под застройку, что делает освоение искусственных территорий (намывных, рекультивированных) стратегически важным направлением градостроительной политики. Такие территории требуют особых проектных решений из-за сложности грунтовых условий, рисков подтопления и высокой нагрузки на транспортную и инженерную инфраструктуры. Урбанизация в условиях ограниченных земельных ресурсов усиливает необходимость развития жилого фонда и общественных пространств.

При этом сохранение исторического центра и уникального городского ландшафта остаётся приоритетом. Намывные территории, реализуемые в акватории Невской губы и Финского залива, рассматриваются как одна из немногих возможностей для масштабного расширения городского строительства без выхода за административные границы.

Особенности Санкт-Петербурга в данном контексте включают:

1) уникальные градостроительные условия, обусловленные расположением в дельте Невы и развитием на слабых водонасыщенных грунтах с высокой степенью сжимаемости;

2) частые перепады температур, высокую влажность и риск наводнений;

3) жёсткие требования к сохранению исторического центра и высокую плотность населения;

4) статус города федерального значения с населением свыше 7 миллионов человек.

Эти факторы делают освоение искусственно созданных территорий одним из ключевых инструментов формирования устойчивой городской среды.

Геологические особенности при создании искусственных территорий в Санкт-Петербурге выражены:

1) высокой сжимаемостью и неоднородностью грунтов;

2) многочастным гранулометрическим составом (пески, супеси, илистые включения);

3) длительным периодом консолидации намывного массива (5–10 лет);

4) колебаниями уровня Финского залива;

5) рисками фильтрационного выпора;

6) активной динамикой береговых процессов.

Насыпные территории создаются путём отсыпки привозных грунтов с послойным уплотнением. В Санкт-Петербурге данный метод применялся при создании территории морского порта. Намывные территории формируются гидромеханизированным способом, при котором грунты добываются со дна водоёма и транспортируются в проектную зону. Таким способом сформированы западные части Васильевского острова и Морского фасада.

С точки зрения экологического воздействия формирование искусственных территорий способно вызывать изменение гидрологического режима (снижение скоростей течения), повышение мутности вод и трансформацию

донных биоценозов. Мониторинг последствий намыва в Невской губе показывает, что экосистема способна восстановиться в течение 3–5 лет после окончания работ, а компенсационные мероприятия позволят ускорить восстановление, что показывает возможность внедрения и практического использования намывных технологий в городских условиях [6].

Наиболее частые градостроительные вопросы при формировании жилых массивов на искусственно созданных территориях в Санкт-Петербурге сегодня связаны с геотехническими рисками и влиянием неустойчивости грунтов на инфраструктуру. Возникает необходимость обеспечения транспортной доступности и нормативной обеспеченности зелёными насаждениями при фактическом формировании новой территории «с нуля», что усложняет интеграцию с существующими системами. С учетом транспортной инфраструктуры и градостроительных норм формируются архитектурно-планировочные решения, предусматривающие функциональное зонирование и смешанное использование территорий, при этом важной задачей является создание целостной городской среды и её сопряжение с историко-культурной застройкой, поскольку новая застройка должна органично вписываться в панорамы города.

Так, анализ мирового опыта и изучение современных задач развития городов позволяют сформировать ключевые рекомендации для проектирования и строительства искусственно созданных территорий:

– применение геосинтетических материалов для укрепления оснований и использование комбинированных методов (намыв + насыпь) с поэтапным освоением территорий и обязательным мониторингом геотехнических и экологических параметров;

– проведение экологических экспертиз и создание компенсационных природных зон;

– развитие механизмов государственно-частного партнёрства;

– комплексное планирование инфраструктуры на основе цифрового анализа потребностей и сценарного моделирования.

На этом фоне традиционные подходы к проектированию демонстрируют ограничения, что обуславливает необходимость разработки новых методик, основанных на интеграции цифровых технологий и алгоритмизированного анализа.

Концепция и методика цифрового проектирования на искусственно созданных территориях. Предлагаемая в исследовании методика цифрового проектирования на искусственно созданных территориях основана на цикличной интеграции искусственного интеллекта (AI), геоинформационных систем (GIS), информационного моделирования зданий (BIM) и специализированной базы данных (Data Base). Концепция предполагает переход от линейного проектирования к итеративному алгоритмизированному процессу, где генерирующий агент выступает центральным элементом управления [7],

обеспечивая анализ и оптимизацию решений на основе больших информационных массивов. Методика ориентирована на снижение рисков, связанных с неустойчивостью намывных и насыпных оснований, а также на повышение эффективности реализации решений на искусственно созданных территориях.

Этап 1. Сбор и структурирование исходных данных.

Первый этап предусматривает комплексный сбор и структурирование исходных данных для разработки будущей искусственно созданной территории, включающий:

1) инженерно-геологические и гидрологические изыскания (анализ грунтовых условий, гидрогеологического режима, потенциальных рисков просадки, разжижения и фильтрационного выпора), а также сбор данных о гидродинамических характеристиках акватории (волновой режим, направления и скорости течений, ледовые нагрузки) и прогноз изменения уровня моря (залива) с учётом климатических сценариев;

2) геоинформационный сбор данных о рельефе, ландшафте, существующей инженерной и транспортной инфраструктуры в формате GIS-слоёв с единой системой координат;

3) анализ основных положений градостроительного законодательства[1], региональных и местных нормативов[2] для проектирования, документации территориального планирования и зонирования территорий.

Структурированные данные приводятся к унифицированным форматам (BIM, GIS, табличные и векторные базы данных), согласованной системе координат и единой семантической модели описания объектов, что обеспечивает отсутствие разнородности пространственной и атрибутивной информации и формирование интегрированной информационной базы, передаваемой AI-агенту для последующей обработки и анализа.

Этап 2. Итеративная генерация концептуальных решений AI-агентом.

На втором этапе спроектированные исходные данные передаются генерирующему агенту, осуществляющему их обработку с использованием специализированной базы данных, содержащей верифицированную и стандартизированную информацию о реализованных проектах освоения искусственно созданных территорий в различных странах.

База данных формируется на основе научных публикаций, проектной документации, материалов технического мониторинга и отчётов профильных организаций. Для каждого объекта фиксируется степень полноты инженерно-геологического, геотехнического и эксплуатационного мониторинга, а все критерии приводятся к общему формату.

---

[1] Градостроительный кодекс Российской Федерации. Ред. от 29.12.2004 № 190-ФЗ.

[2] СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений»; СП 47.13330.2016 «Инженерные изыскания для строительства на слабых грунтах».

Информация структурируется по характеристикам территории, методам формирования основания, архитектурно-градостроительным и конструктивным решениям, результатам мониторинга деформаций и эксплуатационным показателям.

На основе методов машинного обучения AI-агент выполняет множественное сопоставление текущих проектных условий с накопленными проектами и формирует концептуальные решения, включающие размещение строительного пятна, а также примерные параметры застройки и предварительные рекомендации по инженерной подготовке территории.

Этап 3. Комплексная оценка и итеративная корректировка концепции.

На третьем этапе осуществляется интегрированная оценка концептуальных решений, сформированных AI-агентом, с использованием автоматизированного анализа и экспертного сопровождения.

AI-агент выполняет предварительную многокритериальную проверку решений по параметрам технической реализуемости, экономической эффективности, нормативного соответствия и инженерной безопасности, что позволяет исключить заведомо нецелесообразные варианты.

Отобранные решения передаются специалистам в области градостроительства и архитектуры для профессиональной адаптации с учётом историко-культурного, ландшафтного и социально-функционального контекста территории.

Роль эксперта заключается в целенаправленной корректировке предварительно оптимизированных решений, а не в их повторной разработке, что обеспечивает повышение качества концепции при сокращении временных затрат.

При выявлении несоответствий осуществляется возврат к предыдущим этапам с уточнением исходных условий, после чего цикл генерации и оценки повторяется.

Этап 4. Поэтапная генерация и детализация инженерных решений.

После утверждения и адаптации на предыдущем этапе концепции, осуществляется поэтапный переход от градостроительных решений к инженерно-конструктивной проработке территории, реализуемый в соответствии с принятой в проектной практике последовательностью стадий: мастер-планирование, технико-экономическое обоснование (ТЭО), предпроектная стадия, проектная документация (ПД), рабочая документация (РД).

На стадии мастер-плана и ТЭО AI-агент формирует укрупнённые сценарии освоения территории, оценивает варианты функционального зонирования, плотности застройки, транспортной обеспеченности и инженерной инфраструктуры, а также выполняет предварительный анализ экономической эффективности и инвестиционной целесообразности решений.

На предпроектной стадии осуществляется уточнение инженерной подготовки территории и параметров застройки, включая выбор методов формирования основания предварительный подбор типов фундаментов.

На стадиях разработки проектной и рабочей документации генерирующий агент совместно со специалистами формирует детализированные конструктивные решения зданий и сооружений, включающие типы фундаментов, материалы несущих конструкций с учётом агрессивности среды, мероприятия по гидроизоляции, защите от коррозии и сейсмическому воздействию.

Формирование инженерных решений осуществляется на основе расчетных моделей, результатов геотехнического моделирование и комплексного анализа рисков, что обеспечивает техническую реализуемость, нормативную обоснованность и адаптацию к исследуемой территории.

Этап 5. Информационное моделирование в BIM-среде.

На пятом этапе специалисты переводят детализированные решения AI-агента в параметрическую BIM-модель (Autodesk Revit, Civil 3D или аналогичные платформы) [8]. Модель включает 3D-представление жилого массива, конструктивные элементы, инженерные сети и инфраструктуру с автоматической привязкой к GIS-данным о территории. Проводится проверка коллизий, оптимизация конструкций и формирование исполнительной документации.

Этап 6. Выдача проектной документации и прохождение экспертизы.

После успешного BIM-моделирования проектная документация (рабочие чертежи, спецификации, 4D/5D-модели с учётом сроков и стоимости) проходит государственную и негосударственную экспертизу. Утверждённые материалы передаются генподрядчику для организации строительных работ.

Этап 7. Реализация строительных работ и мониторинг.

Седьмой этап охватывает активный процесс строительства искусственно созданной территории: поэтапное формирование основания, возведение инженерной инфраструктуры, монтаж жилых объектов. Параллельно ведётся инструментальный мониторинг ключевых параметров (осадки, уровни грунтовых вод, деформации конструкций) с передачей данных в AI-систему для оперативной корректировки работ.

Этап 8. Обратная связь и пополнение базы данных.

Завершающий этап предполагает сбор всех данных проекта (от концептуальных решений AI до технических решений) с последующей интеграцией в имеющуюся базу данных в виде структурированных временных рядов и геопространственных слоёв; что обеспечивает последующее дообучение системы, где накапливание кейсов повышает точность прогнозирования и генерации решений для последующих проектов, а также формируется замкнутый цикл непрерывного совершенствования методики.

Общее представление методики можно представить с помощью блок-схемы (рис. 2).

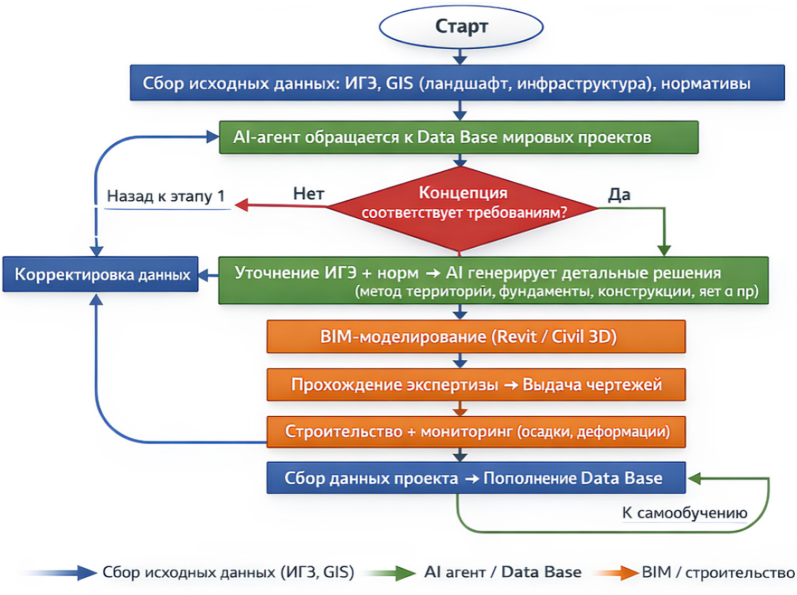


Рис. 2. Методика цифрового проектирования на искусственно созданных территориях (BIM + GIS + AI)

Выводы. Была сформирована и предложена концепция связи технологий BIM+GIS+AI, которые представляет собой актуальные инструменты для разработки проектов на искусственно созданных территориях со сложными ландшафтными условиями. Предложенная методика обеспечивает комплексный учёт рисков намывных и насыпных оснований, прогнозирование деформаций и выбор рациональных конструктивных решений на всех этапах проектирования.

Алгоритмизированное проектирование в составе предложенной методики позволяет оптимизировать ключевые аналитические процессы: выявление сильных и слабых сторон участка, генерацию конструктивных и планировочных решений с учётом инсоляции и ветрового режима. Методика применима не только в контексте Санкт-Петербурга, но также в контексте других городов с аналогичными условиями.

Реализация предложенной методики позволит достичь следующих эффектов: снижение проектных ошибок, ускорение проектирования, повышение точности прогнозов, оптимизации затрат, сокращение сроков реализации и прохождения процессов согласования проектных решений.

Литература

1. *Тонких В.Д., Вешняков А.В.* Формирование новых городских пространств Санкт-Петербурга на намывных территориях Васильевского острова // Перспективы науки. 2022. № 12(159). С. 120–123. EDN: OYPRUS.

2. *Уварова Е.Л., Павлова В.А.* Комплексная организация намывных территорий в Санкт-Петербурге // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). 2023. Т. 28, № 3. С. 92–108. DOI: 10.33764/2411-1759-2023-28-3-92-108. EDN: VCCCPW.

3. *Канатов Д.А.* Применение технологии информационного моделирования строительства (BIM) в проектировании: преимущества, эффекты и перспективы // Вестник науки. 2025. Т. 3, № 1(82). С. 1163–1166. EDN: HCFQZA.

4. *Moses T., Heesom D., Oloke D.* Implementing 5D BIM on construction projects: contractor perspectives from the UK construction sector // Journal of Engineering, Design and Technology. 2020. Vol. 18, No. 6. P. 1867–1888. DOI: 10.1108/jedt-01-2020-0007. EDN: LZOPFI.

5. *D'Ambrosio V., Di Martino F., Miraglia V.* A GIS-based framework to assess heat-wave vulnerability and impact scenarios in urban systems // Scientific Reports. 2023. Vol. 13, No. 1. P. 13073. DOI: 10.1038/s41598-023-39820-0. EDN: KVSGLY.

6. *Макарова С.В.* Экологические последствия создания намывных территорий // Российский журнал прикладной экологии. 2024. № 2(38). С. 19–27. DOI: 10.24852/2411-7374.2024.2.19.27. EDN: DCYWVA.

7. *Шананин В.А., Лосев К.Ю.* Создание цифровых двойников в строительстве при помощи искусственного интеллекта // Инновации и инвестиции. 2023. № 6. С. 537–360. EDN: NXXOJC.

8. *Курбатов В.Л., Римшин В.И., Шубин И.Л., Волкова С.В.* Информационное моделирование и искусственный интеллект в современном строительстве и жилищно-коммунальном хозяйстве. Изд. 2-е. М. : АСВ, 2025. 374 с. EDN: RVXQKU.

УДК 519.876.5
DOI: 10.23968/BIMAC.2026.009

Каракозова Ирина Викторовна, канд. техн. наук, доцент
(Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ))
E-mail: i.kar@inbox.ru, ORCID: 0000-0002-7913-919X
Стеблюк Леонид Николаевич, магистрант
(Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ))
E-mail: gori79@mail.ru, ORCID: 0009-0005-3777-2308

Karakozova Irina Viktorovna, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU))
Steblyuk Leonid Nikolaevich, Master's degree student
(Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU))

ТРЕБОВАНИЯ К РАЗРАБОТКЕ СМЕТНЫХ НОРМ В УСЛОВИЯХ ИХ ИНТЕГРАЦИИ В ЦИФРОВУЮ ИНФОРМАЦИОННУЮ МОДЕЛЬ

REQUIREMENTS FOR THE DEVELOPMENT OF ESTIMATED RATES IN THE CONDITIONS OF THEIR INTEGRATION INTO A DIGITAL INFORMATION MODEL

В статье предложены подходы к параметризации строительных ресурсов в сметных нормах при их интеграции в цифровую информационную модель объекта капитального строительства. Отражена необходимость пересмотра традиционных принципов разработки сметных норм в условиях внедрения технологии информационного моделирования, ориентированного на получения сметной стоимости на основании проектных чертежей и сборников нормативных показателей. Сформулированы и структурированы требования к разработке сметных норм, обеспечивающие их соответствие геометрическим и атрибутивным параметрам элементов информационной модели. Описаны требования к наименованию и составу сметных норм, параметризации и измерителям, классификации и кодированию строительных ресурсов, а также к процессу взаимодействия участников при интеграции сметных норм в цифровую информационную модель.

Ключевые слова: технологии информационного моделирования, сметная норма, параметризация, модульный элемент, цифровая информационная модель.

The article proposes approaches to the parametrization of construction resources in estimates norm when they are integrated into the digital information model of a capital construction facility. It reflects the need to revise the traditional principles of developing estimated

norm in the context of the introduction of information modeling technology, which is focused on obtaining the estimated cost based on design drawings and collections of regulatory indicators. Requirements for the development of estimated norm have been formulated and structured to ensure their compliance with the geometric and attribute parameters of the information model elements. The requirements for the name and composition of estimates norm, parametrization and measurement tools, classification and coding of construction resources, as well as the process of interaction between participants when integrating estimates norm into a digital information model, are described.

Keywords: information modeling technologies, estimated norm, parameterization, the modular element, digital information model.

Одним из основных ожидаемых эффектов по итогу реализации Стратегии развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом до 2035 года[1] (далее – Стратегия) является сокращение сроков и затрат инвестиционно-строительного цикла объектов капитального строительства за счет повышения уровня цифровой зрелости и оперативного внедрения новых технологий. Базовые показатели уровня цифровой зрелости строительной отрасли находятся на недостаточном уровне, при этом большая часть показателей связана с внедрением технологий информационного моделирования (далее – ТИМ). Применение ТИМ в строительстве регламентируется нормативно-правовыми и методическими документами, содержащими терминологический аппарат, правила формирования информационной модели, требования к информации и др.

В условиях развития ТИМ в строительной отрасли одной из основных проблем остается определение сметной стоимости строительства путем пересмотра традиционных подходов к формированию сметной документации преимущественно на основе проектных чертежей и сборников, содержащих нормативные показатели, к интеграции цифровой информационной модели. В последнее время осуществляется поиск путей решения проблемы интеграции ТИМ и сметного ценообразования, однако отсутствие единого методического подхода к формированию сметной документации на основе цифровой модели усложняет автоматизацию процессов [1]. На текущий момент одной из основных проблем также остается взаимодействие специалистов сметного и проектного отделов.

С проблемами организации взаимодействия подразделений при внедрении ТИМ сталкиваются отечественные и зарубежные коллеги. Согласно [2] в Латвии для успешного внедрения и развития ТИМ предложено

[1] Расп. Правительства РФ от 31.10.2022 № 3268-р «Об утверждении Стратегии развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом до 2035 года». URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/405560559/?ysclid=mkttffeq5377569752 (дата обращения: 25.01.2026).

формирование единой общедоступной базы данных, представляющей платформу взаимодействия всех участников в единой сети. Причиной медленного внедрения ТИМ в строительстве согласно [3] помимо высокой стоимости внедрения и проблем с подготовкой специалистов является отсутствие полной ясности сотрудников, работающих в модели с тем, какую роль они выполняют и какие обязанности на них возложены. В Великобритании исполнитель разрабатывает детальный план реализации BIM-проекта, в котором приводится распределение ролей между всеми участниками, используемые документы (стандарты, методики и др.), а также базовая матрица построения информационной модели [4].

Для решения обозначенных проблем исследователями предложены разные пути их решения, например:

– разработка и кодификация единичных сметных нормативов на инновационные проектные решения с возможностью детализации в зависимости от стадии жизненного цикла проекта [2];

– использование качественных данных о проектах, материалах, рабочем времени и др., улучшение коммуникации между участниками, а также обработка больших объемов данных посредством внедрения искусственного интеллекта [2, 5];

– создание методического документа, содержащего положения по разработке сметной документации на основе информационной модели и описание функциональных обязанностей, а также схемы взаимодействия всех участников данного процесса [1].

В настоящее время в соответствии с положениями методических документов федерального уровня[1] и территориального уровня на примере города Москвы[2] сметная стоимость работ в строительстве определяется с применением ресурсного, ресурсно-индексного или базисно-индексного метода, в результате формируется локальный сметный расчет или локальная смета. Указанные документы составляются по утвержденной форме на основе сметных норм или расценок в зависимости от выбранного метода расчета. В итоге в каждом пункте локального сметного расчета/локальной сметы приводится

[1] Методика определения сметной стоимости строительства, реконструкции, капитального ремонта, сноса объектов капитального строительства, работ по сохранению объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации на территории Российской Федерации, утвержденной приказом Минстроя России от 04.08.2020 № 421. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_362957/991a833228f059bd90820caa2eea45b6172f0d48/?ysclid=mku8d2ovq2990327066 (дата обращения: 26.01.2026).

[2] ТСН-2001.12. Общие указания по применению Территориальных сметных нормативов города Москвы ТСН-2001 (с учетом дополнений 1-80). URL: https://niac.mos.ru/standards/tsn-2001/collectors-tsn-2001/tsn-2001-12/ТСН-2001.12%20доп%2080.pdf (дата обращения: 26.01.2026).

сметная стоимость работ, включающая в том числе прямые затраты, полученные суммированием затрат на оплату труда рабочих, эксплуатацию машин и материальные ресурсы.

Сметные нормы содержат перечень строительных ресурсов, их нормативный расход на установленный измеритель работ, и являются основой для разработки расценок, а также для расчета сметной стоимости работ ресурсным или ресурсно-индексным методом.

При внедрении ТИМ особое внимание следует уделять параметризации, представляющей собой процесс определения и установления параметрических зависимостей между геометрическими и атрибутивными характеристиками элементов цифровой информационной модели (далее – ЦИМ) и сметными нормами, используемыми для расчета сметной стоимости. На уровне элемента информационной модели параметризация включает геометрические параметры, классификационные параметры, технические характеристики и ресурсные параметры. В настоящее время обязательны к применению в сметном нормировании классификатор строительных ресурсов (КСР-2016), а для базовых элементов ЦИМ классификатор строительной информации (КСИ). Во избежание расхождения при присвоении геометрических и атрибутивных характеристик и типизации кодов материальных ресурсов, целесообразно их объединить в единый источник для применения как при разработки сметных норм, так и при интеграции базовых элементов ЦИМ.

Стратегией предусмотрено «типовое проектирование» в условиях использования ТИМ на всех этапах жизненного цикла объекта капитального строительства. В связи с этим возникает необходимость формирования на основе проектно-сметной документации модульных элементов (далее – МЭ) и библиотек сметных норм, адаптированных к ЦИМ и ориентированных на повторяемость и параметрическую вариативность. В этой связи целесообразно пересмотреть требования к разработке сметных норм, используемых при составлении сметной документации на основе информационной модели, закрепив такие требования положениями методического документа. Примерный перечень таких требований приведен в таблице.

Такая структуризация требований позволяет рассматривать сметные нормы не как изолированные позиции, а как модульные элементы, взаимоувязанные с объектами и фрагментами ЦИМ. Это позволит обеспечить более устойчивую интеграцию сметных данных с цифровой средой и упростит использование типовых и повторяемых решений в рамках жизненного цикла объекта, а также позволит уменьшить количество ручных операций при формировании сметной документации на основе модели и обеспечит согласованность между стадийной детализацией модели и глубиной детализации сметных норм.

Описание требований, соблюдаемых при разработке сметных норм

Название процесса	Принцип	Описание требования
Проектирование названия сметной нормы	Единообразие и машиночитаемость	Наименование сметной нормы должно отражать вид работ, конструктивный элемент и ключевой ресурс; быть согласовано с классификационными параметрами элемента ЦИМ (тип элемента, функциональное назначение) и обеспечивать однозначный поиск в цифровой среде
Формирование состава МЭ	Логическая завершенность	Сметная норма должна формироваться как МЭ, включающий весь набор строительных ресурсов (трудовые, технические, материальные), соответствующий одному функциональному целостному элементу или узлам ЦИМ, чтобы МЭ мог быть напрямую связан с группой элементов модели
Учет типового проектирования	Повторяемость и многократное использование	При формировании сметных норм или МЭ необходимо обеспечить возможность их многократного использования в типовых проектах, предусматривая параметризацию по основным варьируемым признакам (габариты, материалы и т.п.) и создание библиотек типовых модулей для ЦИМ
Увязка сметной нормы и МЭ с элементами ЦИМ	Параметрическая сопоставимость	Сметная норма и МЭ должны содержать набор параметров (объем, геометрические характеристики, технические признаки), которые могут быть напрямую получены из атрибутов ЦИМ (длина, площадь, толщина, марка материала, класс бетона и т.п.), что обеспечит автоматизированный расчет объемов и стоимости на основе модели
Определение измерителя сметной нормы	Сопоставимость с объемами ЦИМ	Измеритель сметной нормы ($м^2$, $м^3$, погонный метр, штука и т.п.) должен совпадать с агрегированными величинами, формируемыми в спецификациях ЦИМ, чтобы исключить ручную переконвертацию объемов и обеспечить автоматическое формирования сметной стоимости из модели

Требования к уровню детализации ресурса	Согласованность с уровнем проработки модели	Состав и детализация ресурсов, заложенных в сметной норме, должны соответствовать уровню проработки ЦИМ согласно СП 333.1325800.2020[1], с возможностью декомпозиции норм по стадиям жизненного цикла и учета вариативности типовых решений
Классификация материальных ресурсов	Соответствие цифровой классификации	Материальным ресурсам в составе сметных норм должен присваиваться код с обязательной его фиксацией в параметрах семейства или типа элемента ЦИМ для обмена данными между ТИМ-платформой и сметным программным комплексом
Обновление и актуализация сметных норм	Адаптивность к изменениям	В методических документах по разработке сметных норм целесообразно предусматривать порядок актуализации норм при изменении технологий и номенклатуры ресурсов, включая обновление параметров и кодов ресурсов в классификаторах ЦИМ без потери связи (элемент модели – сметная норма – ресурс)

[1] СП 333.1325800.2020 «Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла», утв. приказом Минстроя России от 31.12.2020 № 928/пр. URL: https://ivo.garant.ru/#/basesearch/928|%D0%BF%D1%80/all:9 (дата обращения: 26.01.2026).

Литература

1. *Горинский М.Е.* ТИМ и сметы – движение вверх // Информационное моделирование. 2024. № 2. С. 69–80. EDN: AZTINF.

2. *Дмитриев А., Тамбовцева Т., Папикян Л., Цыганкова А.* Современный опыт инновационного развития строительства на основе технологий информационного моделирования в России и за рубежом // Недвижимость: экономика, управление. 2019. № 1. С. 104–108. EDN: AAGPTC.

3. *Шеина С.Г., Шуйков С.Л.* Нормативное регулирование и опыт внедрения BIM на различных этапах жизненного цикла объекта строительства в России // Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий. 2023. Т. 2, № 1. С. 4–11. DOI: 10.23947/2949-1835-2023-2-1-4-11. EDN: TZCCHV.

4. *Гиндуллин Н.Ф., Пучкин Д.К., Пивкин М.Ю.* Экономика и информационные технологии в строительстве: BIM, ГИС и искусственный интеллект // Human Progress. 2024. Т. 10, № 12. С. 7. DOI: 10.46320/2073-4506-2024-12a-27. EDN: KPECSC.

5. *Петрухин А.Б., Щербакова Н.А.* Развитие технологий искусственного интеллекта в строительстве // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия : Материалы. Конструкции. Технологии. 2024. № 2. С. 67–77. DOI: 10.25686/2542-114X.2024.2.67. EDN: VJPORE.

УДК 004.925.8
DOI: 10.23968/BIMAC.2026.010

Конопацкий Евгений Викторович, д-р техн. наук, проректор
(Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет)
E-mail: e.v.konopatskiy@mail.ru, ORCID: 0000-0003-4798-7458
Безсольнов Максим Владимирович, ассистент
(Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет)
E-mail: bezsoff@yandex.ru

Konopatskiy Evgeniy Viktorovich, Dr. Sci. Tech., Prorector
(Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering)
Bezsolnov Maxim Vladimirovich, Assistant
(Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering)

ИННОВАЦИОННОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В ИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЯХ ЗДАНИЙ

INNOVATIVE REPRESENTATION OF GEOMETRIC OBJECTS IN BUILDING INFORMATION MODELS

В статье рассматривается актуальная проблема интероперабельности и хранения геометрической информации в информационных моделях зданий, которая лишь частично решается посредством технологии Model View Definition. В качестве альтернативы предлагается новый подход к параметризации геометрических объектов на основе точечного исчисления, при котором твердотельные модели представляются выделенной частью трёхмерного пространства без избыточной топологической информации. Проведен сравнительный анализ информационной и геометрической моделей на примере здания со стенами и проемами. Результаты показали, что по сравнению с описанием в стандартном формате IFC (BRep с проемами) новый подход позволяет сократить количество геометрических инструкций кода в 20 раз (с 898 до 45 строк) и уменьшить объем хранимых числовых координат в 4,2 раза (с 519 до 124), сохраняя при этом абсолютную геометрическую точность и обеспечивая возможность параметрического редактирования геометрических объектов.

Ключевые слова: информационное моделирование, геометрическое моделирование, параметризация, твердотельная модель, точечное исчисление, интероперабельность.

This article examines the pressing issue of interoperability and storage of geometric information in building information models, which is only partially addressed by Model View Definition technology. As an alternative, a new approach to parameterizing geometric objects is proposed based on point calculus, for which solid models are represented as a selected portion of three-dimensional space without redundant topological information. A comparative

analysis of information and geometric models is carried out using the example of a building with walls and openings. The results demonstrate that, compared to a standard IFC description (BRep with openings), the new approach reduces the number of geometric code instructions by a factor of 20 (from 898 to 45 lines) and decreases the volume of stored numerical coordinates by a factor of 4.2 (from 519 to 124), while maintaining absolute geometric accuracy and enabling parametric editing of geometric objects.

Keywords: information modeling, geometric modeling, parameterization, solid model, point calculus, interoperability.

Современное развитие строительной отрасли и архитектурного проектирования неразрывно связано с повсеместным внедрением технологий информационного моделирования (ТИМ) [1]. В условиях глобализации проектирования и строительства международный стандарт IFC (Industry Foundation Classes) стал основным инструментом обеспечения функциональной совместимости (интероперабельности) между различными программными комплексами. Однако, несмотря на тридцатилетнюю историю развития и регулярное обновление версий стандарта (табл. 1), проблема эффективной передачи и обработки геометрической информации в крупномасштабных проектах остается актуальной [2]. Создание цифровых двойников целых городских районов или сложных инфраструктурных объектов требует колоссальных вычислительных мощностей, что во многом обусловлено избыточностью существующих методов описания геометрии.

Таблица 1

Развитие геометрических представлений в формате IFC

Версия	Основные геометрические представления	Нововведения
1.x	CSG, BRep	Только базовая геометрия
2.x	Swept Solids, IfcShapeRepresentation	Добавление профилей и 2D-геометрии
2×3	Triangulated BRep, NURBS	Поддержка сложных поверхностей
4.0	Advanced BRep, Tessellation, Swept Disk	Поддержка органических форм и сложной тесселяции
4.3	Инфраструктурные улучшения, геоданные	Линейные объекты для дорог и мостов

Для частичного решения проблемы чрезмерного многообразия геометрических представлений был разработан подход на основе MVD[1] (Model

[1] URL: https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/mvd/mvd-database/ (дата обращения: 20.01.2025).

View Definition), который выступает в роли ограничителя использования тех или иных геометрических представлений для конкретной задачи [3, 4]. В результате на текущий момент самыми распространенными и используемыми являются IFC4 Reference View, предназначенный для координации и использующий передачу геометрии через BRep и Tessellation, и IFC4 Design Transfer View, который используется для передачи параметризации и редактирования передаваемых данных, используя представления SweptSolid, но слабо реализуемый на практике.

В работе [5] было рассмотрено сравнение описания прямоугольной призмы в формате IFC в двух самых распространенных геометрических представлениях BRep и SweptSolid в соответствии со стандартом BuildingSMART[1]. В результате сравнения было установлено, что при использовании представления SweptSolid количество данных, необходимых для описания и воспроизведения объекта, примерно в 5 раз меньше, что является большим преимуществом, но при малейшем усложнении геометрического тела использование геометрического описания SweptSolid становится невозможным. А BRep, как было установлено ранее, обладает избыточной информацией, необходимой для реконструкции объекта.

Целью данной работы является внедрение новой концепции твердотельного моделирования геометрических объектов, как выделенной части трёхмерного пространства, на основе точечного исчисления [5-7] применительно к описанию информационных моделей конструктивных элементов зданий.

В рамках реализации этой концепции были получены точечные уравнения и вычислительные алгоритмы моделирования множества тел с простой и сложной геометрией: призматических, пирамидальных, эллипсоидных, тороидальных, каналовых и других. Для их определения разработаны формообразующие операции с помощью непрерывных и кусочных интерполяционных кривых, а также несколько различных подходов к реализации логических операций и визуализации геометрических тел в трёхмерном пространстве. Применительно к моделированию элементной базы зданий с учётом стандартизации элементов строительных конструкций наибольшее распространение в инженерной практике получили объекты в форме параллелепипеда, который в рамках новой концепции представляет собой линейное геометрическое тело с геометрическими условиями параллельности соответствующих сторон. Рассмотрим пример использования таких геометрических тел для определения информационной модели стен и перегородок с проёмами.

Базовая функция линейного геометрического тела в форме параллелепипеда реализована в виде трёхпараметрического множества точек:

$$M(u,v,w) = A(1-u-v-w) + Bu + Cv + Dw, \quad (1)$$

[1] IFC Specifications Database. URL: https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/ifc-schema-specifications/ (дата обращения: 20.01.2025).

где A, B, C, D – четыре опорные точки (координатные векторы) в трехмерном пространстве, а u, v, $w \in [0,1]$ – параметры, причем $u + v + w = 1$.

В данной работе проводится сравнительный анализ информационной модели здания (рис. 1), состоящего из стен и перегородок, созданной в BIM-системе Renga с геометрическими моделями, полученными на основе новой концепции твердотельного моделирования в точечном исчислении. Анализ фокусируется исключительно на геометрических свойствах модели, исключая семантические аспекты представления данных.

Для параметризации геометрической модели с помощью твердотельных объектов в точечном исчислении были заданы начало системы координат на пересечении осей А и 1, а также параметры, обеспечивающие геометрические размеры и позиционирование стен и проёмов (рис. 2).

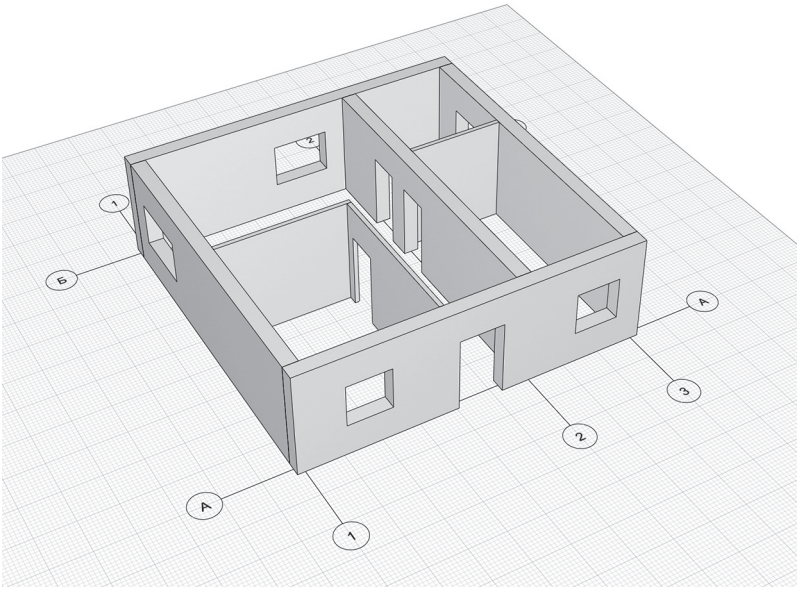


Рис. 1. Цифровая информационная модель здания, полученная в Renga

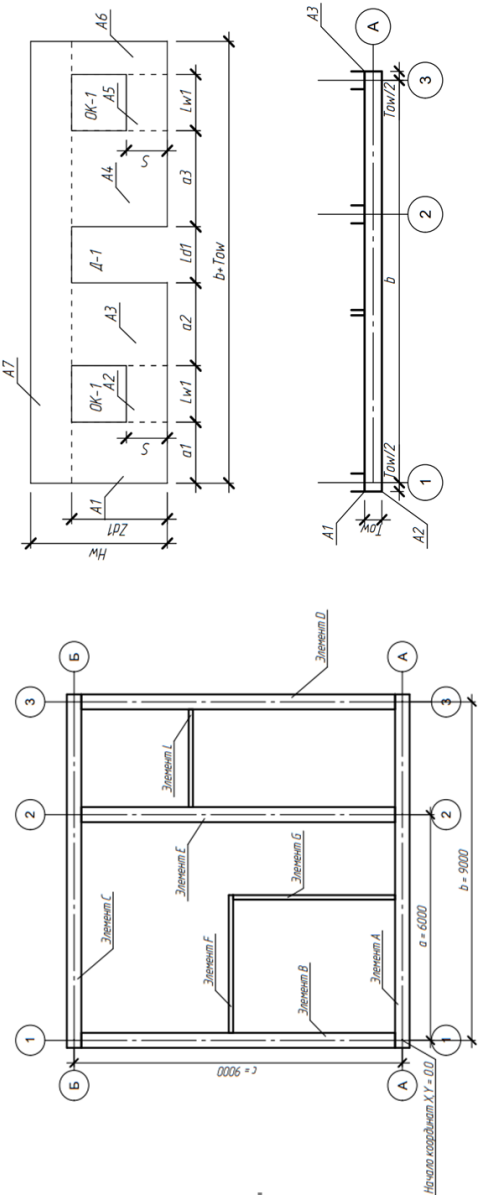
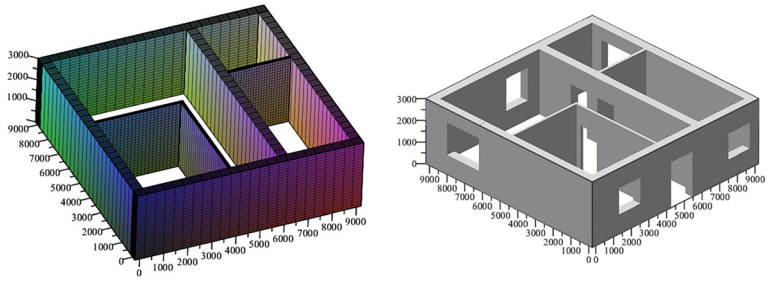


Рис. 2. Обозначения элементов и параметров для моделирования здания

В качестве математической модели описания геометрических объектов использовался параллелепипед, точечное уравнение которого описано в [5, 6]. В качестве интерпретатора была использована система компьютерной алгебры Maple, которая поддерживает символьные вычисления. В результате для дальнейшего сравнения было получено 2 модели: без проёмов (рис. 3, *а*) и с проёмами (рис. 3, *б*). Обе полученные модели полностью соответствуют исходной информационной модели (рис. 1).

Для оценки эффективности предложенного подхода был проведен количественный сравнительный анализ. В качестве основы сравнения использованы ключевые показатели, из которых были исключены метаданные. Полученные результаты представлены в табл. 2 и 3.



а) *б*)

Рис. 3. Визуализация геометрической модели здания в Maple:
а – без проёмов; *б* – с проёмами

Таблица 2

Сравнение стандартных информационных моделей зданий

Показатель	SweptSolid	BRep (без проёмов)	BRep (с проёмами)
Метод описания	Параметрический (implicit)	Явный (Explicit)	CSG + Explicit
Строк геометрии	185	333	898
Количество вершин	30	64	173
Количество координат	95	192	519
Количество граней	0	30	138
Прирост сложности	– 45 %	Эталон	+ 170 %

Таблица 3

Сравнение геометрических моделей зданий, полученных в точечном исчислении

Показатель	Стены без проёмов	Стены с проёмами
Метод моделирования	Конструктивный	Конструктивный
Количество объектов	8	31
Количество координат	36	124
Связь с физикой	Прямая	Прямая
Прирост сложности	Эталон	Линейный

Сравнительный анализ результатов эксперимента на модели из 8 стен показал кардинальную разницу в плотности информации.

Для описания модели с проёмами стандарту IFC потребовалось 898 строк чистого геометрического кода и хранение 519 числовых координат. Высокая избыточность обусловлена необходимостью описывать топологию вырезов и грани тел пустоты.

Предложенный подход (реализованный в Maple) позволил описать ту же геометрию, используя всего 31 объект и порядка 45 строк логических операторов. При этом для математического описания геометрических объектов используется единое точечное уравнение (1). Количество хранимых параметров (координат блоков) составило 124.

В результате предложенный подход параметризации геометрических тел в точечном исчислении оказался в 20 раз экономичнее по количеству инструкций кода (45 против 898) и в 4,2 раза экономичнее по объему числовых данных (124 против 519), сохраняя при этом абсолютную точность и возможность параметрического редактирования.

Следует отметить, что использование линейных геометрических тел для моделирования элементов строительных конструкций в форме параллелепипеда является лишь наглядным примером применимости концепции твердотельного моделирования геометрических объектов в точечном исчислении для информационных моделей зданий и не исключает возможность реализации предложенной концепции для моделирования других элементов строительных конструкций, включая наклонные стены и крыши, а также криволинейные формы любой степени сложности.

Благодарности

Работа выполнена в рамках гранта РНФ № 25-21-00003, https://rscf.ru/project/25-21-00003/

Литература

1. *Смирнов И.В.* Проблема внедрения BIM-технологий на масштабных инвестиционно-строительных проектах // Modern Economy Success. 2025. № 3. С. 192–201. EDN: LSBINB.

2. *Криони И.Н.* Методы решения проблем интероперабельности BIM-моделей в комплексных системах автоматизированного проектирования // Интеллектуальная инженерная экономика и индустрия 5.0 (ЭКОПРОМ): Сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф. СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023. С. 678-682. DOI: 10.18720/IEP/2023.4/202. EDN: HINXRM.

3. *Liu H., Gao Ge, Zhang H., Liu YU.Sh., Song Ya., Gu M.* MVDLite: A fast validation algorithm for Model View Definition rules // Advanced Engineering Informatics. 2023. Vol. 58. P. 102132. DOI 10.1016/j.aei.2023.102132. EDN: RPFKKG.

4. *Lee Y.Ch., Shariatfar M., Ghannad P., Zhang J., Lee J.K.* Generation of Entity-Based Integrated Model View Definition Modules for the Development of New BIM Data Exchange Standards // Journal of Computing in Civil Engineering. 2020. Vol. 34, No. 3. DOI: 10.1061/(asce)cp.1943-5487.0000888. EDN: BHAYZJ.

5. *Конопацкий Е.В., Безсольнов М.В., Чучмар Н.Д.* Геометрическое представление элементов строительных конструкций в формате IFC // Информационное моделирование в задачах строительства и архитектуры : Мат-лы VIII Междунар. науч.-практ. конф. Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2025. С. 122–128. DOI: 10.23968/BIMAC.2025.018. EDN: WKTGOS.

6. *Конопацкий Е.В.* Концепция разработки высокопроизводительных отечественных ТИМ нового поколения // Информационное моделирование в задачах строительства и архитектуры: Мат-лы VII Междунар. науч.-практ. конф. Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2024. С. 100-105. DOI: 10.23968/BIMAC.2024.014. EDN: CXKXSC.

7. *Конопацкий Е.В., Ротков С.И., Лагунова М.В., Безсольнов М.В.* Подход к твёрдотельному моделированию геометрических объектов в точечном исчислении // Онтология проектирования. 2025. Т. 15, № 1(55). С. 24–33. DOI: 10.18287/2223-9537-2025-15-1-24-33. EDN: NOBIOR.

УДК 004.942+712.00
DOI: 10.23968/BIMAC.2026.011

Мазняк Елена Владиславовна, ст. преподаватель
(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)
E-mail: emazniak@yandex.ru, ORCID: 0009-0008-2849-1477

Mazniak Elena Vladislavovna, senior lecturer
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

АДАПТИРОВАННЫЕ МОДЕЛИ ИИ ДЛЯ АНАЛИЗА ПОТОКОВЫХ ДАННЫХ В ГОРОДСКИХ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКАХ

ADAPTED AI MODELS FOR ANALISING FLOW DATA IN URBAN DIGITAL TWIN

В статье представлены результаты исследования по применению специализированных искусственных нейронных сетей для повышения эффективности цифровых двойников городской инфраструктуры. Основное внимание уделяется гибридным архитектурам. Методологическая новизна здесь заключается в создании механизмов инкрементального обновления и алгоритмов устойчивости к концептуальному дрейфу, обеспечивающих непрерывный анализ данных в реальном времени. Практическая значимость исследования подтверждается экспериментальными данными. В работе определены ключевые вызовы, связанные с качеством потоковых данных и вопросами безопасности, а также обозначены перспективные направления дальнейших исследований в области стратегии и структуры масштабируемого распределённого обучения и повышения интерпретируемости ИИ-моделей.

Ключевые слова: искусственный интеллект, цифровые двойники, потоковые данные, устойчивые системы городского управления, гибридные архитектуры, онлайн-обучение.

The article presents the results of a study on the application of specialized artificial neural networks to enhance the efficiency of digital twins in urban infrastructure. The main focus is on hybrid architectures. The methodological novelty lies in the development of incremental update mechanisms and algorithms for resistance to conceptual drift, which ensure continuous real-time data analysis. The practical significance of the research is confirmed by experimental data. The study identifies key challenges related to the quality of streaming data and security issues, while also outlining promising directions for further research in the field of strategy and structure of scalable distributed learning and improving the interpretability of AI models.

Keywords: artificial intelligence (AI), urban digital twin, flow data, sustainable systems of city management, hybrid architectures, real-time learning.

Современные городские агломерации генерируют непрерывные потоки данных от тысяч сенсоров, мониторящих транспортные потоки, энергопотребление и коммунальные сети. Для оперативной интерпретации этих данных цифровые двойники становятся незаменимым инструментом, обеспечивающим синхронное моделирование городских процессов в виртуальной среде [1]. Однако поддержание актуальности таких моделей требует внедрения специализированных методов искусственного интеллекта, способных обрабатывать много информации в режиме реального времени. Это обусловливает необходимость разработки адаптированных архитектур ИИ, оптимизированных для работы с высокочастотными обновлениями [2].

Классические алгоритмы машинного обучения демонстрируют принципиальные ограничения при обработке потоковых данных из-за пакетного характера обработки и статичности моделей. Проблемы латентности обновления цифровых двойников и качества прогнозов приводят к запаздыванию управляющих воздействий в транспортных и энергетических системах. В условиях мегаполисов с высокой плотностью населения и динамичной нагрузкой такие задержки провоцируют каскадные сбои инфраструктуры. Данный технологический разрыв актуализирует поиск специализированных решений в области потоковой аналитики.

В статье исследуются адаптированные архитектуры ИИ, включая потоковые нейронные сети и гибридные модели online-обучения, ориентированные на минимизацию задержек в принятии решений. Предлагаемые модификации призваны обеспечить повышение эффективности управления инфраструктурой на 20-30 % за счет оптимизации частоты обновления цифровых двойников и динамического перераспределения ресурсов [2, 3]. Для достижения поставленной цели сформулированы задачи по сравнительному анализу существующих подходов, проектированию адаптивных алгоритмов и количественной оценке их производительности.

Полученные результаты открывают перспективы для создания самоадаптивных урбанистических систем управления, способных оперативно реагировать на изменяющиеся условия среды. Это соответствует глобальным трендам развития умных городов, отраженным в современных исследованиях по устойчивой урбанизации.

Потоковые данные в городских цифровых двойниках. Потоковые данные являются неотъемлемой частью цифровых двойников, отражающие и учитывающие динамический характер города как системы систем. Их ключевые характеристики – это высокая скорость обновления данных, неоднородность форматов и необходимость обработки видеопотоков. Такие потоки используются для оперативного отслеживания трафиков, а также для функционирования различных городских систем. Особенность потоковых данных в необходимости их обработки с минимальной задержкой, поскольку, как правило, они предназначены для оперативного администрирования городской инфраструктуры.

В ответ на такие задачи **ИИ предлагает ряд основных категорий методов.** Во-первых, это модели online-обучения, которые обеспечивают непрерывное обучение, корректируя параметры по мере поступления данных. При больших потоках данных на высоких скоростях такой подход требует огромных мощностей.

Во-вторых, это инкрементальные алгоритмы, в которых входные данные постепенно используются для расширения базы знаний по существующей модели, без полного переобучения. Их преимущества: способность адаптироваться к новым данным без потери существенных знаний, динамичность обучения и возможность масштабироваться в процессе работы. При этом выделяют стабильные и релевантные инкрементальные модели. В обработке потоковых данных такие алгоритмы позволяют осуществлять прогнозирование, классификацию и непрерывный учет данных.

Третий тип – это гибридные архитектуры, которые совмещают в себе возможности обработки потоковых данных с методами анализа временных рядов, позволяя отслеживать как краткосрочную динамику, так и выявлять долгосрочные тенденции в системах городских инфраструктур.

Эмпирические исследования демонстрируют превосходство потоковых ансамблевых методов над статичными моделями в условиях концептуального дрейфа. Эти подходы, такие как Adaptive Random Forest и Leveraging Bagging, динамически перестраивают композицию базовых классификаторов при изменении характеристик данных [2, 3]. В городских цифровых двойниках это позволяет оперативно реагировать на сезонные колебания трафика или аварийные ситуации в энергосетях. Техники оконного анализа и весового голосования в ансамблях обеспечивают устойчивость прогнозов при обработке гетерогенных данных от IoT-сенсоров [4].

Применимость традиционных моделей ИИ к потоковым данным. Ключевое ограничение традиционных пакетных алгоритмов машинного обучения заключается в их неспособности к непрерывной адаптации параметров модели без полного переобучения на обновленных наборах данных. Эта особенность создает существенные проблемы при обработке потоковых данных в таких сферах как транспортные потоки или энергопотребление. Необходимость периодического переобучения моделей, приводит к снижению оперативности принятия решений.

Потоковые нейронные сети для динамического анализа. Модификации традиционных рекуррентных сетей, такие как LSTM с механизмом скользящего окна, позволяют эффективно анализировать временные ряды, сохраняя контекстную информацию без накопления вычислительной нагрузки. Сверточные RNN объединяют преимущества пространственного анализа с временной динамикой, что критично для обработки видеопотоков с систем городского видеонаблюдения. Эти адаптации обеспечивают своевременное выявление аномалий в транспортных потоках и энергопотреблении, повышая оперативность управленческих решений.

Алгоритмы машинного обучения в реальном времени: адаптивные методы и их интеграция. Адаптивные алгоритмы машинного обучения, такие как экспоненциальное сглаживание и online-обучение с подкреплением, обеспечивают непрерывное прогнозирование аномалий городской инфраструктуры в условиях переменной скорости поступления потоковых данных. Эти методы динамически корректируют свои параметры при изменении статистических характеристик входных сигналов, что критично для обработки нестационарных временных рядов от датчиков умного города [5]. Экспоненциальное сглаживание демонстрирует эффективность при краткосрочном прогнозировании нагрузок на энергосети, тогда как онлайн-обучение с подкреплением позволяет оптимизировать стратегии реагирования на инциденты в режиме реального времени. Такая комбинация минимизирует задержки в принятии решений при обработке гетерогенных данных городского цифрового двойника.

Интеграция потоковых ML-моделей в архитектуру цифрового двойника реализуется через микросервисные контейнеризированные решения, обеспечивающие горизонтальную масштабируемость и отказоустойчивость. Каждый микросервис инкапсулирует отдельный алгоритм обработки данных (классификация аномалий, регрессионное прогнозирование, оптимизация ресурсов), взаимодействуя с потоковыми платформами типа Apache Kafka через стандартизированные API [4]. Контейнеризация Docker с оркестрацией Kubernetes позволяет динамически перераспределять вычислительные ресурсы между модулями в зависимости от интенсивности потоков данных с IoT-устройств. Такая архитектура обеспечивает seamless-интеграцию новых алгоритмов в существующую инфраструктуру цифрового двойника без нарушения работы действующих сервисов.

Комбинирование статических и потоковых моделей ИИ. Гибридные архитектуры интегрируют предобученные статические модели с потоковыми обработчиками данных для повышения точности анализа в городских цифровых двойниках. Примером служит комбинация компьютерного зрения для обработки CCTV-потоков с алгоритмами реального времени, отслеживающими динамику транспортных потоков [2]. Механизмы перекрёстной валидации обеспечивают взаимную коррекцию моделей, где статические компоненты предоставляют эталонные шаблоны, а потоковые – оперативные корректировки. Такой подход позволяет минимизировать задержки принятия решений при сохранении высокого уровня детализации данных.

Методология моделирования сценариев управления инфраструктурой с использованием цифровых двойников. Методология основывается на интеграции динамических сценариев управления городской инфраструктурой в среду цифровых двойников, что позволяет проводить валидацию адаптированных моделей искусственного интеллекта. Моделирование учитывает изменчивость потоковых данных и воспроизводит ключевые параметры

реальных городских систем, включая транспортные потоки, энергопотребление и коммунальные сети. Такой подход обеспечивает тестирование алгоритмов в контролируемых условиях, приближенных к эксплуатационной среде, без рисков для фактической инфраструктуры. Валидация включает оценку устойчивости моделей к аномалиям данных и их способности оперативно адаптироваться к изменяющимся условиям.

Количественный анализ показателей производительности: снижение задержек и оптимизация ресурсов. Количественные исследования временных характеристик обработки потоковых данных продемонстрировали значительное преимущество адаптированных моделей искусственного интеллекта. Применение потоковых нейронных сетей и гибридных алгоритмов позволило сократить задержки принятия решений на 23-41 % относительно традиционных систем пакетной обработки. Это достижение объясняется способностью адаптированных архитектур к непрерывному обучению и мгновенной корректировке прогнозов без необходимости полной перезагрузки моделей. Указанное снижение временных затрат напрямую повышает оперативность реагирования систем городского управления.

Внедрение предиктивных механизмов на основе адаптированных ИИ-моделей обеспечило существенную оптимизацию распределения ресурсов городской инфраструктуры. В тестовых сценариях управления энергоснабжением и транспортными потоками зафиксировано снижение пиковых нагрузок на 15-28 % благодаря прогнозированию спроса с учетом временных и пространственных паттернов [2, 3]. Динамическое перераспределение мощностей в режиме реального времени позволило минимизировать простои критически важных систем. Полученные результаты подтверждают эффективность предиктивной аналитики как инструмента повышения устойчивости городских служб.

Проведённое исследование подтвердило, что специализированные разновидности искусственного интеллекта, адаптированные для обработки потоковых данных, существенно повышают оперативность цифровых двойников. Интеграция потоковых нейронных сетей и алгоритмов онлайн-обучения обеспечивает динамическое обновление моделей в реальном времени. Это позволяет достичь целевого показателя повышения эффективности управления инфраструктурой на 20-30 % за счёт сокращения временных задержек при принятии решений [2, 3].

Таким образом, настоящая работа позволяет сделать следующие выводы:

Во-первых, крайне важно понимать специфики работы и ограничений различных видов ИИ для обработки разных видов информации под разные задачи. А также требуется планирование необходимых ресурсов для их стабильной работы.

Во-вторых, необходимость создания систем управления, которые будут использовать адаптированные модели, построенные на применении гибридных архитектур. Такие системы управления будут обеспечивать требуемую для каждой подсистемы процедуру обновления параметров, сверки с генеральной моделью, отслеживания краткосрочных пиков и в тоже время обеспечивать устойчивость к концептуальному дрейфу. При этом важной составляющей таких систем должно быть продуманное и распределенное использование ресурсов для непрерывной работы по анализу данных без критических нагрузок и чрезмерных вычислительных затрат.

Другой важный результат данного исследования – отсутствие четких стандартов интеграции и верификации входных данных для таких моделей. И это вызов для дальнейшего направления разработки в исследованной области.

Литература

1. *Иванов С.А., Никольская К.Ю., Радченко Г.И., Соколинский Л.Б., Цымблер М.Л.* Концепция построения цифрового двойника города // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия : Вычислительная математика и информатика. 2020. Т. 9, № 4. С. 5–23. DOI: 10.14529/cmse200401. EDN: CNBYFY.

2. *Huang J., Bibri S.E., Keel P.* Generative spatial artificial intelligence for sustainable smart cities: A pioneering large flow model for urban digital twin // Environmental Science and Ecotechnology. 2025. Vol. 24. P. 100526. DOI: 10.1016/j.ese.2025.100526. EDN: XLOGSW.

3. *Hämäläinen M.* Urban development with dynamic digital twins in Helsinki city // IET Smart Cities. 2021. Vol. 3, No. 4. P. 201–210. DOI: 10.1049/smc2.12015. EDN: OEVEWL.

4. *Краева Я.А.* Нейросетевой метод обнаружения аномалий в многомерных потоковых временных рядах // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия : Вычислительная математика и информатика. 2024. Т. 13, № 4. С. 35–52. DOI: 10.14529/cmse240403. EDN: ITVATF.

5. *Казаков Ф.А., Шнайдер А.В.* Использование нейронных сетей с временными рядами данных для анализа потоков данных // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 6-2. С. 260–264. DOI: 10.17513/snt.38731. EDN: GJGRZZ.

УДК 004.6
DOI: 10.23968/BIMAC.2026.012

Морозов Сергей Вячеславович, канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр.
(Институт системного программирования им. В. П. Иванникова РАН,
Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,
Московский физико-технический институт)
E-mail: serg@ispras.ru, ORCID: 0000-0002-0211-2300
Аришин Семен Васильевич, науч. сотр.
(Институт системного программирования им. В. П. Иванникова РАН)
E-mail: arishin@ispras.ru, ORCID: 0000-0001-6128-7082
Леушин Илья Вячеславович, ст. лаборант, магистрант
(Институт системного программирования им. В. П. Иванникова РАН,
Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова)
E-mail: jevel3r@ispras.ru, ORCID: 0009-0002-9002-3523

Morozov Sergey Vyacheslavovich, PhD in Sci. Phys.-Math., leading research worker
(Ivannikov Institute for System Programming of the Russian Academy of Sciences,
Lomonosov Moscow State University,
Moscow Institute of Physics and Technology)
Arishin Semen Vasilevich, research assistant
(Ivannikov Institute for System Programming of the Russian Academy of Sciences)
Leushin Ilya Vyacheslavovich, senior laboratory assistant, Master's degree student
(Ivannikov Institute for System Programming of the Russian Academy of Sciences,
Lomonosov Moscow State University)

СТАНДАРТ IFC КАК ОНТОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

IFC STANDARD AS AN ONTOLOGICAL MODEL OF THE CONSTRUCTION INDUSTRY

Цель настоящего исследования – показать двойственность метамодели в организации стандарта IFC, обсудить общность базовых принципов и основные отличия лежащих в его основе метамоделей и обосновать возможности его гармонизации с предметными онтологиями и объектно-ориентированными моделями, используемыми в строительной отрасли. С одной стороны, организация проектных данных, определяемых стандартом IFC, полностью соответствует традиционной объектно-ориентированной парадигме. С другой стороны, IFC применяется в качестве онтологической модели строительной отрасли, предусматривая детальную концептуализацию и формализацию ее ключевых дисциплин. Данная двойственность имеет важное прикладное значение для достижения семантической интероперабельности между приложениями, разработанными с использованием разных метамоделей и использующих IFC стандарт в качестве медианного представления.

Ключевые слова: ТИМ, IFC, объектно-ориентированное моделирование, EXPRESS, онтологии, OWL.

The purpose of this study is to demonstrate dualism of the metamodel in the organization of the IFC standard, discuss the community of basic principles and key differences of its underlying metamodels, and substantiate the possibilities of its harmonization with domain ontologies and object-oriented models used in the construction industry. On the one hand, the organization of project data defined by the IFC standard fully complies with the traditional object-oriented paradigm. On the other hand, IFC is used as an ontological model for the construction industry, providing a detailed conceptualization and formalization of its key disciplines. This dualism has important practical meaning for achieving semantic interoperability between applications developed using different metamodels and using the IFC standard as a median representation.

Keywords: BIM, IFC, object-oriented modeling, EXPRESS, ontologies, OWL.

Введение. В настоящее время открытый международный стандарт Industry Foundation Classes (IFC, ISO 16739-1:2024) [1, 2] получил широкое распространение как методологическая и технологическая основа для достижения технической, синтаксической и семантической интероперабельности программного обеспечения (ПО) в области информационного моделирования зданий и сооружений (ТИМ) [3]. Вокруг данного стандарта сложилась развитая экосистема, насчитывающая сотни популярных программных приложений от российских и зарубежных компаний-разработчиков. Функциональная совместимость (интероперабельность) приложений преимущественно реализуется на основе файлового обмена проектными данными, представленными в формате открытого кодирования STEP Physical File (ISO 10303-21:2016) и определяемыми формальной информационной схемой на декларативном языке объектно-ориентированного моделирования данных EXPRESS (ISO 10303-11:2004). Поэтому представление проектных данных в соответствии со стандартом IFC полностью соответствует традиционной объектно-ориентированной парадигме.

Вместе с тем, стандарт IFC предусматривает детальную концептуализацию и формализацию ключевых дисциплин строительной отрасли, определяя для них основные классы объектов, свойства, отношения, правила. Поэтому он представляет собой полноценную онтологическую модель строительной отрасли. Хотя для онтологического моделирования более привычными являются язык описания онтологий OWL и схема разметки ресурсов RDF для семантической паутины [4], стандарт IFC может непосредственно применяться и в таком качестве.

Заметим, что традиционно к схеме IFC относятся как к объектной модели (см., например, упомянутые работы [1, 2]), но крайне редко ее рассматривают в качестве онтологической модели. Известные исследования в основном ограничивались преобразованием схемы IFC в классы онтологии, разработкой запросов к данной онтологии и ее валидации [5–7]. В настоящей статье впервые теоретически обосновывается двойственность метамодели IFC путем анализа стандарта и его сопоставления с классическими

подходами к информационному моделированию. Этот аспект открывает новые возможности для гармонизации отраслевых информационных моделей, которые опираются на эти подходы и используют IFC в качестве медианного представления, что является важным для достижения семантической интероперабельности между приложениями, разработанными с использованием данных моделей.

Парадигмы информационного моделирования. Использование объектно-ориентированной парадигмы [8] для информационного моделирования подразумевает выделение абстракций предметной области в виде типов объектов (классов или сущностей), их основных характеристик как атрибутов объектных типов и различного рода взаимоотношений или связей (специализации, ассоциации, агрегации, зависимости и др.), возникающих между объектными типами. Дополнительно может поддерживаться описание ограничений целостности данных, а также определение операций или методов, применимых к объектным типам. Заметим, что для описания объектно-ориентированных информационных моделей используются различные текстовые и визуальные нотации: ER-диаграммы, языки EXPRESS/EXPRESS-G, UML, SysML, IDEF и т.п.

В частности, в языке EXPRESS возможно определять простые, конструируемые, объектные типы данных, а также типы упорядоченных и неупорядоченных коллекций, с ограничениями целостности на них. Они могут использоваться в качестве типов атрибутов в объектных типах, определяемых с помощью конструкции ENTITY (сущность). Язык EXPRESS предусматривает поддержку сложной модели наследования сущностей, включая одиночное и множественное наследование с логическими ограничениями для допустимых комбинаций подтипов. Ассоциативные связи (однонаправленные и двунаправленные) между сущностями задаются путем декларации атрибутов объектных типов. Подробное описание возможностей языка EXPRESS можно найти в работе [9].

Парадигма онтологического моделирования [10] предполагает детальную формализацию некоторой предметной области с помощью концептуальной схемы, в которой определяются характерные для данной области классы объектов, их свойства и ограничения. В этом заключается ее основное сходство с объектно-ориентированным моделированием. Так, язык описания онтологий OWL допускает определение классов (Classes), которые организованы в виде иерархии. Стандарт языка поддерживает одиночное и множественное наследование классов с использованием теоретико-множественных операций для определения допустимых комбинаций подклассов. Простые типы данных в OWL (Datatypes) могут быть как встроенными, предопределенными в языках RDF и XML, так и пользовательскими, сконструированными на их основе. Для последних возможно задание ограничений области значений. Свойства в OWL подразделяются на два вида: свойства объектов (Object

Properties), которые задают отношения между классами объектов и являются аналогами связей в объектно-ориентированной парадигме, а также свойства типов данных (Datatype Properties), которые задают отношения между классами и простыми типами данных и являются аналогами атрибутов.

Несмотря на имеющееся сходство, между парадигмами объектно-ориентированного и онтологического моделирования существуют принципиальные различия [11]. Класс или сущность в объектно-ориентированном подходе определяет четкую структуру информации об объектах заданного типа с указанием фиксированного набора атрибутов и связей и, возможно, набора допустимых операций над данными объектами. Атрибуты, связи и операции определяются внутри некоторого объектного типа и неразрывно связаны с ним. В онтологическом моделировании класс является одним из способов группировки объектов, где свойства определяются вне классов и существуют независимо от них, образуя собственные иерархии свойств объектов и типов данных. При этом одно и то же свойство может относиться к объектам разных классов, даже находящихся в разных ветвях иерархии классов. Объектно-ориентированная модель включает определения только типов данных, включая объектные, а онтологическая модель может включать определения не только классов, но и индивидуальных экземпляров объектов (индивидов). Более того, класс в онтологической модели может определяться путем перечисления его индивидов. Для индивидов допускается нечеткая типизация, в частности, один индивид может являться экземпляром разных, не связанных между собой классов. Отличительной особенностью онтологической модели является наличие аксиом – логических правил, на основании которых имеется возможность выводить новые факты или определения. Например, класс индивида может быть определен на основании свойств, которыми он обладает.

Организация и особенности стандарта IFC. Рассмотрим организацию и особенности стандарта IFC. Единая информационная схема IFC условно подразделяется на несколько подсхем, принадлежащих одному из следующих концептуальных уровней:

– ресурсы: определение вспомогательных структур данных для общих ресурсов (геометрия, топология, формы, материалы, измерения, стоимости, временные параметры и т.п.), которые совместно используются типами данных более высокого концептуального уровня;

– ядро: определение абстрактных типов данных, от которых прямо или косвенно наследуются сущности более высоких уровней;

– интероперабельность: определение типов данных, которые используются в архитектурно-строительных проектах на междисциплинарных уровнях;

– прикладная область: определение типов данных, специфических для конкретных прикладных дисциплин (архитектура, управление

строительством, электрические системы, отопление, вентиляция и кондиционирование, системы противопожарной защиты, структурный анализ, дорожное строительство и т.п.).

Все сущности уровня ядра и выше образуют единую иерархию с корневой сущностью IfcRoot. В ней появляется определение глобального идентификатора объекта (GUID) и, как следствие, понятие объектной идентичности по совпадению значений GUID, свойственной объектному подходу. В сущностях уровня ресурсов GUID отсутствует, поэтому их экземпляры должны быть прямо или косвенно связаны с экземплярами высокоуровневых сущностей. Непосредственными наследниками IfcRoot являются определения объектов (IfcObjectDefinition), определения свойств (IfcPropertyDefinition) и взаимосвязи (IfcRelationship). В свою очередь, определения объектов классифицируются как контексты (IfcContext), объекты (IfcObject) и типы объектов (IfcTypeObject). Одной из разновидностей контекста является сущность проекта (IfcProject) с ограничением, требующим наличия не более одного экземпляра IfcProject в каждом наборе данных. Предполагается, что экземпляры других сущностей в наборе прямо или косвенно связаны с единственным экземпляром IfcProject.

Модель IFC имеет несколько механизмов расширения семантики путем уточнения типов объектов или определения новых типов без необходимости создания сущностей для этой цели, а также задания дополнительных способов классификации объектов. Для большинства сущностей объектов (прямо или косвенно наследуемых от IfcObject) определен атрибут с именем PredefinedType соответствующего перечислимого типа, который задает дополнительный способ классификации подобных объектов. Как правило, одно из состояний перечислимого типа называется UserDefined, что позволяет пользователям задавать собственные типы данных объектов с именем, устанавливаемым значением атрибута ObjectType, определенного в сущности IfcObject. Каждому объекту могут быть дополнительно назначены классификаторы (IfcClassificationReference) из различных таксономических систем (IfcClassification), что позволяет отнести индивидуальный экземпляр данного объекта одновременно к нескольким классам аналогично индивидам в онтологических моделях.

Каждая сущность объекта или типа объекта помимо набора атрибутов, который определен в соответствующей сущности согласно объектно-ориентированной парадигме, может иметь дополнительные свойства (IfcProperty), которые объединяются в наборы (IfcPropertySet). Часть наборов свойств предопределена в стандарте для конкретных сущностей объектов и типов (при этом один набор свойств может относиться к разным объектам и типам), но описывается неформально в документации, а не в схеме. Любое программное приложение, поддерживающее модель IFC, может определять собственные динамически расширяемые наборы свойств. Приложение может также

предоставить метамодель для формального описания собственных наборов свойств (IfcPropertyTemplateDefinition), в которой задать имена, описания, типы данных свойств, синтаксис представления и единицы измерения значений, а также правила назначения определенным сущностям объектов и типов. Наличие расширяемых наборов свойств, определяемых вне сущностей, где один и тот же набор может быть назначен нескольким сущностям, соответствует парадигме онтологического моделирования.

В IFC используется объектификация взаимосвязей. В данном подходе взаимосвязи определяются собственной иерархией типов, наследуемых от абстрактной сущности ядра IfcRelationship. Это позволяет хранить собственные параметры взаимосвязей отдельно от связанных объектов, а также расширить семантику языка EXPRESS путем определения различных типов взаимосвязей, включая ассоциации, композиции, назначения, определения, декларации, связи. Объектификация и классификация взаимосвязей также являются характеристиками, свойственными онтологическому подходу. Соответствия элементов разных моделей приведены в таблице.

Соответствия элементов моделей

Элемент модели	Объектно-ориентированная (EXPRESS)	Онтологическая (OWL)	Смешанная (IFC)
Простые типы данных	Предопределены в EXPRESS	Предопределены в XML и RDF	Предопределены в EXPRESS
Агрегированные типы данных	ARRAY, BAG, LIST, SET	rdf:Bag, rdf:Seq	ARRAY, LIST, SET
Конструируемые типы данных	ENUMERATION, SELECT	rdf:Alt, owl:oneOf	ENUMERATION, SELECT
Специализация типов	TYPE	Datatype	TYPE
Объектные типы данных	ENTITY	Class	ENTITY, PredefinedType, IfcClassification
Наследование объектных типов	Множественное	Множественное	Одиночное
Атрибуты	есть	нет	есть
Простые свойства	нет	DataProperty	IfcPropertySet
Объектные свойства	нет	ObjectProperty	IfcRelationship

Окончание таблицы

Элемент модели	Объектно-ориентированная (EXPRESS)	Онтологическая (OWL)	Смешанная (IFC)
Ограничения	WHERE, UNIQUE, RULE	owl:Restriction, SWRL	WHERE, UNIQUE, RULE

Приложение для отображения моделей. Установленная двойственность позволяет определять семантические соответствия между альтернативными отраслевыми информационными моделями, представленными как в объектно-ориентированной, так и в онтологической парадигме. Эту возможность реализует разработанное в ИСП РАН web-приложение в составе Национальной ТИМ-платформы [12]. В настоящий момент приложение поддерживает онтологические модели, представленные различными форматами (OWL, RDF, Turtle), и позволяет сопоставлять их с целевыми схемами IFC актуальных версий.

Графический интерфейс разработанного web-приложения с загруженной моделью классификатора строительной информации (КСИ) [13] показан на рис. 1. Для преобразования КСИ в онтологию OWL была разработана специальная утилита. Приложение позволяет загружать онтологические модели, устанавливать соответствия между типами данных, классами, свойствами и взаимосвязями загруженной онтологии и выбранной версии IFC, а также сохранять соответствия в файл формата JSON.

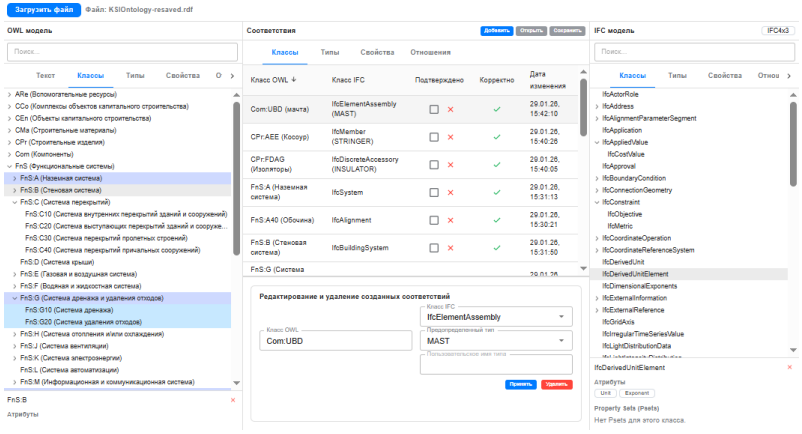


Рис. 1. Графический интерфейс приложения отображения моделей

В качестве подобного инструмента, решающего похожие задачи, следует упомянуть облачный сервис buidlingSMART Data Dictionary (bSDD) [1, 14], позволяющий связывать понятия из различных таксономических систем с целевой моделью IFC, а также находить определения и переводы терминов, отношения между ними, свойства и их допустимые значения, единицы измерения и т.п., с целью повысить качество и согласованность информации, уменьшить недопонимание и обеспечить более эффективное сотрудничество в архитектурно-строительной отрасли. В настоящее время сервис bSDD содержит более 300 таксономических систем, охватывающих международные и национальные стандарты, а также корпоративные соглашения о классификациях. Графический интерфейс сервиса bSDD со списком терминов международного классификатора ETIM Modeling Classes [15] и отображением информации о выбранном классе показан на рис. 2.

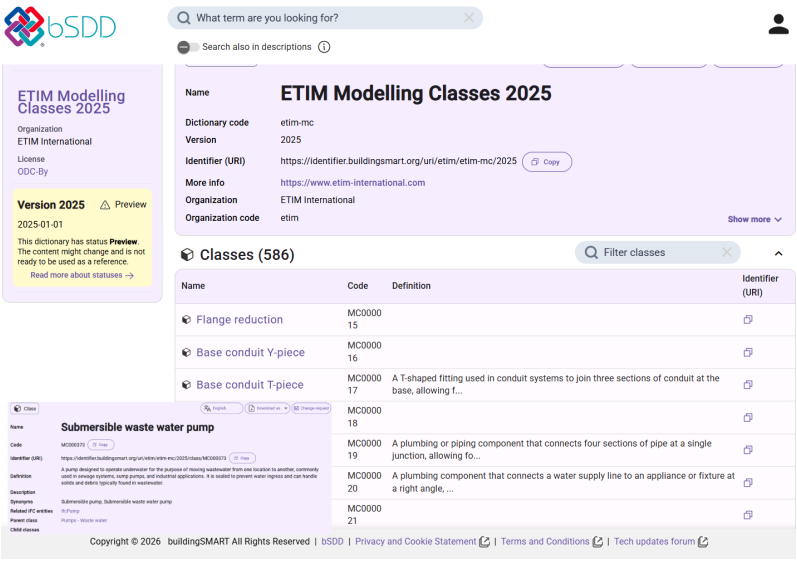


Рис. 2. Снимки экрана сервиса bSDD

Заключение. Таким образом, стандарт IFC сочетает в себе принципы объектно-ориентированного и онтологического подходов. Благодаря данной двойственности, имеется возможность просто устанавливать семантические соответствия между разными отраслевыми моделями, которые опираются на вышеперечисленные подходы и используют IFC в качестве медианного представления. Разработанное web-приложение в составе Национальной ТИМ-платформы реализует данную возможность. Как ожидается,

установленные соответствия, будучи принятыми ТИМ-сообществом в качестве стандартных, будут способствовать достижению семантической интероперабельности между программными приложениями на практике.

Литература

1. *Eichler C.C., Schranz Ch., Krischmann T., Urban H., Hopferwieser M., Fischer S.* BIMcert Handbook – Basic knowledge openBIM. Edition 2024. Mironde-Verlag, Niederfrohna, 2024. 223 p. DOI: 10.34726/5383.

2. *Borrmann A., Beetz J., Koch C., Liebich T., Muhic S.* Industry Foundation Classes – A standardized data model for the vendor-neutral exchange of digital building models. In: Building Information Modeling – Technology Foundations and Industry Practice. Springer, Cham, 2018. P. 81–126. DOI: 10.1007/978-3-319-92862-3_5.

3. *Semenov V., Arishin S., Semenov G.* Towards conceptual interoperability of BIM applications: Transaction management versus data exchange // eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction – Proceedings of the 13th European Conference on Product and Process Modelling, ECPPM 2021. P. 51–58. DOI: 10.1201/9781003191476-7.

4. *Hitzler P.* A review of the semantic web field // Association for Computing Machinery. Communications of the ACM. 2021. Vol. 64, No. 2. P. 76–83. DOI: 10.1145/3397512. EDN: UQPVVI.

5. *Pawels P., Terkaj W.* EXPRESS to OWL for construction industry: Towards a recommendable and usable ifcOWL ontology // Automation in Construction. 2016. Vol. 63. P. 100–133. DOI: 10.1016/j.autcon.2015.12.003.

6. *Zhang C., Beetz J., de Vries B.* BimSPARQL: Domain-specific functional SPARQL extensions for querying RDF building data // Semantic Web. 2018. Vol. 9 P. 829–855. DOI: 10.3233/SW-180297.

7. *Wang C., Zhang L., Yan W.* Enhancement and validation of ifcOWL ontology based on Shapes Constraint Language (SHACL) // Automation in Construction. 2024. Vol. 160. P. 105293. DOI: 10.1016/j.autcon.2024.105293. EDN: DBGDZY.

8. *Booch G., Maksimchuk R., Engle M.,* et al. Object-oriented Analysis and Design with Applications, Third Edition. Addison-Wesley, 2007. 720 p.

9. *Семенов В.А., Аришин С.В., Семенов Г.В.* Формальные правила продукции объектной нотации для данных, определяемых EXPRESS схемой // Труды Института системного программирования РАН. 2021. Т. 33, № 5. С. 7–24. DOI: 10.15514/ISPRAS-2021-33(5)-1. EDN: BHKBZQ.

10. *Staab S., Studer R.* (eds.) Handbook on Ontologies, Second Edition. Springer-Verlag, Berlin, 2009. 811 p.

11. *Горшков С.* Введение в онтологическое моделирование, ревизия 2.4. ООО «ТриниДата», 2016. 150 с.

12. Национальная ТИМ Платформа. URL: https://bim.ispras.ru (дата обращения: 31.01.2026).

13. Классификатор Строительной Информации. URL: http://ksi.faufcc.ru (дата обращения: 31.01.2026).

14. buildingSMART Data Dictionary – buildingSMART International. URL: https://search.bsdd.buildingsmart.org (дата обращения: 31.01.2026).

15. ETIM Modeling Classes – an international introduction. URL: https://www.etim-international.com/etim-modelling-classes-an-international-introduction (дата обращения: 31.01.2026).

УДК 004.89+004.822
DOI: 10.23968/BIMAC.2026.013

Просвирнин Евгений Сергеевич, BIM-координатор, аспирант
(Архитектурная мастерская «Евгений Герасимов и Партнеры»,
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)
E-mail: ev.prosvirnin@yandex.ru, ORCID: 0009-0009-0243-3014
Наместников Алексей Михайлович, д-р техн. наук, профессор
(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)
E-mail: am.namestnikov@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2912-7278

Prosvirnin Evgeny Sergeevich, BIM Coordinator, postgraduate student
(Architectural workshop "Evgeny Gerasimov and Partners",
Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)
Namestnikov Alexey Mikhailovich, Dr. Sci. Tech., Professor
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

УМНЫЙ ПОИСК ТРЕБОВАНИЙ В ГОСТ И СП: RAG-СИСТЕМА НА БАЗЕ ОНТОЛОГИЙ

SMART SEARCH FOR REQUIREMENTS IN TECHNICAL DOCUMENTATION: RAG SYSTEM BASED ON ONTOLOGIES

В условиях роста объема и сложности нормативно-технической документации (НТД) в строительной области и дефицита кадров, встает проблема быстрого поиска информации. Для решения подобных задач активно применяются RAG-системы (Retrieval Augmented Generation – генерация текста, основанная на предоставлении информации из внешних источников в запросе к LLM), но существующие решения не в полной мере подходят для поиска информации в НТД. Предлагаемая в работе архитектура системы основана на интеграции RAG и онтологий, которые позволяют формализовать структуру документов, учитывать их взаимосвязь друг с другом, перекрестные ссылки и юридические статусы. Проведенные эксперименты показали, что такой подход значительно повышает точность извлечения информации для сложных вопросов.

Ключевые слова: гибридные RAG-системы, онтологии, большие языковые модели (LLM), поиск информации по онтологии, векторный поиск, поиск по ключевым словам, перекрестные ссылки, нормативно-техническая документация, строительное проектирование.

In the context of the growing volume and complexity of technical documentation (TD) in the construction industry, coupled with a shortage of personnel, the problem of quickly finding information becomes increasingly acute. To address such challenges, RAG systems

(Retrieval Augmented Generation – text generation based on providing external source information in the prompt to an LLM) are being actively used. However, exist approaches are not fully suitable for searching information within TD. The system architecture proposed in this work is based on the integration of RAG and ontologies, which make it possible to formalize the structure of documents, take into account their interrelationships, cross-references, and legal statuses. The conducted experiments demonstrated that this approach significantly improves the accuracy of information retrieval for complex queries.

Keywords: hybrid RAG systems, ontologies, Large Language Models (LLM), ontology-based information retrieval, vector search, keyword search, cross-references, technical documentation, construction design.

Рост сложности и объема нормативно-технической документации (НТД) является источником ряда проблем для строительных организаций. Необходимость учета многочисленных требований может привести к значительным временным издержкам и излишним материально-техническим затратам.

Целью работы является повышение эффективности поиска информации в НТД за счет применения онтологического подхода в RAG-системах. Для ее достижения была разработана онтология, моделирующая структуру документов, реализован алгоритм поиска информации по онтологии и проведена экспериментальная оценка предлагаемого подхода.

Часто НТД содержит ссылки как на пункты внутри документа, так и на внешние источники. Такие ссылки могут вести на устаревшие или отмененные документы. Эта проблема может усугубляться тем, что выпуском нормативной документации занимается, как правило, несколько организаций. Поэтому проектировщику при работе с внешними ссылками необходимо проверять актуальность каждого СП, ГОСТа и т. д. [1].

Для решения подобных задач активно применяются подходы, основанные на использовании больших языковых моделей (LLM), в частности, генераторы текста, объединенные с поиском информации из внешних источников (RAG-системы). RAG-системы позволяют организовать поиск нужной информации в базе знаний для последующего использования при генерации текста в LLM. Такой подход позволяет снизить у языковой модели вероятность генерации правдоподобных, но ложных утверждений (галлюцинаций) и при этом не требует от пользователя специальных навыков для взаимодействия [2, 3]. Однако, классические RAG-системы, основанные на векторном поиске или поиске по ключевым словам, плохо приспособлены для работы со сложно структурированной информацией [4, 5].

Подход, предлагаемый в данной работе, основывается на использовании онтологии в качестве базы знаний RAG-системы, где явно отражается структура документов с их перекрестными ссылками, которые позволяют отслеживать актуальность информации. Это позволит системе находить актуальную и семантически важную информацию для последующего использования при генерации текста в LLM.

Для реализации RAG-системы была разработана онтология (рис. 1), которая состоит из четырех основных классов:

1. Documents (документы): описания нормативных документов.

2. Items (элементы документа): предназначены для моделирования структурных единиц документа (текст, формулы, таблицы и т. д.).

3. Chunks (фрагменты текста): необходимы для организации интеллектуального поиска информации. Фрагменты формируются из предложений, которые содержатся в элементах документа, и имеют свойства для ссылки на исходный элемент, записи исходного и обработанного текста.

4. Concepts (Ключевые слова и термины): описывают понятия предметной области и ключевые слова.

Предложенная структура онтологии позволяет отслеживать статусы валидности документов, поддерживать структурную целостность данных и учитывать перекрестные ссылки, которые часто встречаются в НТД. Кроме того, через объектные свойства становится возможным использование фрагментов текста любого размера – вплоть до отдельных предложений – без потери семантической связности.

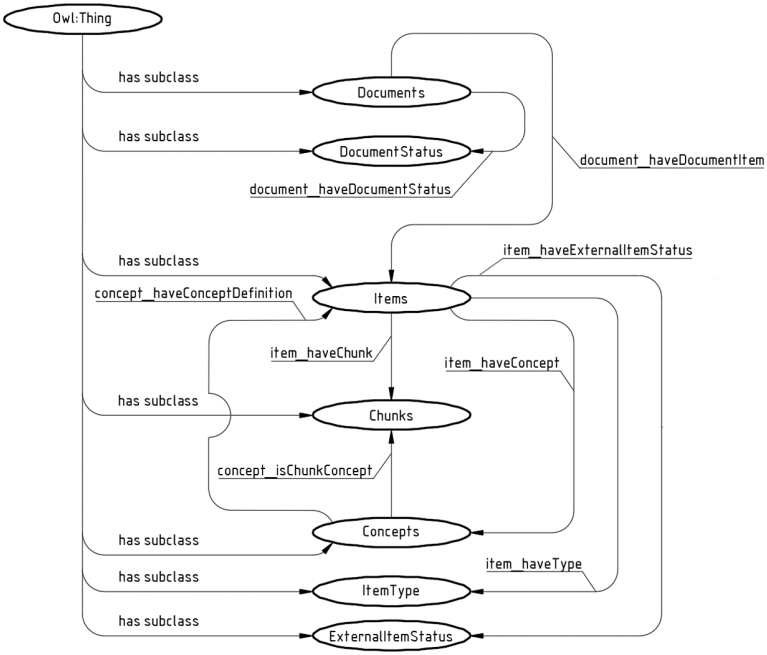


Рис. 1. Структура онтологии для моделирования структуры документов

По данной онтологии производится поиск информации по документам (см. рис. 2). Предложенная структура поиска сочетает фильтрацию по ключевым словам, векторный поиск и механизм расширения контекста, который позволяет извлекать определения терминов и учитывать перекрестные ссылки, часто встречающиеся в НТД.

Процесс начинается с получения запроса пользователя и извлечения из него ключевых слов. После этого система обращается к онтологии для извлечения фрагментов текста по ключевым словам. Такая фильтрация по словам необходима, поскольку она позволяет сузить область поиска для следующего этапа.

На этапе векторного поиска, система сравнивает запрос пользователя и полученные фрагменты текста, представленные в численном виде с помощью специальной эмбеддинг-модели, таким образом находя наиболее релевантные фрагменты текста.

Наконец, активируется механизм расширения контекста. Его задача – найти в выборке, полученной из векторного поиска, связанные с элементами документа перекрестные ссылки и определения ключевых слов. Это обеспечивает семантически более богатый контекст для LLM, что минимизирует вероятность появления галлюцинаций и повышает точность ответа.

Для эмпирической оценки эффективности предлагаемого подхода, сочетающего гибридный RAG с интеграцией онтологии, был разработан тестовый стенд, позволяющий системе работать в режиме классического гибридного поиска и поиска по онтологии. Целью эксперимента являлось сравнение двух подходов: классического гибридного поиска и поиска с расширением контекста по семантическим связям в онтологии.

В результате проведения эксперимента (табл. 1) было установлено, что предлагаемый подход позволяет улучшить качество извлекаемой информации. Дополнительно следует отметить, что на простых запросах результаты работы двух архитектур практически неотличимы. Однако, когда вопрос предполагает ответ, основанный на связанных пунктах или требующий учета статуса валидности, то предложенный подход существенно превосходит базовый гибридный поиск (табл. 2).

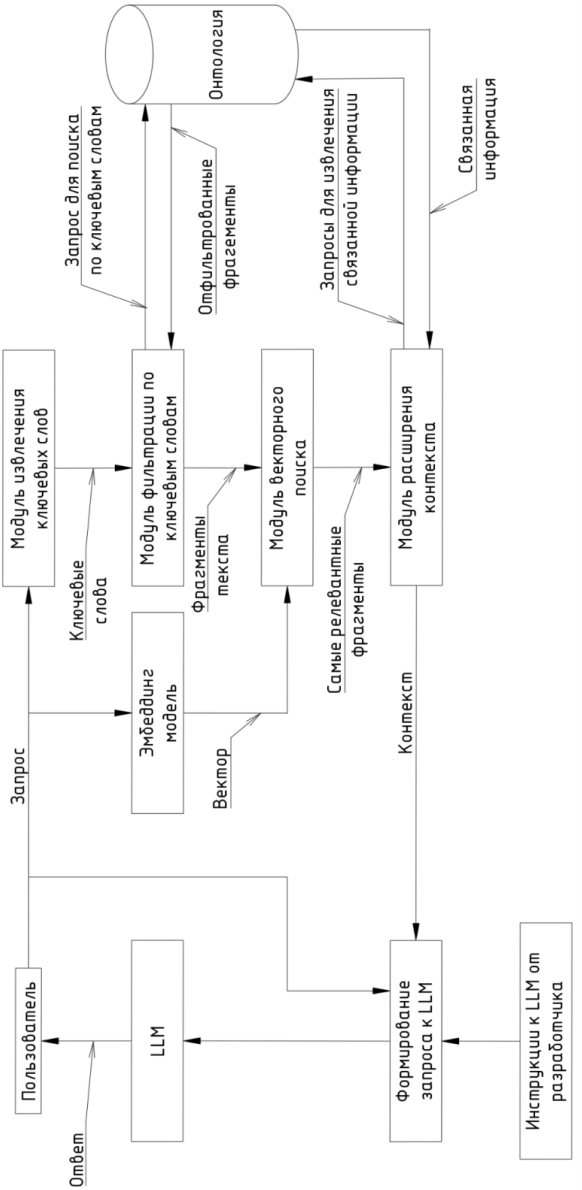


Рис. 2. Структура поиска предлагаемого подхода

Таблица 1

Данные, полученные по результатам эксперимента

Название метрики	Классическая RAG-система	RAG-система с онтологиями	Разница Δ,%
Простые вопросы			
Precision@5	0,680	0,700	2,941
Precision@10	0,520	0,530	1,923
Recall@5	0,382	0,402	5,233
Recall@10	0,576	0,585	1,466
DCG@5	60,924	61,579	1,074
DCG@10	76,099	76,749	0,854
Сложные вопросы			
Precision@5	0,8	0,8	0,000
Precision@10	0,6	0,7	16,667
Recall@5	0,364	0,364	0,000
Recall@10	0,545	0,636	16,697
DCG@5	64,905	64,905	0,000
DCG@10	83,948	92,042	9,999

Таблица 2

Примеры результата работы системы

№ п.п.	Извлеченные пункты НТД			
	Классическая RAG-система	RAG-система с онтологиями	Классическая RAG-система	RAG-система с онтологиями
–	Простой запрос: как взаимосвязаны требования к долговечности конструкции и начальные характеристики материалов, используемых при ее изготовлении?		Сложный запрос: как следует рассчитывать бетонные элементы в зависимости от условий работы?	
1	п. 4.4		п. 5.2.3: ссылка на п. 5.2.4 и 5.2.5	
2	п. 4.3		п. 5.1.7	
3	п. 4.2		п. 5.1.4	
4	п. 4.5		п. 5.2.2: ссылка на условие (5.1)	
5	п. 4.1		п. 5.1.13: ссылка на 5.1.11	
6	п. 4.6		п. 5.1.11	
7	п. 5.1.7		п. 5.1.1	
8	п. 5.1.9		п. 5.1.2	усл. (5.1)
9	п. 5.1.3		п. 5.2.1	п. 5.2.4
10	п. 5.1.2	п. 5.5.4	п. 5.2.5	п. 5.2.5

Примечание: в таблице приведены номера пунктов НТД, найденные модулями поиска и ранжированные по релевантности. Перекрестные ссылки указаны явно для удобства восприятия. В простом вопросе перекрестных ссылок нет, поэтому модуль расширения контекста вернул результат векторного поиска без изменений. Разница в найденных пунктах для простого вопроса вызвана погрешностью эмбеддинг-модели. В сложном вопросе модуль расширения контекста нашел связанные пункты и заместил менее релевантные результаты векторного поиска в нижней части списка

Основное преимущество разработанной системы в том, что она не требует специальных навыков от пользователя для взаимодействия, поскольку запрос осуществляется в формате обычного сообщения в свободной форме. При этом доступ к данным осуществляется с минимальными задержками.

Таким образом, предложенный подход, благодаря своим свойствам, позволяет проектировщику работать с нормативной документацией в режиме «вопрос – ответ». При этом полученный ответ будет содержать все необходимые ссылки, а вся информация будет проверена на актуальность. Это превращает трудоемкий процесс поиска информации в быстрый и понятный диалог, что способствует повышению качества и скорости принятия проектных решений.

Литература

1. *Kagan P., Babushkin E.* Application of digital standards in construction // E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 458. P. 07022. DOI: 10.1051/e3sconf/202345807022. EDN: XNIPMQ.

2. *Ke Y.H.* et al. Retrieval augmented generation for 10 large language models and its generalizability in assessing medical fitness // npj Digital Medicine. 2025. Vol. 8. P. 187. DOI: 10.1038/s41746-025-01519-z. EDN: YPRVJM.

3. *Gao Y.* et al. Retrieval-Augmented Generation for Large Language Models: A Survey // arXiv preprint arXiv:2312.10997. 2024. DOI: 10.48550/arXiv.2312.10997.

4. *Sharma K., Kumar P., Li Y.* OG-RAG: Ontology-Grounded Retrieval-Augmented Generation for Large Language Models // arXiv preprint arXiv:2412.15235. 2024. DOI: 10.48550/arXiv.2412.15235.

5. *Tiwari Y., Lone O.A., Pal M.* OntoRAG: Enhancing Question-Answering through Automated Ontology Der-ivation from Unstructured Knowledge Bases // arXiv preprint arXiv:2506.00664. 2025. DOI: 10.48550/arXiv.2506.00664.

УДК 004.94:69.05
DOI: 10.23968/BIMAC.2026.014

Романович Марина Александровна, канд. техн. наук, доцент
(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)
E-mail: m.romanovich.spbstu@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-1608-2883
Ткаченко Олеся Евгеньевна, магистрант
(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)
E-mail: tkachenko.oe@edu.spbstu.ru

Romanovich Marina Aleksandrovna, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)
Tkachenko Olesya Evgenevna, Master's degree student
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)

ПРЕИМУЩЕСТВА ПРИМЕНЕНИЯ 4D-МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ

ADVANTAGES OF 4D MODELING APPLICATION FOR ENHANCING RISK MANAGEMENT EFFICIENCY

В статье анализируются эффективность применения технологии 4D-моделирования для управления сроками строительства промышленного объекта. На примере проекта с превышением плановой продолжительности рассматриваются факторы задержек, треть которых связана с производственными процессами, которые поддаются регулированию. На примере промышленного объекта демонстрируется моделирование потенциальных рисков, которые могут наступить в течение строительного процесса. Данные о рисках собраны на примере построенного объекта, где не применялись технологии 4D-моделирования. Доказано, что использование 4D-моделирования для сценарного анализа рисков на этапе планирования позволяет минимизировать их влияние на график строительства.

Ключевые слова: 4D-моделирование, контроль сроков строительства, строительные проекты, строительные работы, строительство.

The article examines the effectiveness of applying 4D-modeling technology for managing the construction schedule of an industrial facility. Using a case study of a project that exceeded its planned duration, the factors causing delays are analyzed; a third of these are linked to production processes that can be regulated. The study demonstrates how 4D-modeling can be used to simulate potential risks that may arise during the construction process. Risk data were collected from a completed project where 4D-modeling was not employed. The findings show that employing 4D-modeling for scenario analysis of risks during the planning phase can minimize their impact on the construction schedule.

Keywords: 4D BIM, project schedule control, construction projects, construction works, construction.

Управление ходом строительства необходимо для минимизации возникновения проблем, связанных со сложностью соблюдения сроков, координацией работ и точностью выполнения графиков. Одним из решений этих проблем является применение технологий информационного моделирования зданий (ТИМ), среди которых особое внимание заслуживает 4D-моделирование, интегрирующее временной аспект в процесс проектирования и строительства. Технологии информационного моделирования (ТИМ) позволяют демонстрировать ход строительства в рамках разработанного календарного плана, координировать работу между участниками строительного процесса, своевременно и точно отслеживать качество выполняемых работ, что значительно повышает эффективность контроля сроков строительства [1]. Технологии 4D-моделирования широко применяются в современном строительстве, особенно часто применение ТИМ можно встретить на дорогостоящих сложно-технологических объектах, где цена потенциальной ошибки или просчета, любой временной задержки высока. В таких условиях возможность заранее смоделировать и проанализировать весь цикл работ становится критически важной для минимизации рисков и соблюдения сроков. К категориям таких объектов относятся, прежде всего, сложные инженерные сооружения, объекты инфраструктуры и промышленные здания.

Целью данной статьи и исследования является изучение факторов возникновения ошибок в процессе строительства, риск наступления которых можно уменьшить при помощи технологии 4D-моделирования.

Исследование проводилось на примере строительства промышленного объекта. В качестве исходных данных были проанализированы разработанные на этапе проектирования 3D-модель объекта, а также утвержденный заказчиком календарный график производства работ, согласно которому общая продолжительность строительства от организации площадки до ввода объекта в эксплуатацию должна была составить 16 месяцев (482 дня). В настоящий момент фактическая продолжительность строительства составляет 30 месяцев. Именно данное критическое отклонение послужило важной аргументацией для разработки методики по внедрению 4D-моделирования.

В рамках исследования был проведен комплексный анализ факторов, влияющих на критическую задержку, в результате которого удалось разделить их на две категории.

– Категория 1: (≈ ⅔ от общего объема задержек).

Во время строительства объекта возникли проблемы, связанные с макроэкономическими и организационными вопросами, в первую очередь – с периодическими остановками финансирования проекта. Данные факторы в работе не рассматривались.

– Категория 2: (≈ ⅓ от общего объема задержек).

Эта категория более интересна для данного исследования. Данные задержки были вызваны причинами, непосредственно связанными

с производственным процессом. На основании сбора статистических данных и их анализа были выявлены факторы, в наибольшей степени повлиявшие на строительный процесс (см. таблицу).

Ошибки в процессе строительства

Выполняемый процесс	Задержка (рабочих дней)
1. Логистика и поставки	5–20 дней
2. Строительно-монтажные работы	3–30 дней
3. Проектирование	5–60+ дней
4. Управление и контроль	3–14 дней на каждом этапе
5. Монтаж инженерных систем	3–15 дней

Также была составлена гистограмма, которая наглядно демонстрирует частоту возникновения факторов из табл. 1 в процентном соотношении. Наиболее часто на площадке происходили ошибки во время строительно-монтажных работ (35 %). Наименьшее влияние оказывали факторы, связанные с коммуникацией (10 %).

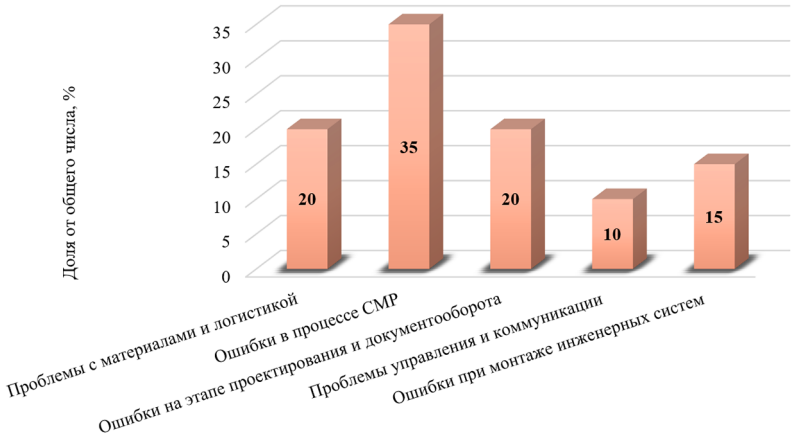


Рис. 1. Частота возникновения факторов, влияющих на продолжительность строительного процесса

В рамках исследования в процессе работы с 4D-моделью удалось смоделировать несколько сценариев. Первый – директивный – это «директивная

модель», где все работы соответствуют плану, и продолжительность строительного процесса составляет 16 месяцев (482 дня) (см. рис. 2).



Рис. 2. 4D-модель с директивным календарным графиком

Далее были смоделированы сценарии с рисками, а именно с наступившими факторами из табл. 1, которые повлияли на продолжительность строительного процесса (см. рис. 3 и 4). Ниже описан один из них, в рамках которого были смоделированы два риска:

– Первый риск (рис. 3) был связан с ошибкой в поставке бетона для бетонирования фундамента: на объект был доставлен бетон марки В30, вместо проектного В25. Для устранения данной ошибки потребовалось суммарно 9 дней (на проверку строительным контролем бетона, на составление актов, на организацию поставки нового бетона).

– Второй риск (рис. 4) возник из-за нарушения технологии строительно-монтажных работ в процессе армирования плиты перекрытия. Строители деформировали установленную армату, следовательно, в ходе проверки и составления акта о скрытых работах строительный контроль потребовал замену

арматурных стержней. Для исправления данной ошибки потребовалось дополнительно 7 дней.

На рис. 3 и 4 синим цветом показан директивный календарный график, зеленым цветом показан фактический календарный график. Розовым цветом показано увеличение продолжительности выполнения работ в связи с наступлением риска, что также привело к изменению времени начала и окончания последующих работ в календарном графике.

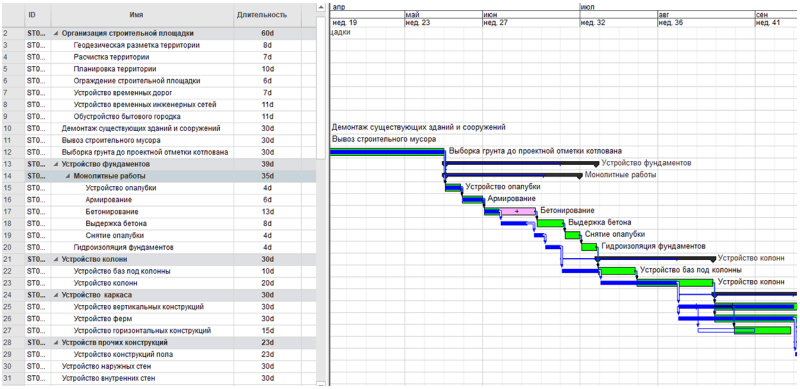


Рис. 3. Наступление риска, связанного с поставков неверной марки бетона

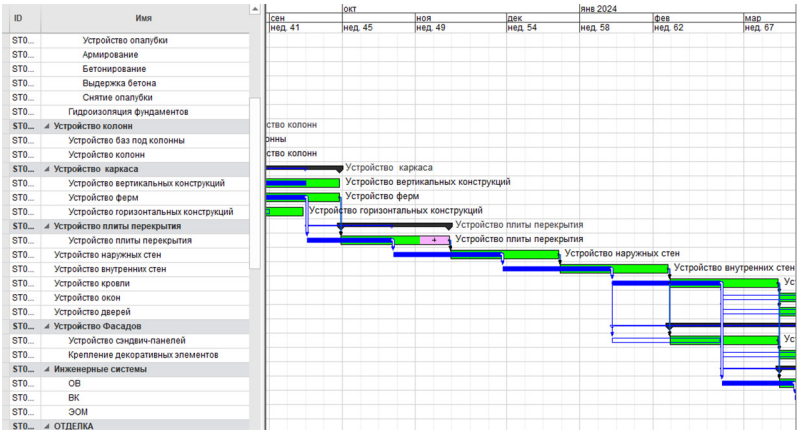


Рис. 4. Наступление риска, связанного с нарушением технологии строительно-монтажных работ в процессе армирования плиты перекрытия

Совокупное влияние различных факторов привело к увеличению общей продолжительности строительного процесса. Проведенное моделирование наглядно демонстрирует, что использование 4D-моделирования позволяет не только фиксировать задержки, но и заранее, на этапе планирования, оценивать их потенциальное влияние (риски возникновения), что является эффективным инструментом для разработки упреждающих мер по минимизации рисков.

4D-модель – это не просто инструмент визуализации, а аналитический комплекс для опережающего управления. Было доказано, что заблаговременное моделирование негативных сценариев на этапе подготовки проекта позволяет снизить риски наступления неблагоприятных факторов в процессе строительства [4–7].

Литература

1. *Ожгибесова К.Е., Мингареева Р.Р., Сондуева С.Р.* Технологии информационного моделирования (ТИМ) в строительстве РФ: особенности применения на различных стадиях жизненного цикла объекта // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. 2021. № 11-1. С. 157–159. DOI: 10.23672/t7479-5092-7107-a. EDN: YVOGXG.

2. *Матвеева М.В., Адегбола А.А.А.* К вопросу организации процессов 4D-моделирования и управления ими в строительстве // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12, № 2(41). С. 190–195. DOI: 10.21285/2227-2917-2022-2-190-195. EDN: QVZRKL.

3. *Зубарев И.А., Шутка А.В.* Опыт реновации промышленных территорий на примере города Москвы // Национальная ассоциация ученых. 2020. № 55-3(55). С. 4–7. DOI: 10.31618/nas.2413-5291.2020.3.55.222. EDN: UOGXZM.

4. Реновация промышленных территорий и объектов. URL: http://archrafika.ru/publ/bez_kategorij/bez_kategorij/renovacija_promyshlennykh_territorij_i_obektov/12-1-0-69/ (дата обращения: 11.03.2026).

5. Development Systems – BIM-технологии информационного моделирования. URL: https://ds.do/ (дата обращения: 11.03.2026).

6. *Бовтеев С.В.* Применение 4D-моделирования в целях повышения эффективности календарного планирования строительства // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : Мат-лы III Междунар. науч.-практ. конф. Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2020. С. 81–87. DOI: 10.23968/BIMAC.2020.009. EDN: EVWFOA.

7. *Горшков А.М., Железнов С.А., Лемешко Р.А., Пойда С.В.* Внедрение BIM-технологий в строительство // AlfaBuild. 2019. № 4(11). С. 70–81. EDN: ULYMDE.

УДК 004.6
DOI: 10.23968/BIMAC.2026.015

Семенов Виталий Адольфович, д-р физ.-мат. наук, профессор, зав. отделом
(Институт системного программирования им. В. П. Иванникова РАН,
Московский физико-технический институт)
E-mail: sem@ispras.ru, ORCID: 0000-0002-8766-8454
Зорин Евгений Михайлович, стажер-исследователь, аспирант
(Институт системного программирования им. В. П. Иванникова РАН)
E-mail: zorin.em@ispras.ru, ORCID: 0009-0000-6614-0485
Шило Александр Владимирович, главный специалист
отдела технологий информационного моделирования
(Санкт-Петербургское государственное автономное учреждение
«Центр государственной экспертизы»)
E-mail: shilo_av@exp.gne.gov.spb.ru, ORCID: 0009-0009-5367-9313

Semenov Vitaly Adolfovich, Dr. Sci. Phys.-Math., Professor, Head of Department
(Ivannikov Institute for System Programming of the Russian Academy of Sciences,
Moscow Institute of Physics and Technology)
Zorin Evgeny Mikhailovich, intern researcher, postgraduate student
(Ivannikov Institute for System Programming of the Russian Academy of Sciences)
Shilo Alexander Vladimirovich, chief BIM specialist
(St. Petersburg State Autonomous Institution “Center for State Expertise”)

WEB-РЕДАКТОР МАШИННО-ИНТЕРПРЕТИРУЕМЫХ ТРЕБОВАНИЙ В ФОРМАТЕ IDS++

WEB-EDITOR FOR COMPUTER-INTERPRETABLE REQUIREMENTS IN THE IDS++ FORMAT

Формат IDS, который позволяет представить требования к информационному наполнению цифровых информационных моделей (ЦИМ), сформированных в соответствии с открытым международным стандартом IFC, в последнее время приобретает широкое распространение в российской и зарубежной строительной практике. Для преодоления имеющихся ограничений актуальной версии формата IDS и обеспечения полноценной работы со сложными нормативными требованиями, выражаемыми различными алгебраическими условиями, в ИСП РАН разработан новый перспективный машинно-интерпретируемый формат IDS++. Целью настоящей статьи является представление полнофункционального программного инструмента для задания и редактирования сложных требований в данном формате. Особое внимание уделено возможностям предложенного формата и разработанного редактора для спецификации требований со сложными объектными контекстами.

Ключевые слова: ТИМ, IFC, IDS, IDS++, цифровизация требований, машинно-интерпретируемые форматы.

The IDS format, which enables the presentation of requirements for the information content of building information models (BIM) formed in accordance with the open international standard IFC, has recently become widely used in Russian and international construction practice. To overcome the existing limitations of the current version of the IDS format and ensure full support for sophisticated regulatory requirements expressed through various algebraic constraints, ISP RAS has developed a new promising computer-interpretable format IDS++. The purpose of this article is to present a fully functional software tool for defining and editing sophisticated requirements in this format. Particular attention is paid to the capabilities of the proposed format and the developed editor for specifying requirements with complex object contexts.

Keywords: BIM, IFC, IDS, IDS++, digitalization of requirements, computer-interpretable formats.

Введение. Открытые стандарты в области информационного моделирования выступают в качестве семантической и методологической основы обеспечения интероперабельности между программными решениями и формирования международной и национальных экосистем программного обеспечения. Спецификация информационной схемы для представления цифровых информационных моделей объектов капитального строительства (ЦИМ ОКС) определяется международным (и национальным) стандартом обмена данными IFC (Industry Foundation Classes) [1, 2]. Разработанные в проприетарных форматах ЦИМ преобразуются в формат IFC при обмене между участниками инвестиционно-строительной деятельности и создании архива данных по проекту в виде взаимосвязанных элементов в объектно-ориентированном виде. Такая форма представления данных по проектируемому объекту позволяет повысить качество получаемой документации за счет автоматизации процедур валидации ЦИМ с помощью машиночитаемых и машинно-интерпретируемых форматов представления требований к ЦИМ.

В последнее время значительное развитие получили инструменты, предназначенные для представления требований к ЦИМ на основе открытого стандарта IDS (Information Delivery Specification). Наиболее полно реализация функционала машинно-интерпретируемых требований представлена в отечественном редакторе IDS [3] и сервисе валидации моделей в формате IFC [4] в составе Национальной ТИМ-платформы, разрабатываемой в Институте системного программирования РАН (ИСП РАН). Текущая версия IDS 1.0 ограничена возможностью определять шесть условий, которые могут использоваться для создания самих требований и контекста (применимости), фиксирующего множество объектов модели, подлежащих валидации (подробнее о стандарте IDS – см. источники [1, 5, 6]).

Важной отличительной особенностью IDS от иных способов описания требований к ЦИМ является математическая строгость и однозначность спецификаций требований, обусловленные использованием формальных методов [7] и привязкой к единой общепринятой информационной схеме,

определяемой стандартом IFC. Как результат, требования формулируются в терминах стандарта IFC, базируясь на формальном математическом аппарате. Текущая актуальная версия стандарта IDS 1.0 ограничена проверками полноты объектного состава (entity), а также состава и корректности атрибутов (attribute), свойств (property), классификаторов (classification), материалов (material) и некоторых типов отношений между объектами (partOf). Она не позволяет создавать сложносоставные (в том числе нормативные) требования с параметрическими, пространственными, топологическими, метрическими, темпоральными и прочими алгебраическими условиями.

Основные принципы и новые возможности формата IDS++. Формат IDS++, разработанный в ИСП РАН, следует рассматривать в качестве перспективной основы для национального и, возможно, международного стандарта по представлению строительных норм и правил в формализованном виде. Базовыми принципами при создании формата IDS++ послужили:

– совместимость и гармонизация со стандартом IDS 1.0;

– математическая строгость и непротиворечивость спецификаций требований, их нейтральность по отношению к платформам реализации;

– простота задания типовых условий полноты ЦИМ, корректности области значений, релевантности и согласованности элементов модели;

– гибкость и универсальность спецификации сложных требований, выражаемых произвольными алгебраическими условиями;

– наличие декларативных и императивных средств описания требований;

– обеспечение компактности спецификаций за счет множественного использования введенных определений;

– достоверность и прослеживаемость результатов валидации ЦИМ, полученных на основе спецификаций требований;

– возможность создания и полнофункционального редактирования спецификаций требований в специализированных графических редакторах;

– документирование спецификаций требований с целью улучшения понимания человеком.

Для реализации данных принципов в IDS++ были добавлены следующие новые возможности:

– повторное использование определений контекстов за счет поддержки внешних (external applicabilities) и глобальных (global applicabilities) контекстов с возможностью их наследования (inherited applicabilities);

– множественные контексты (multiple applicabilities) для спецификации сложных требований, определяемых на коллекциях объектов;

– развитый набор условий (advanced facets), позволяющий задавать параметрические, геометрические ограничения, взаимосвязи объектов и их кратности, кардинальности, требования к пространственному расположению объектов, включая коллизии;

– многоместные предикаты с кванторами (multi-place predicates) для задания сложных логических условий;

– декларативная и императивная спецификация сложных функциональных требований на языках EXPRESS и Python;

– задание комплементарных документов с пояснениями и иллюстрациями спецификаций, а также организация реестров спецификаций требований.

Web-редактор машинно-интерпретируемых требований. Разработанный в ИСП РАН web-редактор спецификаций требований обеспечивает полнофункциональную поддержку формата IDS++. Он реализует все вышеперечисленные новые возможности формата IDS++ с поддержкой совместимости с оригинальным стандартом IDS 1.0. Снимок главного окна web-редактора спецификаций требований в формате IDS++ представлен на рис. 1. В данной статье сфокусируемся на описании особенностей работы редактора IDS++ с контекстами. Особенности организации формата IDS++ и примеры спецификации геометрических и пространственных требований можно найти в работе [8].

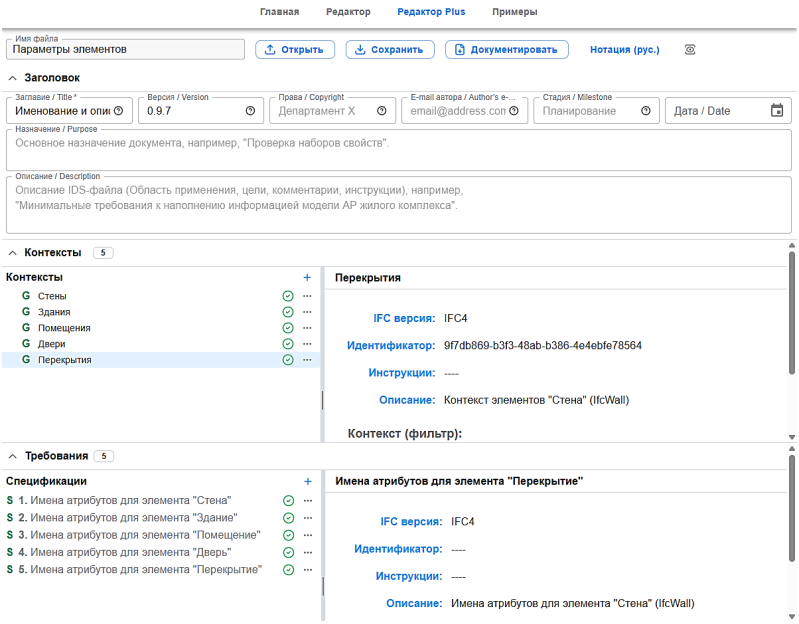


Рис. 1. Снимок главного окна редактора IDS++

Одной из главных возможностей редактора IDS++ является повторное использование определений за счёт внешних наследуемых контекстов (external and inherited applicabilities). Данные контексты могут быть многократно использованы в дальнейшем при спецификации требований.

Внешний контекст является самостоятельной значимой конструкцией наряду со спецификациями требований. Для корректности файла IDS++ достаточно, чтобы в нём содержалась хотя бы одна спецификация требования или хотя бы один внешний контекст. Таким образом, в стандарте IDS++ допустимы файлы без спецификаций требований. Это может быть полезно при создании так называемых «поисковых наборов» и «фильтров», например, для систем поиска коллизий в ЦИМ. Также имеется возможность использовать в спецификациях требований ссылки на контексты, определённые в других IDS++ файлах. Подобные контексты, определенные во внешних файлах, будем называть глобальными (global applicabilities). Это позволяет создавать взаимосвязанные между собой файлы спецификаций требований.

Внешний контекст в IDS++ состоит из заголовка, подобного заголовку спецификации требования, а также множества фасетов, или условий (facets), определяющих состав контекста, подобно тому, как это реализовано в стандартном формате IDS 1.0. Наборы фасетов, доступных для использования во внешних и локальных контекстах, эквивалентны. Структура внешних контекстов в IDS++ гармонизирована со структурой спецификаций и контекстов стандартного IDS. Окно редактирования внешних контекстов показано на рис. 2.

Важно заметить, что, хотя в IDS 1.0 в заголовке спецификаций поле Идентификатор (identifier) является опциональным, для внешних и глобальных контекстов оно обязательно, поскольку именно по этому полю выполняется адресация к ним. Также возникает требование к уникальности значения данного поля для однозначности адресации.

При задании локальных контекстов в IDS++ можно использовать адресацию ко внешнему контексту, определённому в том же IDS++ файле или же к глобальному контексту, определенному в другом файле. Пример использования внешнего контекста показан на рис. 3. Отметим, что в данном примере локальный контекст не задает в явном виде фасет «Класс / Entity», а лишь содержит ссылку на внешний контекст, где определен данный фасет. Список фасетов, унаследованных от внешнего контекста, отображается полупрозрачным, чтобы сигнализировать о невозможности его изменения из окна редактирования спецификации требования. К одному и тому же внешнему контексту может адресоваться множество локальных контекстов. При изменении данного внешнего контекста, каждый адресующийся к нему локальный контекст будет автоматически использовать изменённый вариант.

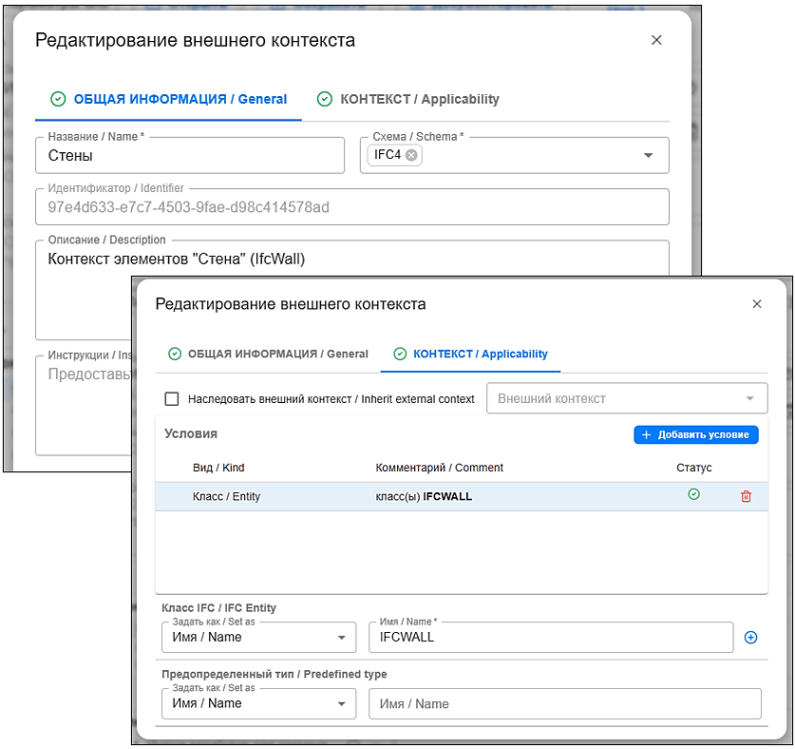


Рис. 2. Снимок окна редактирования внешних контекстов

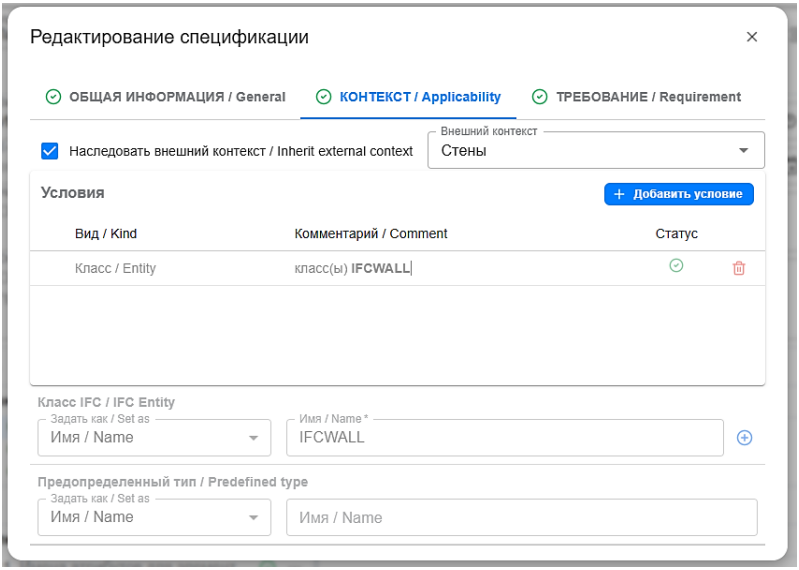


Рис. 3. Использование внешних контекстов для определения локального в спецификации

В IDS++ имеется возможность специализации внешнего контекста другим внешним или локальным контекстом, что соответствует парадигме наследования в объектно-ориентированном подходе. При этом дочерний контекст перенимает все фасеты родительского, а также может дополнить этот набор фасетов собственными. Так как в IDS все фасеты в контексте по умолчанию связываются логической функцией AND, дочерний контекст уточняет условия родительского. Пример наследования контекстов продемонстрирован на рис. 4. Можно видеть, что контекст «Стены со звукоизоляцией» уточняет контекст «Внутренние стены» дополнительным условием наличия свойства AcousticRating со значением Rw = 52 dB.

При редактировании набора фасетов родительского контекста это изменение автоматически распространяется на всех его «наследников». Частный случай, при котором наследуемый контекст не уточняет условий, соответствует случаю, где дочерний контекст играет роль ссылки на родительский. Функционал наследования контекстов может быть особенно полезен при описании онтологий, таксономий и иерархий классов, которые активно применяются в строительной отрасли.

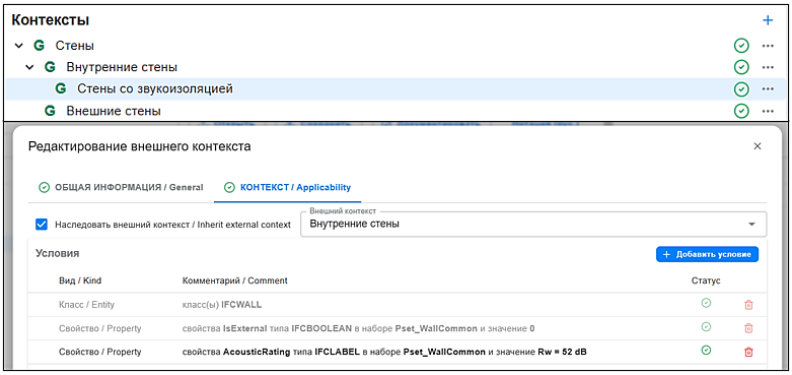


Рис. 4. Демонстрация наследования контекстов

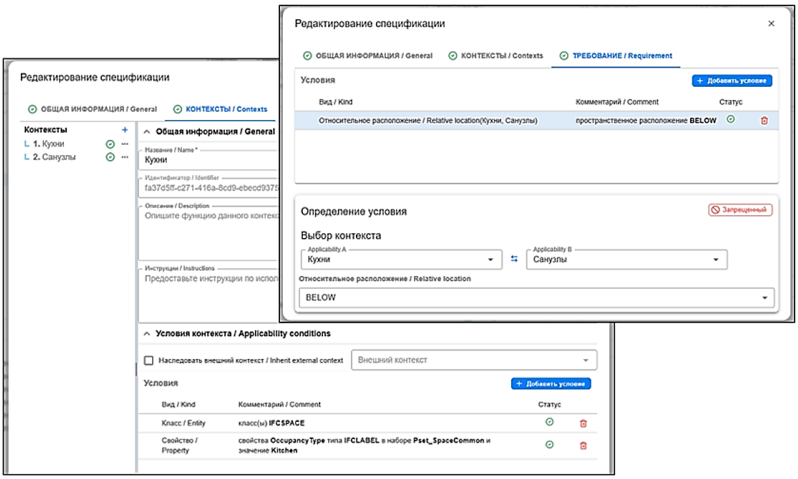


Рис. 5. Окно редактора спецификаций со множественными контекстами

Помимо функционала внешних и глобальных наследуемых контекстов в IDS++ также разработан новый универсальный тип спецификаций требований, использующий множественные контексты и покрывающий потребности создания разнообразных сложных требований. В IDS 1.0 каждое требование может оперировать лишь одним контекстом. В строительной отрасли существует большое количество норм и правил, описать которые с использованием лишь одного контекста (выборки данных), невозможно. IDS++ решает данную проблему.

Наглядным примером требований, которые невозможно описать одним контекстом, являются пространственные ограничения и коллизии. Для задания такого требования обычно нужно по крайней мере два контекста. Например, на рис. 5 представлена спецификация в IDS++ простого требования со следующей формулировкой: «Нахождение санузла над кухней запрещено». Описать такое требование в терминах стандартного IDS 1.0 невозможно, так как оно должно задавать ограничения сразу на два контекста: «Кухни» и «Санузлы».

В IDS++ нет ограничения на количество контекстов внутри одной спецификации. Это обусловлено тем, что существуют сложные требования, описать которые даже при наличии двух контекстов невозможно. Например, рассмотрим требование со следующей формулировкой: «Между кухнями и жилыми комнатами должна существовать стена со звукоизоляцией». В нём уже присутствуют три контекста: «Кухни», «Жилые помещения» и «Стены со звукоизоляцией». На рис. 6 представлено окно редактирования спецификации, в котором реализовано такое требование. При переводе на более строгий язык оно будет звучать следующим образом: «Для любой кухни и для любой комнаты при условии, что расстояние между ними составляет менее 0,1 см, для этой пары должна существовать стена со звукоизоляцией, являющаяся одновременно границей этой кухни и этой комнаты».

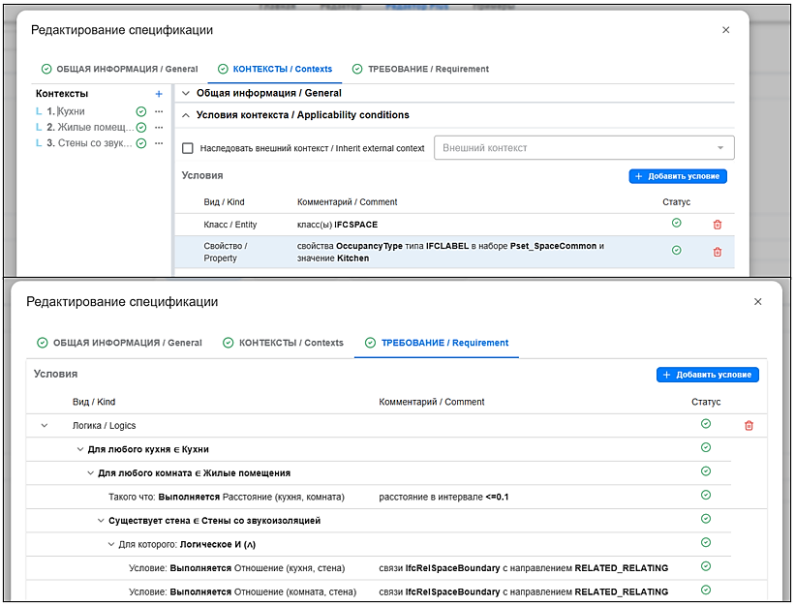


Рис. 6. Редактирование спецификации требования с тремя контекстами в IDS++

IDS++ также сохраняет обратную совместимость с IDS 1.0. В нём по-прежнему присутствуют «классические» спецификации требований, оперирующие лишь одним контекстом.

Заключение. Таким образом, разработанный web-редактор требований в формате IDS++ представляется конструктивным и перспективным инструментом для описания требований к ЦИМ ОКС. Одним из ключевых достоинств редактора, как и самого формата IDS++ является привязка к единой стандартной схеме данных IFC, что в итоге обеспечивает математическую строгость и однозначность спецификаций требований, а также непротиворечивость результатов их валидации. Это не позволяет допустить семантического разрыва между цифровыми требованиями и реальными IFC-данными по объекту строительства. Такая привязка не вынуждает пользователей разрабатывать отдельные преобразователи (коннекторы) требований для каждой системы автоматизированных проверок ЦИМ. Таким образом, сокращается риск двойных трудозатрат для составителей требований, а также появляются дополнительные возможности с использованием типизированных отношений, наследования и полиморфизма, заложенных в стандарте IFC.

Стоит подчеркнуть, что распространение использования формата IDS++ возможно при активном формировании практических примеров его применения. Наработка базы таких примеров позволит использовать их при создании реестров машинно-интерпретируемых требований, выявить типовые проблемы в ЦИМ в части их внутренней структуры в формате IFC, а также поспособствует формированию правил построения элементов модели и взаимосвязей между ними.

Литература

1. *Eichler C.C., Schranz Ch., Krischmann T., Urban H., Hopferwieser M., Fischer S.* BIMcert Handbook – Basic knowledge openBIM. Ed. 2024. Mironde-Verlag, Niederfrohna, 2024. DOI: 10.34726/5383.

2. *Borrmann A., Beetz J., Koch C., Liebich T., Muhic S.* Industry Foundation Classes – A standardized data model for the vendor-neutral exchange of digital building models // Building Information Modeling – Technology Foundations and Industry Practice. Springer, Cham, 2018. P. 81–126. DOI: 10.1007/978-3-319-92862-3_5.

3. *Семенов В.А., Аришин С.В., Гринченко А.И.* [и др.]. Web-редактор машиночитаемых требований в строительстве // Свид. о гос. рег. программы для ЭВМ № 2024669861; заявитель ФГБУН ИСП им. В.П. Иванникова РАН. EDN: UOTBTT.

4. Национальная ТИМ Платформа | Сервис валидации IFC моделей. URL: https://bim.ispras.ru/validate-ifc (дата обращения: 01.02.2026).

5. *Tomczak A., Benghi C., van Berlo L., Hjelseth E.* Requiring Circularity Data in BIM with Information Delivery Specification // Journal of Circular Economy. 2024. Vol. 1, No. 2. P. 1–13. DOI: 10.55845/REJY5239. EDN: YAFIAM.

6. IDS – Machine readable Information Delivery Specification. URL: https://github.com/buildingSMART/IDS/blob/master/Documentation (дата обращения: 01.02.2026).

7. *Semenov V.A., Morozov S.V., Arishin S.V., Kuzina O.N., Rimshin V.I., Makisha E.V.* Formal specification and verification of requirements in architecture and construction using the EXPRESS modeling language // Programming and Computer Software. 2024. Vol. 50, No. 5. P. 376–391. DOI: 10.1134/S036176882470018X. EDN: LGBVKE.

8. *Семенов В.А., Аришин С.В., Зорин Е.М.* Перспективный российский формат IDS++ для машинно-интерпретируемых требований в архитектуре и строительстве // Информационное моделирование в задачах строительства и архитектуры : Мат-лы VIII Междунар. науч.-практ. конф. ; под общ. ред. А.А. Семенова. Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2025. С. 158–165. DOI: 10.23968/BIMAC.2025.023. EDN: RUCECO.

ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТИМ (BIM)

УДК 624.1
DOI: 10.23968/BIMAC.2026.016

Елисеев Егор Алексеевич, аспирант
(Российский университет транспорта)
E-mail: kokoshalove@gmail.com

Eliseev Egor Alexeevich, postgraduate student
(Russian University of Transport)

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОЦЕНКИ УСЛОВИЙ СТРОИТЕЛЬСТВА ФУНДАМЕНТОВ МОСТОВЫХ ОПОР С ПРИМЕНЕНИЕМ BIM

AUTOMATED CONSTRUCTABILITY ANALYSIS FOR BRIDGE PIER FOUNDATIONS USING BIM

Проектирование котлованов и конструкций их крепления требует комплексного учёта инженерно-геологических, ситуационных, экономических и других условий. Актуальный процесс оценки условий строительства носит экспертный, трудоёмкий и слабо формализованный характер, что ведёт к рискам выбора неоптимальных решений и возможным коллизиям на стадии строительства. В настоящей статье приведён алгоритм автоматизации оценки условий разработки котлованов для возведения фундаментной части мостовых опор. Автором приведено описание программной реализации такого алгоритма и её применение в реальной задаче проектирования подобных строительных сооружений. Реализация алгоритма выполнена на основе информационных моделей различных инженерных дисциплин и задействует обмен данными через открытый формат IFC.

Ключевые слова: искусственные сооружения, котлован, автоматизация проектирования, BIM, BrIM.

The design of excavations and their support structures requires comprehensive consideration of geotechnical, site-specific, economic and other conditions. The current process for constructability assessment remains largely expert-driven, labor-intensive and poorly formalized, leading to the risk of suboptimal solutions and potential clashes during the construction phase. This paper describes an algorithm for automating the constructability analysis of excavations for bridge pier foundation construction. It also details the algorithm's software implementation and its application to a real design task for such civil engineering structures.

The algorithm's implementation is based on multi-disciplinary information models and utilizes data exchange via the open IFC format.

Keywords: civil engineering structures, excavation, design automation, BIM, BrIM.

С развитием дорожно-транспортной системы России увеличивается количество возводимых искусственных сооружений (ИССО) в том числе мостовых сооружений, включающих в себя большое количество фундаментных конструкций. При работе с большим количеством исходных данных [1, 2] от которых отталкивается инженер, разрабатывающий проект сооружения котлованов для строительства мостовых опор, возникает сложность их сбора и последующей обработки. Для решения этой проблемы предлагается создать алгоритм обработки исходных данных на основе информационных моделей инженерных изысканий и основных конструкций опоры. Помимо обработки данных в алгоритм необходимо заложить логику подготовки предварительных решений об устройстве котлованов и их ограждений, а также первичной информации для последующей обработки и утверждения конечного решения специалистом. Такой алгоритм позволит автоматизировать процесс проектирования подобных сооружений [3–5], что упростит обработку большого количества данных и сведёт работу инженера к экспертной проверке предложенных решений.

Алгоритмизация проектирования. При разработке конструкций крепления котлованов необходимо учитывать следующие факторы:

– Конструктивные условия. В первую очередь конструкция котлована должна учитывать геометрические характеристики возводимых фундаментов. Заложение котлована обусловлено прежде всего отметкой подошвы сооружаемого ростверка и его габаритами. Данные факторы определяют глубину и габариты котлована в плане.

– Геологические условия. Первичным параметром, который можно оценить и который во многом определяет дальнейший путь разработки, является степень водонасыщения грунтов, в теле которых предстоит разработка котлована, и уровень грунтовой воды (УГВ) в зоне строительства. Если уровень высоко, необходимо предусмотреть дренажные мероприятия для осушения котлована и последующих работ по сооружению конструкций.

– Ситуационные условия строительства. Положение проектируемого котлована во многом зависит от среды, в которой он будет сооружён. Необходимо учесть множество факторов окружающей обстановки, влияющих на конечное решение. К примеру, стесненность из-за близости действующих автомобильных, железнодорожных и др. проездов, наличие в зоне строительства инженерных коммуникаций, не подлежащих переносу, возможность монтажа и последующего демонтажа и др.

На основе всех вышеописанных данных формируется сводный файл, анализируя который принимается решение о типе котлована и производится

расчёт конструкции его крепления в соответствии со сводом правил на проектирование специальных вспомогательных сооружений и устройств[1]. Впоследствии формируется сводная таблица с принятыми решениями и их обоснованием. Для автоматизации процесса анализа всех условий необходимо формализовать все действия в единый алгоритм и осуществить его программную реализацию.

Укрупнённая схема алгоритма представлена на рис. 1. Алгоритм основан на текущем ходе проектирования котлованов и оценке условий его сооружения. Алгоритм задействует предоставляемые информационные модели инженерных изысканий и создаёт из атрибутивной информации выборку данных, необходимых для общей задачи проектирования котлованов.

Программная реализация алгоритма. Скрипт автоматизации реализован с помощью встроенного в Rhino средства визуального программирования Grasshopper (рис. 2), позволяющего производить параметрическое моделирование [6] с мощным комплексом обработки геометрических сущностей. Основная информационная модель разрабатывается в Tekla Structures. Обмен данными ведется посредством передачи информационных моделей в открытом формате файлов IFC (Industry Foundation Classes).

Исходные данные для работы алгоритма приводятся в виде обособленных моделей инженерных изысканий формата IFC для возможности обрабатывать информацию вне зависимости от ПО в котором она создана. Геометрические характеристики фундаментов и подготовок извлекаются из цифровой информационной модели (ЦИМ) мостовых опор. Данные о геологии импортируются в табличном виде из цифровой модели геологии (ЦМГ). Для этого обращаемся к атрибутивной информации ЦМГ для получения необходимых показателей грунтового основания. Дополнительно необходимо загрузить цифровую модель рельефа (ЦМР) для определения глубин заложения проектируемых котлованов и объёмов выемки и засыпки грунта.

В первую очередь в алгоритме производится анализ геологии, прежде всего положение подошвы ростверка или подготовки под ним относительно уровня грунтовых вод (УГВ). От этого отношения зависит тип котлована, необходимость шпунтового ограждения, а также тампонажа дна котлована и мероприятий по гидроизоляции котлована на время строительно-монтажных работ (СМР). В качестве проверки на этом этапе определяется полнота данных для проектирования и при недостаточности формируется задача на получение дополнительных данных посредством бурения новых скважин в указанных точках.

[1] ГОСТ Р 59626–2022. Дороги автомобильные общего пользования. Специальные вспомогательные сооружения и устройства для строительства мостов. Правила проектирования. Общие требования.

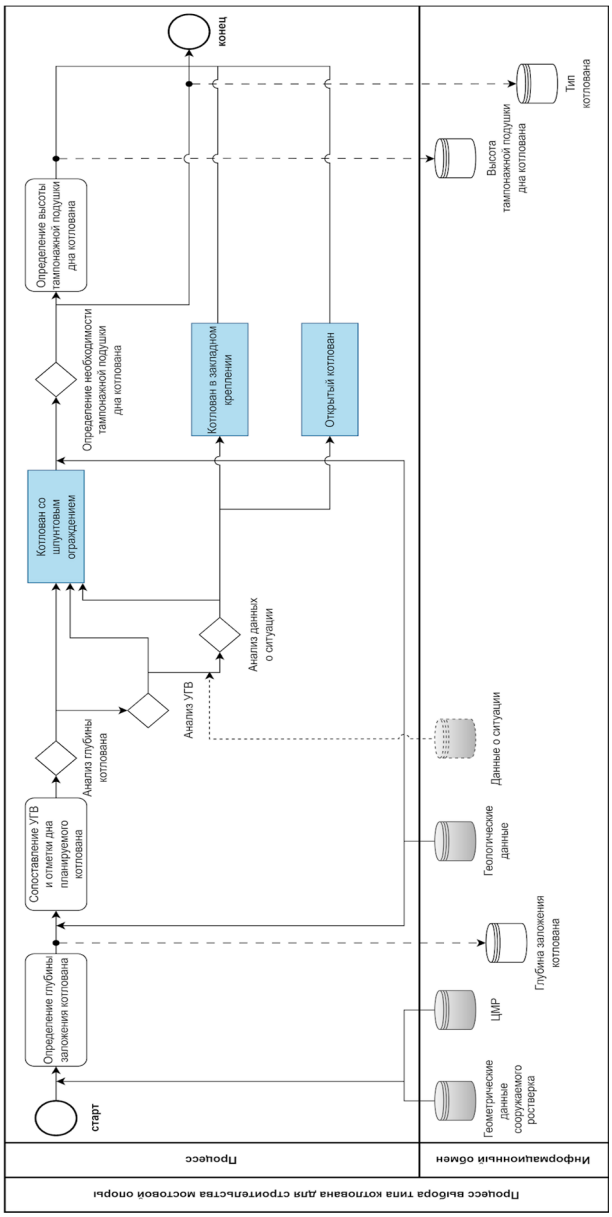


Рис. 1. Общая схема алгоритма оценки условий строительства фундаментов и выбора типа крепления котлована

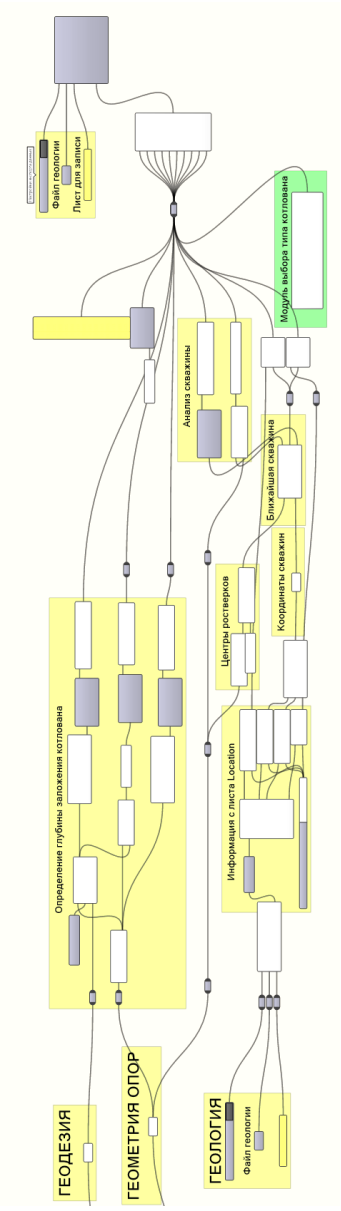


Рис. 2. Программная реализация алгоритма в Grasshopper

Затем производится анализ геометрических характеристик проектируемого котлована для определения глубины его заложения. На основании полученных данных определяется глубина заложения, которая влияет на выбор типа котлована, учитывая, что при достижении определённой глубины в качестве крепления котлована может применяться только шпунтовое ограждение.

В заключение производится оценка ситуационных параметров для окончательного решения по типу котлована, поскольку ситуационное окружение может потребовать изменить конструкцию ограждения котлована из-за невозможности сооружения котлована по причинам пересечения с объектами, переустройство которых невыполнимо. Для проведения такого анализа выполняется проверка на коллизии, которая имеет ряд особенностей, поскольку проверяется пересечение предварительной конструкции котлована с элементами существующей ситуации. Из-за этого окончательное решение по типу конструкции котлована возлагается на пользователя. Такой подход обеспечит надёжность принятых проектных решений.

Собрав все необходимые данные из моделей и их анализ в единую структуру, они выгружаются в табличный формат Excel-файла для последующего использования при проектировании непосредственно конструкций крепления котлована. На основании этих данных реализовано получение отчётов с обоснованием проектного решения, который может быть запрошен в ходе прохождения экспертизы.

Применение программной реализации алгоритма. Рассмотрим использование алгоритма в практической задаче. В качестве примера будет использован двухпролетный путепровод, в составе которого три опоры, в каждой из которых по пять ростверков. Средняя опора расположена в стеснённых условиях пересекаемой автодороги. Помимо информационной модели путепровода загружены ЦМГ и ЦМР (рис. 3) для полноценной работы скрипта.

После подготовки и внесения всех исходных данных (рис. 4) скрипт вычисляет необходимые характеристики проектируемых котлованов и анализирует загруженную информацию в соответствии с вышеописанным алгоритмом оценки условий строительства фундаментов и подбирает на его основе предварительное проектное решение.

После исполнения всех итераций скрипт систематизирует требуемую информацию в дерево данных и выгружает её в отдельный файл. В результате работы скрипта сформирована Excel-таблица (рис. 5), содержащая данные, необходимые для проверки результатов и последующего проектирования конструкции котлованов. После квалифицированной проверки инженера утверждается конечное проектное решение. Затем на основании этих данных производится проектирование конструкций крепления котлованов в случае их применения.

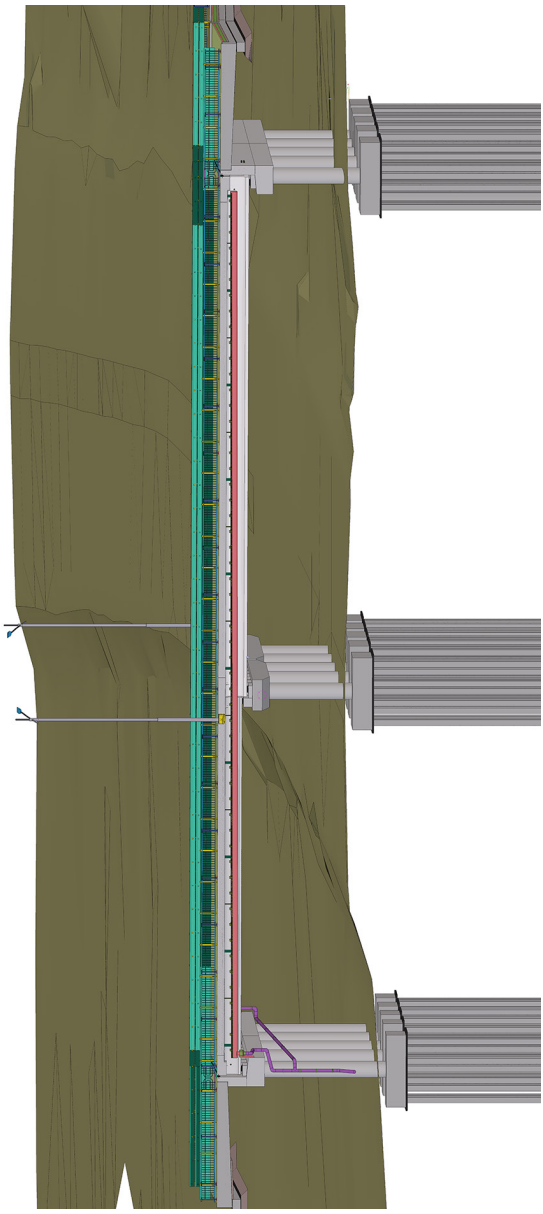


Рис. 3. Вид информационной модели ИССО и модели рельефа местности

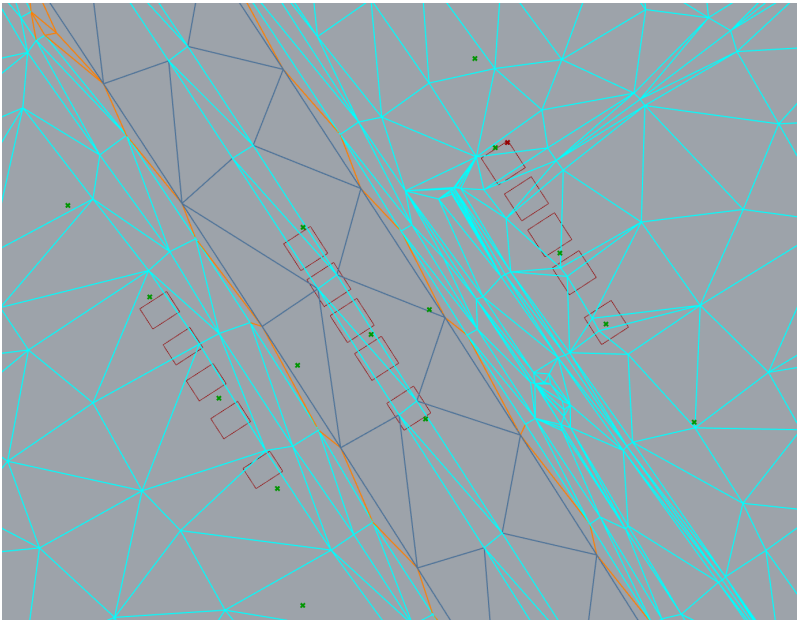


Рис. 4. Вид загруженных исходных данных в Rhino: *голубым цветом* – триангуляция рельефа местности, *синим* – пересекаемая автодорога, *красным* – контуры ростверков опор, *зелёным* – геологические скважины

Идентификация		Характеристики котлована				Выбор типа котлована
№ ОП	№ ближайшей скважины	Отм. подошвы ростверка, м	УГВ, м	Отм. Поверхности (по ЦМР), м	Глубина котлована, м	Конструктивное решение
ОП1	684	163,56	162	165,408	1,848	Открытый/В закладном креплении
ОП2	681-1	161,34	162	163,163	1,823	Ограждение шпунт
ОП2	681-1	161,34	162	163,153	1,813	Ограждение шпунт
ОП2	681	161,34	162	163,161	1,821	Ограждение шпунт
ОП2	49	161,34	162	163,164	1,824	Ограждение шпунт
ОП2	49	161,34	162	163,216	1,876	Ограждение шпунт
ОП3	50	163,25	162	165,605	2,355	Открытый/В закладном креплении
ОП1	684-1	163,56	162	165,575	2,015	Открытый/В закладном креплении
ОП1	683	163,56	162	165,638	2,078	Открытый/В закладном креплении
ОП1	683	163,56	162	165,716	2,156	Открытый/В закладном креплении
ОП1	684-1	163,56	162	165,507	1,947	Открытый/В закладном креплении
ОП3	686	163,25	162			Открытый/В закладном креплении
ОП3	686-1	163,25	162	165,963	2,713	Открытый/В закладном креплении
ОП3	686-1	163,25	162	165,582	2,332	Открытый/В закладном креплении
ОП3	50	163,25	162	165,357	2,107	Открытый/В закладном креплении

Рис. 5. Фрагмент обобщенной таблицы, созданной в результате выполнения алгоритма

Заключение. Предложенный метод автоматизации оценки условий строительства фундаментов мостовых опор на основе информационных моделей инженерных изысканий показал эффективность его применения при должном уровне его программной реализации. Трудоёмкость решения задачи уменьшена за счёт избавления пользователя от рутинной обработки больших данных и сосредоточения на экспертной оценке предложенных результатов. Заметна результативность в уменьшении коллизий на этапе проектирования, ввиду того что они учитываются в ходе применения алгоритма и влияют на выбор конечной конструкции крепления котлована.

Перспективы развития алгоритма видятся в расширении автоматизации проектирования конечной конструкции крепления котлованов и интеграции с системами планирования строительства (4D-модели).

Литература

1. *Каган П.Б.* Аналитические исследования больших массивов данных в строительстве // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 3. С. 80–84. EDN: YTCRZO.

2. *Мочалов В.В.* Применение методологии больших данных при формировании системы поддержки принятия решений в строительстве // Вестник Волжского университета им. В.Н. Татищева. 2024. Т. 2, № 1(53). С. 141–149. DOI 10.51965/2076-7919_2024_2_1_141. EDN: ZOKXAI.

3. *Елисеев Е.А.* О возможностях технологии BIM для автоматизации проектирования мостовых сооружений // Информационное моделирование в задачах строительства и архитектуры : Мат-лы VIII Междунар. науч.-практ. конф. ; под общ. ред. А.А. Семенова. Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2025. С. 372–379. DOI: 10.23968/BIMAC.2025.050. EDN: HKVUSG.

4. *Вин К.М.Т., Джураев Ф.М., Смирнова О.В.* Автоматизация проектирования информационной модели моста с использованием визуального программирования // Construction and Geotechnics. 2025. Т. 16, № 2. С. 71–81. DOI: 10.15593/2224-9826/2025.2.07. EDN: UKJUZG.

5. *Верхотурова Е.В.* Применение компьютерного геометрического моделирования для решения учебных и прикладных инженерно-строительных задач // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия : Строительство и архитектура. 2023. Т. 23, № 1. С. 65–74. DOI: 10.14529/build230108. EDN: TPOSXW.

6. *Клековкин Е.А., Сунцов А.С.* Применение визуального программирования для задач автоматизации в строительстве // Construction and Geotechnics. 2023. Т. 14, № 2. С. 128–143. DOI: 10.15593/2224-9826/2023.2.10. EDN: SRAXWK.

УДК 721.01:004
DOI: 10.23968/BIMAC.2026.017

Ермолин Даниил Сергеевич, аспирант, ст. преподаватель
(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)
E-mail: ist.ermolin.daniil@yandex.ru, ORCID: 0009-0006-6824-5997
Васильев Никита Антонович, ведущий конструктор
(ООО «Аксиома-СПб»)
E-mail: vasilev3003nikita@gmail.com
Семенов Алексей Александрович, д-р техн. наук, профессор
(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)
E-mail: sw.semenov@gmail.com, ORCID: 0000-0001-9490-7364

Ermolin Daniil Sergeevich, postgraduate student, senior lecturer
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)
Vasilev Nikita Antonovich, Lead Designer
(LLC "Axioma-SPb")
Semenov Alexey Aleksandrovich, Dr. Sci. Tech., Professor
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

ОПЫТ ПОДГОТОВКИ РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ ЗДАНИЯ НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

CASE OF CREATING MATHEMATICAL STRUCTURAL MODEL BASING ON INFORMATION MODEL

В работе выполнен сравнительный анализ двух подходов к формированию расчётной модели административно-бытового комплекса в Санкт-Петербурге на основе BIM-технологий. Первый вариант предполагал ручное создание модели в SCAD Office на основе документации марки КЖ, второй – передачу аналитической модели из САПФИР в ПК ЛИРА-САПР. В обоих случаях контролировалась сетка МКЭ (элемент < 0,5 м) и моделирование узлов сопряжения колонн с плитами перекрытия, включая капители. Выявлены расхождения в усилиях и внутренних моментах, достигающие значительных величин. Наибольшее отклонение наблюдается в моментах на стыках плит с колоннами, что обусловлено различиями в алгоритмах формирования жёстких связей: в SCAD соединение формируется напрямую со стержнем, тогда как в связке САПФИР-ЛИРА передача усилий происходит через капитель. Результаты исследования подчёркивают необходимость контроля настроек экспорта и моделирования узлов при использовании BIM-технологий для расчётов, что позволяет минимизировать ошибки при обмене данными между CAD и CAE системами.

Ключевые слова: расчётная модель, аналитическая модель, метод конечных элементов, SCAD Office, ЛИРА-САПР, САПФИР, железобетонные конструкции, экспорт данных, жёсткие связи, капитель, сравнительный анализ, CAD-CAE интеграция.

This paper presents a comparative analysis of two approaches to forming a calculation model of an administrative and household complex in Saint Petersburg based on BIM

technologies. The first option involved manual model creation in SCAD Office based on structural documentation, while the second used data transfer of an analytical model from SAPFIR to LIRA-SAPR software. In both cases, the FEM mesh (element size < 0.5 m) and modeling of column-to-slab joints, including capitals, were controlled. Discrepancies in forces and internal moments reaching significant values were identified. The greatest deviation occurs in moments at slab-column joints, attributed to differences in rigid connection algorithms: in SCAD, connections form directly with the rod, whereas in the SAPFIR-LIRA workflow, force transfer occurs through the capital. The results emphasize the need for careful control of export settings and joint modeling when applying BIM technologies for structural analysis, helping to minimize errors in CAD-CAE data exchange.

Keywords: calculation model, analytical model, finite element method, SCAD Office, LIRA-SAPR, SAPFIR, reinforced concrete structures, data export, rigid connections, capital, comparative analysis, CAD-CAE integration.

Введение. Проведение расчётов зданий и сооружений на прочность, устойчивость и колебания является важнейшим этапом их проектирования. С переносом процессов проектирования в цифровую среду, где может быть сформирована информационная модель объекта однозначно приобрел актуальность вопрос о возможности подготовки расчетных моделей объектов на основе информационных. Так, например, в работе [1] рассмотрены особенности обмена данными между информационными моделями объектов и моделями, используемыми в программных комплексах, основанных на МКЭ, представлен универсальный алгоритм перехода от информационной модели здания до расчетной, даны определения различным терминам, используемым в практике, приведены различные особенности формирования расчетной модели панельных зданий в российском программном комплексе STARK ES.

В работе [2] рассмотрена связка программного обеспечения для информационного моделирования и проектирования строительных конструкций Tekla Structures с одной из наиболее распространенных расчетных программ в России, по мнению авторов, – ЛИРА-САПР. На примере проектирования балочной клетки нормального типа, приведен подробный алгоритм работы в этих программах: от создания модели до построения чертежа, проведен анализ совместного использования данных программ.

В работе [3] описаны этапы создания информационной модели реконструируемого здания в BIM-системе Renga с последующей передачей данных в программный комплекс SCAD (версия 21.1.9.7), приведено описание процесса создания BIM-модели в системе Renga на примере пятиэтажного административного здания ветеринарной лаборатории: панельного с полным каркасом и жесткими рамными узлами в продольном и поперечном направлениях. В работе [4] приводится сравнительный анализ процедур обмена данными между известными российскими CAD-комплексами – nanoCAD BIM Конструкции, Renga, и CAE комплексами – SCAD++, ЛИРА, представлены рекомендации по построению основных элементов информационной

модели в nanoCAD BIM Конструкции и Renga. Подробно рассмотрены процедуры и результаты поочередной передачи архитектурной модели исследуемого здания из nanoCAD BIM Конструкции и Renga в расчетные комплексы SCAD++ и ЛИРА.

В работе [5] представлено сравнительное исследование процесса экспорта расчетной схемы мостового сооружения из программ nanoCAD BIM Строительство и Autodesk Revit в программный комплекс конечно-элементного анализа ЛИРА 10, рассматриваются ключевые аспекты, влияющие на точность передачи геометрических и физических параметров модели: совместимость данных, сохранение структуры объектов, учет граничных условий и нагрузок. Как видно из перечисленных работ, тема совместной работы программных комплексов для формирования информационной модели и модели расчетной еще требует обсуждения.

Цели и задачи. Для уточнения текущего состояния изученности вопроса в работе проводится сравнительный анализ расчетных моделей: одной, созданной самостоятельно в SCAD Office по документации КЖ, и другой, импортированной из информационной модели САПФИР в ЛИРА-САПР. В качестве объекта для расчетов было принято здание административно-бытового комплекса (АБК) в г. Санкт-Петербурге (см. рис. 1).

Объект для расчетов. Основные конструктивные элементы здания – фундаментная плита «Фм1», плиты перекрытия «Пм1» и «Пм2», основные несущие стены первого и второго этажей «Ст1.1» – «Ст1.4» и «Ст2.1» – «Ст2.4», стены лестничных площадок первого и второго этажа «Ст1.5» – «Ст1.8» и «Ст2.5» – «Ст2.8», 5 колонн с капителями первого и 5 второго этажа марок «К1» и «К2». Данные для железобетонных конструкций приняты на основе соответствующего нормативного документа[1] и приведены в табл. 1.

Нагрузки, приложенные к рассматриваемому объекту, представлены на рис. 2, расчетные сочетания нагрузок сформированы на основании соответствующего нормативного документа[2].

Алгоритм подготовки модели. Для создания расчетной модели в SCAD Office был сформирован информационный и геометрический каркас в программе ФОРУМ, который был далее перенесен непосредственно в SCAD с контролем (размер элемента < 0,5 м) формирования расчетной сетки метода конечных элементов (МКЭ). Для построения расчетной модели в ПК ЛИРА-САПР была подготовлена цифровая информационная модель здания АБК в САПФИР, в этой же среде проводилось построение аналитической модели, построение контролируемой (размер элемента < 0,5 м) сетки МКЭ, а затем

[1] СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. М. : АО «НИЦ «Строительство», 2019. 124 с.

[2] СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85. М. : АО «НИЦ «Строительство», 2016. 216 с.

передача подготовленной модели в ЛИРА. Стыки и соединения типа «колонна-плита», «стена-плита» задавались абсолютно жестким телом (в SCAD Office – вручную, в ЛИРА-САПР – автоматически после импорта из САПФИР) и абсолютно жестким соединением, соответственно. В процессе создания модели в САПФИР результаты построения BIM контролировались путем сравнительного анализа чертежей из САПФИР с готовой к выпуску проектной документацией. Следует отметить различия подходов к формированию связи между колонной и перекрытием в расчетных моделях – создаваемая в SCAD Office модель требует задания утолщения плиты в зоне сопряжения с капителью; при импорте модели из САПФИР в ЛИРА-САПР автоматически создается слой конечных элементов, отражающих наличие капители.

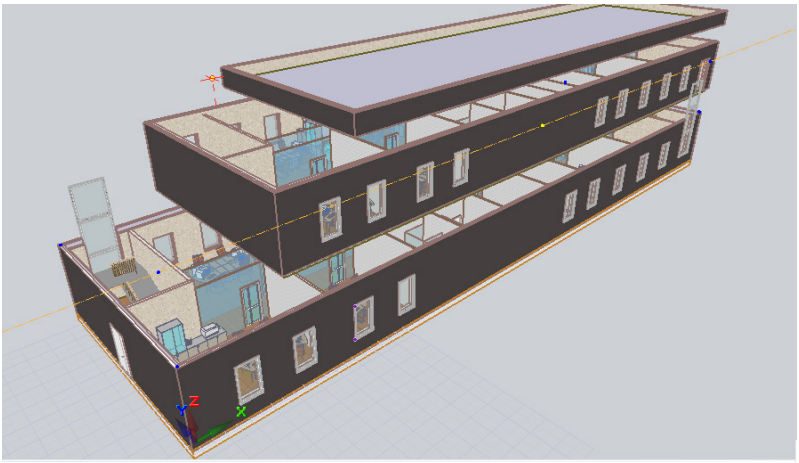
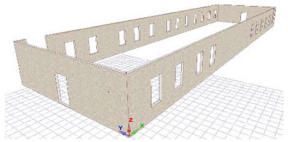
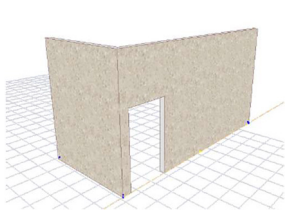
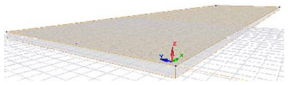


Рис. 1. 3D-вид здания АБК, взрыв-схема (подготовлено авторами в САПФИР)

Таблица 1

Описание конструктивных элементов расчётной модели здания АБК

№	Вид конструкции		Марка	Материал (ГОСТ 26633–2015)	Армирование (ГОСТ 34028–2016)	Габариты (мм)	Кол-во
1	Несущая стена основная		Ст1.1, Ст1.2, Ст1.3, Ст1.4 Ст2.1, Ст2.2, Ст2.3, Ст2.4	Бетон В25	Продольные стержни Ø12А500С Вертикальные стержни Ø6А240	Длина: 39570 Ширина: 11000 Высота: 3400 Толщина: 150	8
2	Несущая стена лестничной площадки		Ст1.5, Ст1.6, Ст1.7, Ст1.8, Ст2.5, Ст2.6, Ст2.7, Ст2.8	Бетон В25	Продольные стержни Ø12А500С Вертикальные стержни Ø6А240	Длина: 6200 Ширина: 2750 Высота: 3400 Толщина: 150	8
3	Фундамент-ная плита		Фм1	Бетон В25	Верхнее и нижнее армирование: сетка Ø12А500С Дополнительное армирование: плоский каркас Ø12А500С	Длина: 39570 Ширина: 11000 Толщина: 400	1

4	Плита перекрытия		Пм1, Пм2	Бетон B25	Верхнее и нижнее армирование: сетка Ø12A500C Дополнительное армирование: плоский каркас Ø12A500C	Длина: 39570 Ширина: 11000 Толщина: 150	2
5	Колонная несущая с капителью		К1, К2	Бетон B25	Вертикальные стержни Ø12A500C П-образный хомут Ø8A240	Сечение: 300 x 300 Высота: 3530	10

Название загружения	Вид загружения	Подвид	Доля длит...	Знак	Кол-во нагрузок	Сумма нагрузок
Собственный вес	Постоянное	пост 1.10	1.00	+	20	Fz=1337.211 (тс)
Стяжка	Постоянное	пост 1.30	1.00	+	1	Fz=68.827 (тс)
Плиточный клей	Постоянное	пост 1.30	1.00	+	2	Fz=37.145 (тс)
Плитка	Постоянное	пост 1.20	1.00	+	2	Fz=30.254 (тс)
Перегородка	Постоянное	пост 1.30	1.00	+	69	Fz=76.219 (тс)
Полезная нагрузка	Кратк.доминир.1	врем.кр 1.20	0.35	+	2	Fz=201.691 (тс)
Потолок	Постоянное	пост 1.20	1.00	+	2	Fz=3.025 (тс)
Пароизоляция	Постоянное	пост 1.20	1.00	+	1	Fz=0.504 (тс)
Минвата	Постоянное	пост 1.20	1.00	+	1	Fz=2.521 (тс)
Стеклохолст	Постоянное	пост 1.20	1.00	+	1	
Мембрана	Постоянное	пост 1.20	1.00	+	1	Fz=1.513 (тс)
Молн. сетка	Постоянное	пост 1.20	1.00	+	1	Fz=0.504 (тс)
Снеговая нагрузка	Кратк.доминир.1	Снег 1.40	0.50	+	1	Fz=88.240 (тс)
<Создать новое загружение>						
						Fz=1847.653 (тс)

Рис. 2. Нагрузки и сформированные загружения для расчета конструкций[1]

Результаты расчетов. В табл. 2, табл. 3 и рис. 3 приводятся результаты расчетов усилий в конструктивных элементах здания АБК при расчетном сочетании нагрузок (РСН).

Таблица 2

Сравнительный анализ усилий в колоннах по результатам расчетов в разных программных комплексах

Усилия при расчетной нагрузке, тс	Колонны первого этажа К1				
	1	2	3	4	5
ПК ЛИРА САПР	68,80	69,00	69,40	71,10	55,90
SCAD Office	71,38	69,68	69,38	70,63	58,68
Отклонение	3,6 %	1,0 %	0,0 %	0,7 %	4,7 %
Усилия при расчетной нагрузке, тс	Колонны второго этажа К2				
	1	2	3	4	5
ПК ЛИРА САПР	27,00	28,40	28,20	28,50	28,50
SCAD Office	29,81	29,39	29,37	29,60	24,40
Отклонение	9,4 %	3,4 %	4,0 %	3,7 %	16,8 %

[1] СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85. М. : АО «НИЦ «Строительство», 2016. 216 с.

Таблица 3

Сравнительный анализ моментов M_x в плитах по результатам расчетов в разных программных комплексах

Моменты M_x при расчетной нагрузке, тс·м/м	Перекрытие первого этажа		
	Мин	Среднее	Макс
ПК ЛИРА САПР	–2,40	0,75	1,63
SCAD Office	–7,57	0,75	1,67
Отклонение	68,3 %	0,2 %	2,6 %
Моменты M_x при расчетной нагрузке, тс·м/м	Плита кровли		
	Мин	Среднее	Макс
ПК ЛИРА САПР	–2,40	0,16	1,63
SCAD Office	–5,11	0,13	1,67
Отклонение	53,0 %	18,9 %	2,6 %

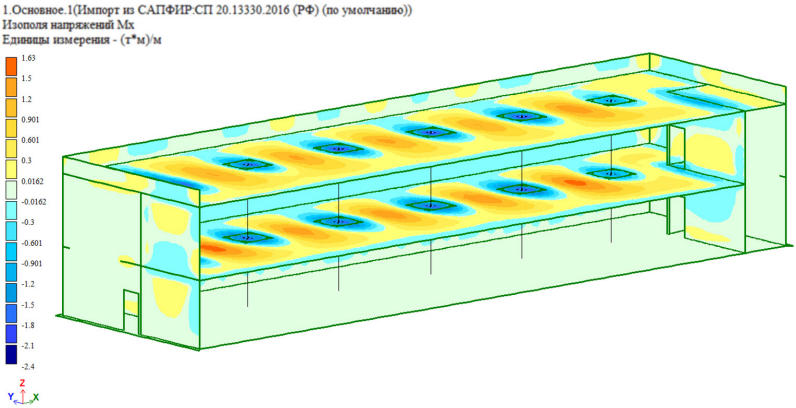


Рис. 3. Результаты расчета внутреннего момента M_x в ПК ЛИРА-САПР (РСН)

Заключение. Анализ результатов работы двух расчетных моделей показывает, что наиболее сильное расхождение наблюдается в получаемых внутренних моментах на стыках плит с колоннами. Источником данной ошибки, следует полагать, является разное формирование жесткой связи в двух программных комплексах – в SCAD соединение с перекрытием формируется напрямую с колонной, капитель учитывается локальным утолщением плиты

перекрытия, а в зоне стыка задается абсолютно жесткое тело; в ЛИРА передается модель из САПФИР, где соединение колонны с перекрытием происходит через капитель, моделируемой дополнительными конечными элементами, в зоне стыка также задается абсолютно жесткое тело.

Литература

1. *Жук Ю.Н., Курнавин В.В., Панасенко Ю.В.* Особенности проектирования крупнопанельных зданий с применением программных платформ для информационного моделирования (BIM) и программных комплексов расчета конструкций // Жилищное строительство. 2017. № 5. С. 20–25 EDN: YRHGTL.

2. *Грузков А.А., Солянник П.Е., Вернин Н.А.* Расчет и проектирование металлических конструкций с использованием Tekla Sructures и ЛИРА-САПР // Инновации и инвестиции. 2020. № 3. С. 257–260. EDN: SRUVLF.

3. *Чайковский С.М., Ященко В.П.* Создание BIM-модели в системе Renga и перенос ее в программный комплекс SCAD // Молодежный вестник ИрГТУ. 2024. Т. 14, № 2. С. 269–275. EDN: IRALLT.

4. *Зеньков Е.В., Горбунов Н.С.* Сравнительный анализ процедуры передачи данных информационной модели здания между российскими CAD и CAE комплексами // Молодежный вестник ИрГТУ. 2024. Т. 14, № 3. С. 404–414. EDN: HCQVFL.

5. *Смирнов А.А., Маринин А.Н.* Сравнительный анализ экспорта модели мостового сооружения в расчетный комплекс из программ информационного моделирования // Вестник Евразийской науки. 2025. Т. 17, № 2. С. 66. EDN: RXQMKS.

УДК 69.07
DOI: 10.23968/BIMAC.2026.018

Исхакова Эльвира Рашидовна, канд. техн. наук, ст. преподаватель, гл. специалист
(Южно-Российский государственный политехнический университет;
ООО «Южный Проектный Институт»)
E-mail: elvira.ishakova@yandex.ru, ORCID: 0009-0006-3654-6728
Царитова Надежда Геннадьевна, канд. техн. наук, доцент
(Южно-Российский государственный политехнический университет)
E-mail: ncaritova@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-0923-5848

Iskhakova Elvira Rashidovna, PhD in Sci. Tech., senior lecturer, chief specialist
(South-Russian State Polytechnic University,
LLC "Southern Project Institute")
Tsaritova Nadezhda Gennadievna, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(South-Russian State Polytechnic University)

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ РЕЗЕРВУАРОВ

ANALYSIS OF THE CAPABILITIES OF DOMESTIC SOFTWARE FOR INFORMATION MODELING OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES OF TANKS

Применение технологий информационного моделирования (ТИМ), работа в общей информационной модели является неотъемлемой частью нынешних реалий, в соответствии с политикой Минстроя РФ на всех этапах строительного процесса от проектирования до эксплуатации. Разработчики отечественного программного обеспечения в сфере информационного 3D-моделирования объектов капитального строительства предоставляют комплексы для создания цифровой информационной модели с назначением необходимых критериев и параметров конструкциям. В данной работе выполнен сравнительный анализ функционала отечественных программных комплексов ПК Renga Standard и Model Studio CS Строительные решения на базе платформы NanoCAD при проектировании монолитных железобетонных конструкций резервуаров, как объектов, содержащих различные виды монолитных конструкций, вспомогательных элементов (таких как технологические разуклонки, стяжки, приямки) и гидроизоляционных систем.

Ключевые слова: технологии информационного моделирования, ПК Renga Standard, Model Studio CS Строительные решения, информационные технологии в строительстве, цифровая модель, проектирование железобетонных конструкций.

The using of information modeling technologies (BIM) and working within a common information model is an integral part of today's reality, in accordance with the policy of the Russian Ministry of Construction at all stages of the construction process, from design to operation. The goal of using "digital twins" of objects is not only to reduce design costs but also to increase overall construction efficiency. Developers of domestic software for 3D information modeling of capital construction projects offer solutions for creating digital information models with the assignment of necessary criteria and parameters to structures. This paper provides a comparative analysis of the functionality of the domestic software packages Renga Standard and Model Studio CS. Construction solutions based on the NanoCAD platform are used for the design of monolithic reinforced concrete structures of tanks, as objects containing various types of monolithic structures, auxiliary elements (such as technological slopes, ties, sumps), and waterproofing systems.

Keywords: information modeling technologies, PC Renga Standard, Model Studio CS Construction Solutions, information technologies in construction, digital model, design of reinforced concrete structures.

В связи с утверждением Дорожной карты поэтапного перехода в строительстве на российское программное обеспечение[1] решение проблем в использовании отечественного ПО, в том числе в условиях импортозамещения [1], являются достаточно востребованной задачей. Целью применения ТИМ является повышение эффективности в строительном производстве: сокращение бумажного документооборота на 85 %, сроков обработки документов на 50 %, сокращение ошибки при проектировании на 80 % [2].

Рассмотрим прикладную задачу формирования трехмерной информационной модели в соответствии с СП 333.1325800.2020 (уровень проработки не ниже В и С1, обеспечивающий выполнение СМР) для монолитных железобетонных конструкций согласно требованиям СП 63.13330.2018[2], выпуск проектной документации, чертежей [3] раздела марки КЖ в соответствии с требованиями ГОСТ и рекомендациям [4], включая автоматический расчет объемов материалов моделируемых подземных монолитных железобетонных резервуаров в ПК Renga Standard (версия 8.9.23834.0 64) и Model Studio CS Строительные решения (версия 3.0.27.6541) на базе платформы NanoCAD.

Первое сооружение (сооружение № 1) представляет собой подземный резервуар с примыкающей фундаментной плитой, на которую устанавливается блочно-модульное здание станция очистки стоков. Второе сооружение (сооружение № 2) – подземная монолитная камера. 3D-модели сооружений

[1] Дорожная карта поэтапного перехода в строительстве на российское программное обеспечение для информационного моделирования объектов (утв. 26 ноября 2025 г. № МХ-П10-44683). URL: https://www.minstroyrf.gov.ru/upload/iblock/0e6/5r7jtnst8f6jwg9gbq6tj2oku611rw/ДК%20РПО.pdf (дата обращения: 16.12.2025).

[2] СП 63.13330.2018 «СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения». URL: https://www.minstroyrf.gov.ru/upload/iblock/d40/SP-63.pdf/ (дата обращения: 28.10.2025).

№ 1 и № 2 представлены на рис. 1 и рис. 2 соответственно. Толщины монолитных конструкций рассматриваемых резервуаров назначены 200…300 мм, с армированием арматурными стержнями кл. А500С, А240 по ГОСТ 34028–2016. Конструкции резервуара (сооружение № 1) запроектированы из бетона по ГОСТ 25192–2012 кл. В30 F200 W8; конструкции камеры (сооружение № 2) приняты из бетона по ГОСТ 25192–2012 кл. В25 F200 W6.

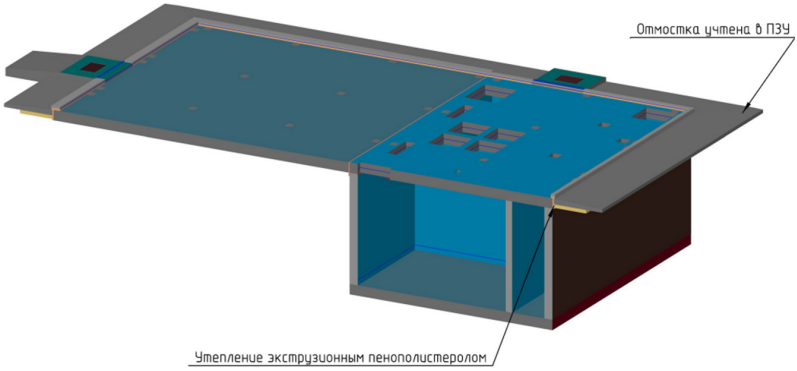


Рис. 1. Сооружение № 1 (Model Studio CS). 3D-модель с вырезом

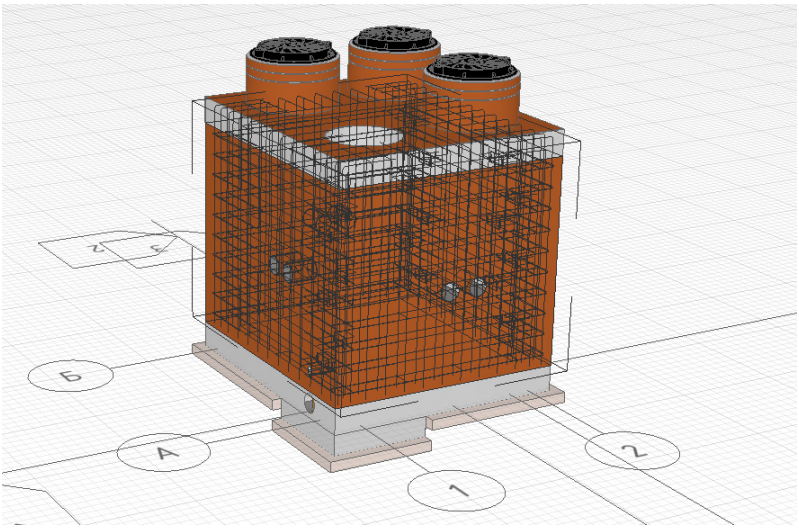


Рис. 2. Сооружение № 2 (ПК Renga Standard). 3D-вид

Результаты для удобства проектирования сведены в таблицу.

Сравнение функционала программ

Функция/свойство*	ПК Renga Standard	Model Studio CS Строит. решения
1. Удобство моделирования, визуальный интерфейс		
Диалоговая строка (подсказки)	–	+
Привязки, отслеживание объектов	–	+
Работа со сборками	+	+
Смещение границ элемента по подобию (на заданное расстояние)	–	– (по вспомогательной полилинии)
Одновременный вид – модель и чертеж	+	–
Работа с нестандартными объектами	+	+ (встроенный модуль БД)
1.1 Армирование ЖБК	+	+
Армирование параметрическими сетками с автокорректировкой	+	+ / –
Преднастроенный режим раскладки вертикальных арматурных выпусков	–	+
Автоматическая раскладка поддерживающих каркасов, П-элементов по торцам плит	+ / –	+
Установка стержней на заданном расстоянии от грани конструкции	+	–
Удобство редактирования стержня в 3D	+	–
Усиление проемов с корректной расстановкой П-элементов [3] в уровне сеток основного армирования	– / +	– / +
Автоматический вывод ведомости элементов армирования	–	+
2. Оформление чертежей		
Удобство инструментария оформления (выноски, стили)	+ / –	+**

Окончание таблицы

Функция/свойство*	ПК Renga Standard	Model Studio CS Строит. решения
3. Формирование спецификаций		
Автоматическое присвоение номера позиции арм. стержня при внесении в таблицу спецификации	+ / – (позиции могут дублироваться)	+
Задание критериев для включения в спецификацию	+ / – (усложненная иерархия)	+ (прямое обращение к параметру)
Перекрестное «подсвечивание» позиций в модели и спецификации	–	+
Автоподсчет площади материала многослойной конструкции	+ / –***	+

Примечания.
* Рассматриваемые для сравнения функции/свойства обусловлены критериями, влияющими на скорость и автоматизацию проектирования любых элементов монолитных конструкций (в том числе жилых домов, промышленных зданий и проч.).
** Особенно, при использовании модуля «СПДС» – функционала платформы NanoCAD, который в разы ускоряет процесс вывода чертежей.
*** Представители разработчика в целях корректной работы рекомендуют дублировать отдельно стену с многослойным материалом отделки, что добавляет трудозатрат [5] при проектировании.

В результате сравнения данных ПО при проектировании монолитных железобетонных конструкций можно сделать вывод, что как ПК Renga Standard, так и Model Studio CS Строительные решения позволяют создавать цифровую информационную модель в соответствии с требованиями СП 333.13330.2020 табл. Д7, Д8, Д10 с уровнем проработки конструкций В, С1.

Однако, можно выделить некоторые выявленные преимущества и недостатки. В ПК Renga Standard с первого взгляда не совсем ясна взаимосвязь свойств и параметров, используется достаточно сложная иерархическая структура: свойств объектов, свойств стилей объектов и непосредственно самих стилей; но в то же время, выражения для свойств, а также условия для составления спецификаций задаются сравнительно более удобным способом (например, округление длины стержня до 5 мм описывается формулой: l = {round(Номинальная длина/5)*5}мм). Графическое отображение стержней в модели выводится 2D-примитивами, и точное расположение арматурных стержней отображается только при выводе чертежей, однако, ПК Renga

Standard предоставляет возможность работы одновременно в двух окнах, сопоставляя графические виды. Обе программы имеют определенные проблемы с работой многослойных конструкций (при задании различных систем гидроизоляционных покрытий, например).

Касаемо использования Model Studio CS Строительные решения – здесь приходится сталкиваться с достаточно нетривиальными настройками спецификатора через усложненные формулы и условия задания отбора по критериям – условные операторы, достаточно громоздкие конструкции, например, округление длины стержня до 5 мм описывается неочевидной формулой:

" L=" & if([DIM_LENGTH]%5<3,[DIM_LENGTH]-
[DIM_LENGTH]%5,[DIM_LENGTH]+(5-[DIM_LENGTH]%5)).

При автоматическом армировании стены П-образные скобы в торцах, угловых или Т-образных пересечениях задаются одного размера – вертикальные и горизонтальные – что не корректно при использовании арматуры разных диаметров (похожая ситуация и с обрамлением отверстий). Аналогичная проблема имеется и в ПК Renga Standard – при раскладке поддерживающих верхнюю сетку арматуры в плитах элементов «лягушек». В Model Studio CS Строительные решения при выводе «Ведомости расхода стали» было бы удобно выбирать элементы не номинально (нужную арматуру), а объект, к которому арматура привязана (идентификатор родительской сборки); вывод чертежей с использованием видового куба выглядит достаточно громоздко.

Таким образом, ПК Renga Standard наиболее приемлема скорее для эскизного моделирования ЖБК, общих технических решений (ОТР), в учебных целях, для вовлечения студентов в среду ТИМ-проектирования, а термин автоматическое армирование здесь более уместно заменить на «условно» автоматическое. Model Studio CS Строительные решения на базе платформы NanoCAD в своем арсенале имеет более функциональный инструментарий для автоматического армирования монолитных ЖБК.

Литература

1. *Шаповалов А.Г.* Правовое обеспечение безопасности в сфере информационного моделирования в строительстве (BIM) // Образование и право. 2024. № 12. С. 191–193. DOI: 10.24412/2076-1503-2024-12-191-193. EDN: ZCLHFM.

2. *Молодов К.М., Незаметдинов И.М.* Управление строительными проектами на основе применения ТИМ на этапах жизненного цикла ОКС // Экономика и предпринимательство. 2024. № 9(170). С. 1338–1343. DOI: 10.34925/EIP.2024.170.9.248. EDN: EMUONV.

3. *Кабайлов Д.Д., Наместников А.М.* Подготовка и анализ данных для классификации элементов цифровых информационных моделей // Информационное моделирование в задачах строительства и архитектуры : Мат-лы VIII Междунар. науч.-практ. конф. Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2025. С. 97–101. DOI: 10.23968/BIMAC.2025.014. EDN: VQKKIU.

4. *Тихонов И.Н., Мешков В.З., Расторгуев Б.С.* Проектирование армирования железобетона : Справочное пособие (данные исследований, рекомендации,

примеры конструирования). М. : Центральный институт типового проектирования им. Г.К. Орджоникидзе, 2015. 276 с. EDN: WHTXQH.

5. *Кощеев С.С., Разов И.О.* Сравнение трудозатрат при проектировании железобетонных конструкций в программных комплексах для информационного моделирования // Вестник евразийской науки. 2024. Т. 16, № 3. С. 60. EDN: RTAGVR.

УДК 69.07
DOI: 10.23968/BIMAC.2026.019

Клековкин Евгений Алексеевич, аспирант
(Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова)
E-mail: z0h0e0n0y0a@gmail.com, ORCID: 0009-0008-0161-3518
Новиков Михаил Юрьевич, аспирант
(Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова)
E-mail: mi.novikov1998@yandex.ru, ORCID: 0009-0007-9198-2079
Тарануха Наталья Леонидовна, д-р экон. наук, профессор
(Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова)
E-mail: fpidpo@mail.ru, ORCID: 0000-0002-3641-4331

Klekovkin Evgenii Alexseevich, postgraduate student
(Kalashnikov Izhevsk State Technical University)
Novikov Mikhail Yuryevich, postgraduate student
(Kalashnikov Izhevsk State Technical University)
Taranukha Natalia Leonidovna, Dr. Sci. Ec., Professor
(Kalashnikov Izhevsk State Technical University)

АВТОМАТИЗАЦИЯ ВАРИАНТНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ РЕШЕТЧАТЫХ БАШЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРИРОВАННОЙ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ

AUTOMATION OF VARIANT STRUCTURAL DESIGN OF LATTICE TOWERS USING INTEGRATED PARAMETRIC MODELLING

Обоснована актуальность вариантного проектирования и оптимизации несущих конструкций решетчатых башенных сооружений. Указано, что на практике их реализация осложняется значительными трудозатратами при создании и корректировке конечно-элементных моделей. Для автоматизации наиболее трудоемких этапов выполнения вариантного проектирования авторами предложен метод интегрированного параметрического моделирования конструкций на основе внешнего источника данных, позволяющий с помощью разработанного скрипта генерировать связанные информационные и конечно-элементные модели сооружений, интерактивно пересчитывать и выводить ряд целевых и справочных технико-экономических показателей для возможности оперативной оценки рассматриваемых вариантов башен по нескольким критериям. На примере вариантного проектирования 70-метровой четырехгранной башни установлено сокращение временных затрат в 2,3 раза при использовании параметрического моделирования в сравнении с традиционным «ручным» методом.

Ключевые слова: решетчатые башенные сооружения, параметрическое моделирование, несущие конструкции, автоматизация, визуальное программирование.

The relevance of variant design and optimization of load-bearing structures of lattice tower structures is justified. It is pointed out that in practice, their implementation is complicated by significant labor costs involved in creating and adjusting finite element models. To automate the most labor-intensive stages of variant design, the authors propose a method of integrated parametric modeling of structures based on an external data source, which allows, with the help of a developed script, to generate related information and finite element models of structures, interactively recalculate and output a number of target and reference technical and economic indicators for the purpose of operational assessment of the considered tower variants according to several criteria. Using the example of variant design of a 70-meter rectangular base tower, it was established that the use of parametric modeling reduces time costs by 2.3 times compared to the traditional "manual" method.

Keywords: lattice towers, parametric modelling, load-bearing structures, automation, visual programming.

Оптимизация проектных решений и вариантное проектирование применяются на практике весьма ограниченно [1]. Хотя современные программные комплексы, ориентированные на проектирование несущих строительных конструкций, обладают необходимыми возможностями для решения задач оптимизации, зачастую они не имеют в своем функционале инструментов для поиска оптимальных решений, за исключением, пожалуй, программных модулей подбора армирования железобетонных элементов или стального сечения наименьшей массы, при которых выполняются все проверки. Стоит сказать, что такие инструменты позволяют проводить оптимизацию несущих конструкций лишь по критерию минимальной массы, хотя использование данного критерия может приводить к получению весьма далеких от оптимальных решений, если оценивать эти решения по критерию затрат. Повсеместное применение критерия минимальной массы, по-видимому, связано со сложностью сбора достаточно точных данных о затратах и высокой трудоемкостью калькуляционных методов технико-экономической оценки, что затрудняет оценку по приведенным затратам.

Данное соображение подтверждается, в частности, работой [2], в которой проведение многокритериальной оптимизации стального каркаса многоэтажного здания по 4 техническим показателям (общая масса конструкций, количество типов поперечных сечений, стоимость материалов в закупке и суммарная площадь поверхности элементов) обосновывалось невозможностью достаточно точной оценки затрат жизненного цикла конструкций из-за отсутствия необходимых статистических данных.

Использование критерия минимальной массы в качестве превалирующего при оценке проектных решений имеет место и при разработке конструкций решетчатых башенных сооружений, что подтверждается рядом работ [3–6]. Сама по себе необходимость проведения оптимизации и вариантного проектирования данного типа объектов обусловлена изменениями в предъявляемых требованиях к полезной нагрузке, приходящейся на опору,

и различными природно-климатическими условиями строительства. При этом отправной точкой в ходе проектирования является задание основных геометрических параметров, а уже на следующем этапе подбор сечений элементов с последующим сравнением и оценкой полученных вариантов. Стоит отметить, что при выборе конструктивных решений решетчатых башенных сооружений присутствует так называемая обратная связь ввиду наличия взаимного влияния между конструктивным решением и величиной внешних нагрузок, приходящихся на сооружение. Иначе говоря, внешние силы, определяющие параметры конструктивного решения, в свою очередь, зависят от принятых конструктивных решений [7]. В этой связи выполнение вариантного проектирования и оптимизации решетчатых башенных сооружений даже по критерию металлоемкости предполагает многократные итерации и требует больших трудозатрат от проектировщика.

Процесс вариантного проектирования состоит из следующих этапов:

1) формирование перечня возможных конструктивных решений;

2) проработка вариантов конструктивных решений;

3) оценка вариантов и выбор оптимального варианта.

Проработка вариантов конструктивных решений включает в себя трехмерное информационное и конечно-элементное (расчетное) моделирование и является наиболее трудоемким этапом. Значительный объем работ при формировании расчетных схем решетчатых башенных сооружений составляют многочисленные однотипные операции по вычислению значений климатических нагрузок и приложению их к элементам расчетной схемы. Актуальность проблемы подтверждает появление плагина для автоматизации данных операций, который дополняет стандартный функционал ПО для прочностного анализа [8]. Однако данное решение не позволяет автоматизировать процесс формирования геометрической схемы, который для сложных конструкций может быть также значительно трудоемким.

Для автоматизации процесса подготовки моделей в данной работе использован подход, изложенный в [9], где продемонстрирована возможность генерации расчетных и информационных моделей промышленных зданий параметрическим способом в среде визуального программирования. Связь между моделями реализована на основе внешнего источника данных – наиболее предпочтительного способа интеграции, что обосновано в работе [10].

Укрупненная схема работы скрипта представлена на рис. 1.

Апробация предложенного алгоритма производилась в рамках реализации вариантного проектирования четырехгранной решетчатой башни высотой 70 метров из уголков для строительства в 1-м ветровом (тип местности А) и 4-м гололедном районе. Сооружение предназначено для установки комплектов антенного оборудования на двух высотных отметках: +67,5 м (суммарная площадь 3,5 м^2, суммарный вес 280 кг); +70 м (суммарная площадь 6,4 м^2, суммарный вес 520 кг).

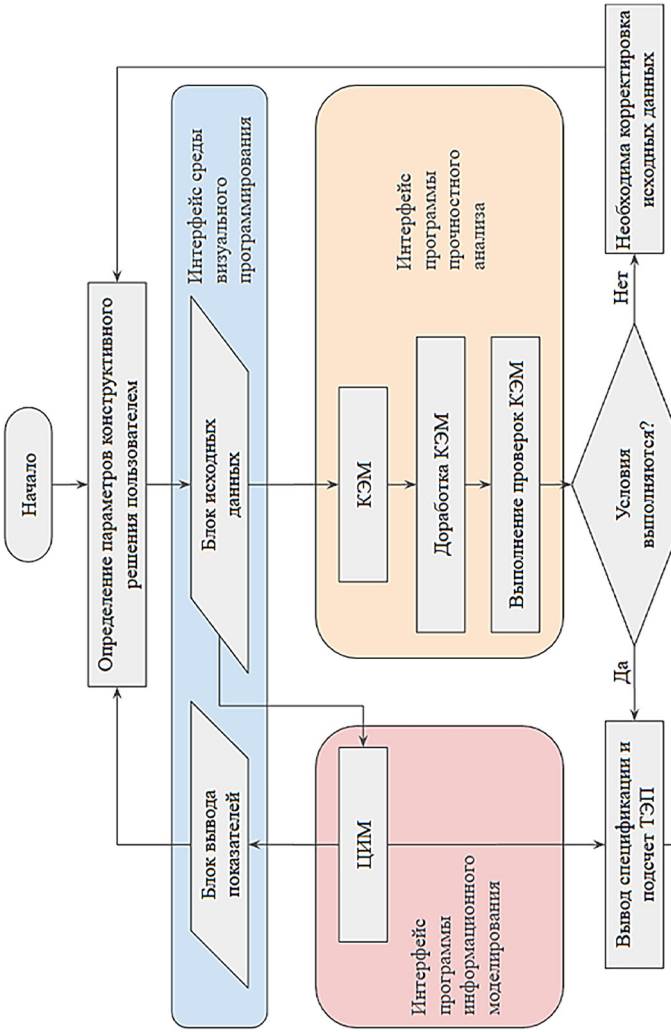


Рис. 1. Принципиальная схема организации работы скрипта

К рассмотрению были приняты сформированные с использованием скрипта модели трех башен (рис. 2) с ромбическим типом раскосной решетки, переломом поясов на отм. + 50,0 м (переход от пирамидальной части к призматической с шириной 2,2 м), отличающиеся друг от друга шириной основания: 4,5; 6; 7,5 м.

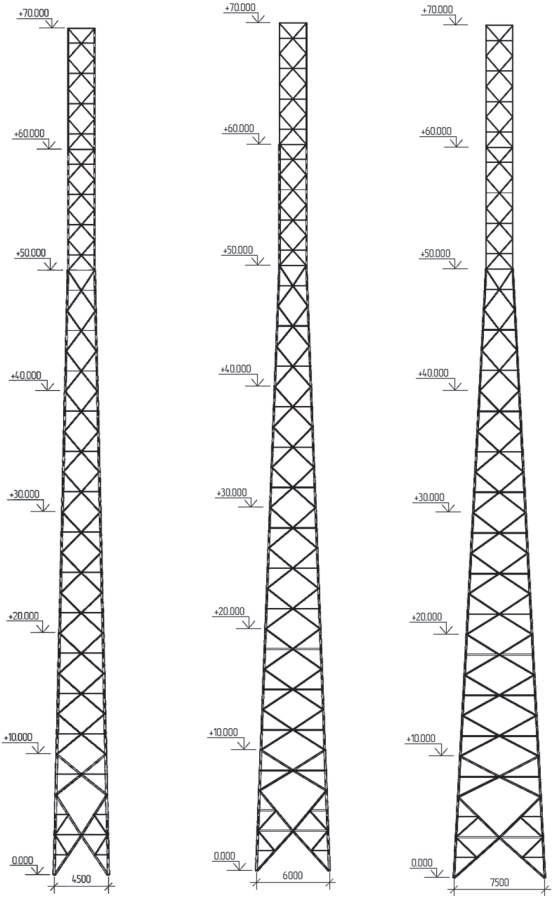


Рис. 2. Варианты конструктивных решений башен

Данные значения соответствуют рекомендуемому диапазону соотношений основания и высоты опоры (1/15–1/6) [3], а также учитывают ограниченные размеры земельных участков под размещение объектов связи, что

характерно для большинства случаев, встречающихся на практике. Выбор обозначенного типа решетки обусловлен ее более низкой металлоемкостью и меньшей наветренной площадью в сравнении с другими типами, что упомянуто в ряде работ [4, 11].

Стальные сечения конструктивных элементов каждого варианта были оптимизированы по критерию минимальной массы посредством применения в расчетном программном комплексе модуля «подбор сечений» с последующим выполнением проверки общей устойчивости башни и величины перемещений сооружения. Типоразмеры уголков, отсутствующие в продаже, были заменены на ближайшие доступные аналоги с последующим повторным расчетом несущей способности сооружения.

Проведение сравнительной оценки эффективности конструктивных решений производилось по ряду технико-экономических показателей (табл. 1).

Таблица 1

Показатели для оценки эффективности конструктивных решений

№	Критерий	Тип показателя	Где подсчитывается
1	Общая масса основных элементов, т	Целевой	В скрипте интерактивно. Результаты выводятся в интерфейсе внешнего источника данных (среды визуального программирования)
2	Площадь окрашиваемой поверхности, $м^2$	Целевой	
3	Количество поперечных сечений конструктивных элементов, шт.	Целевой	
4	Угол наклона поясов пирамидальной части, %	Справочный	
5	Отношение высоты к ширине основания	Справочный	
6	Строительный объем, $м^3$	Справочный	
7	Удельная металлоемкость, $кг/м^3$	Справочный	
8	Стоимость металла в закупке, тыс. руб.	Целевой	В электронной таблице после экспорта из ЦИМ

Вариация ширины основания позволила сформировать выборку проектных решений и по указанным критериям выполнить оценку рассматриваемых вариантов башен (табл. 2). Первая итерация соответствует варианту с оптимизированными сечениями элементов, вторая – варианту с доступными для закупки сечениями.

Таблица 2

Анализ технико-экономических показателей

Показатель	Вариант башни					
	База 4,5 м		База 6,0 м		База 7,5 м	
	Итерация		Итерация		Итерация	
	1	2	1	2	1	2
Общая масса основных элементов, т	14,698	14,962	13,958	**14,773**	15,533	16,125
Площадь окрашиваемой поверхности, $м^2$	546,06	**545,6**	577,74	576,92	639,58	631,39
Количество типов поперечных сечений конструктивных элементов, шт.	18	**12**	15	14	18	13
Угол наклона поясов, %	3,25		5,37		7,5	
Отношение высоты к ширине основания	0,064		0,086		0,107	
Строительный объем, $м^3$	679,97		997,47		1389,97	
Удельная металлоемкость, $кг/м^3$	21,62	22,0	13,99	14,81	11,18	11,6
Стоимость металла в закупке, тыс. руб.	1241,31	1192,32	960,35	924,31	937,14	**836,49**

При анализе целевых показателей видно, что наименьшей металлоемкостью обладает башня с шириной основания 6 м, однако данный вариант объективно менее экономически эффективен в сравнении с ближайшим аналогом: стоимость металла в закупке у башни с базой 7,5 м ниже на 87,82 тыс. руб. Площадь окраски металлоконструкций закономерно возрастает с увеличением ширины основания сооружения. Количество типоразмеров конструктивных элементов опор варьируется от 12 (башня с базой 4,5 м) до 14 (башня с базой 6 м). Окончательный выбор оптимального варианта

сооружения должен базироваться на комплексном анализе приведенных показателей с учетом конкретных условий реализации проекта (возможные требования к минимизации площади поверхности элементов для снижения эксплуатационных затрат на восстановление антикоррозионного покрытия, ограничения на ширину башни ввиду малых габаритных размеров площадки под строительство и т. д.).

Применение предложенного метода интегрированной параметризации моделирования несущих конструкций башенного сооружения позволяет радикально сократить трудозатраты на проведение вариантного проектирования. Для демонстрации эффективности автоматизации было проведено сопоставление временных затрат на генерацию конечно-элементных моделей, расчет нагрузок и подсчет технико-экономических показателей «ручным» методом (РМ) и параметрическим методом (ПМ) (табл. 3).

Приведенные данные наглядно подтверждают кратное сокращение временных затрат при использовании параметрического моделирования в сравнении с традиционным способом. На этапе подготовки моделей в 1-й итерации установлено сокращение трудозатрат до 3,5 раза, на этапе корректировки моделей во 2-й итерации временные затраты сопоставимы, на этапе подсчета технико-экономических показателей – до 3 раз. При вариантной проработке трех вариантов конструктивных решений башен ручным способом было затрачено общего времени около 10 часов 50 минут, параметрическим способом – около 4 часов 40 минут.

При разработке скрипта в среде визуального программирования использовались стандартные ноды, которые не позволяют автоматизировать процесс создания групп конструктивных элементов. Кроме этого, использование стандартных нодов обусловило необходимость ввода исходных данных о жесткостных характеристиках элементов дважды – для ЦИМ и КЭМ в отдельности. Автоматизация данных операций и оптимизация скрипта в целом может быть достигнута за счет создания пользовательских нодов на текстовом языке программирования, что потенциально позволит еще больше сократить трудозатраты на подготовку моделей.

Таблица 3

Временные затраты на создание конечно-элементных моделей и оценку технико-экономических показателей

Действия	Вариант башни					
	База 4,5 м		База 6,0 м		База 7,5 м	
	ПМ	РМ	ПМ	РМ	ПМ	РМ
Создание модели (назначение геометрических и жесткостных характеристик элементов, определение и приложение нагрузок при действии в наиболее неблагоприятных направлениях)	00:50:25	02:49:05	00:49:30	02:50:00	00:53:05	02:50:20
Замена сечений элементов на доступные (корректировка схемы с повторным пересчетом нагрузок)	00:39:30	00:37:50	00:39:55	00:39:05	00:32:25	00:38:40
Подсчет технико-экономических показателей	00:02:15	00:07:45	00:03:00	00:08:05	00:03:00	00:07:50
Общее время	01:32:10	03:34:40	01:32:25	03:37:10	01:36:30	03:36:50

Выводы

1. Оптимизация по критерию массы конструкции не приводит к минимизации затрат. Оценка по приведенным затратам не всегда возможна из-за отсутствия данных о затратах на стадии эксплуатации. Целесообразно проводить технико-экономическую оценку по нескольким критериям с учетом конкретных условий реализации проекта.

2. Вариантное проектирование и оптимизация конструктивных решений значительно осложняются высокой трудоемкостью формирования и корректировки расчетных моделей из-за большого количества однотипных повторяющихся операций, включая геометрические преобразования схемы, назначение жесткостных характеристик конструктивных элементов, определение и приложение климатических нагрузок, подсчет технико-экономических показателей.

3. Применение параметризации позволяет значительно (в 2,3 раза) снизить общую трудоемкость создания моделей. На рассмотренных примерах продемонстрирована возможность формирования и изменения конечно-элементной модели сооружения с автоматизированным расчетом показателей оценки проектных решений при варьировании входных параметров, что позволяет оперативно производить сравнение нескольких вариантов башен.

4. Параметрический метод наряду с ускорением процесса генерации моделей повышает точность и минимизирует риск ошибок, связанный с ручным вводом данных.

Литература

1. *Ляхович Л.С., Перельмутер А.В.* Некоторые вопросы оптимального проектирования строительных конструкций // Международный журнал по расчету гражданских и строительных конструкций. 2014. Т. 10, № 2. С. 14–23. EDN: SXCOQB.

2. *Sarma K.C., Adeli H.* Life-cycle cost optimization of steel structures // International Journal for Numerical Methods in Engineering. 2002. Vol. 55, No. 12. P. 1451–1462. DOI: 10.1002/nme.549.

3. *Голиков А.В., Михальчонок Е.А.* Определение рациональной конструктивной формы башен сотовой связи // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия : Инженерные исследования. 2019. Т. 20, № 2. С. 163–173. DOI: 10.22363/2312-8143-2019-20-2-163-173. EDN: BGPRRH.

4. *Голиков А.В., Веремеев Д.В.* Обобщенные принципы компоновки и назначения габаритных размеров трехгранных решетчатых башен // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура. 2023. № 1(90). С. 14–32. EDN: KHISBG.

5. *Сабитов Л.С., Кузнецов И.Л., Пеньковцев С.А.* Выбор рационального типа поперечного сечения опор // Приволжский научный журнал. 2014. № 4(32). С. 90–94. EDN: TCWACJ.

6. *Тарануха Н.Л., Новиков М.Ю.* Повышение эффективности проектирования антенно-мачтовых сооружений сотовой связи на основе оценки конструктивных решений // Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова. 2023. № 1. С. 84–90. DOI: 10.22213/2413-1172-2023-1-84-90. EDN: HYJMLG.

7. *Перельмутер А.В.* Теория сооружений. Субъективные заметки о содержании предмета, преподавании и понимании результатов компьютерного анализа. Киев, 2024. 60 с. URL: https://scadsoft.com/download/StructureTheory.pdf/ (дата обращения: 16.01.2026).

8. Пакет плагинов РешК. – URL: https://scadhelp.ru/page/ReshK/ (дата обращения: 16.01.2026).

9. *Клековкин Е.А.* Алгоритмическое проектирование несущих конструкций промышленных зданий в среде визуального программирования // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2025. № 4. С. 56–68. DOI: 10.34031/2071-7318-2025-10-4-56-68. EDN: ZELJXX.

10. *Свинцов С.Е.* Осуществление динамической связи между информационными и расчетными моделями с помощью внешнего источника исходных данных // Информационное моделирование в задачах строительства и архитектуры : Мат-лы VIII Междунар. науч.-практ. конф. ; под общ. ред. А.А. Семенова. Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2025. С. 402–412. DOI: 10.23968/BIMAC.2025.054. EDN: IYRDSB.

11. *Голиков А.В., Михальчонок Е.А., Мельникова Ю.А.* Анализ влияния типа решетки на распределение усилий в элементах башни // Инженерный вестник Дона. 2019. № 4(55). С. 53. EDN: GKJOAC.

УДК 697.12
DOI: 10.23968/BIMAC.2026.020

Лямшев Никита Евгеньевич, студент
(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)
E-mail: nlyamshev@yandex.ru
Букунова Ольга Викторовна, канд. техн. наук, доцент
(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)
E-mail: bukunovaolga@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-5721-1795

Lyamshev Nikita Evgen'evish, student
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)
Bukunova Olga Viktorovna, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА И МАРКИРОВКИ ПЛОЩАДИ ОКОН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИЗУАЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ В DYNAMO

AUTOMATING THE CALCULATION AND MARKING OF THE WINDOW AREA USING VISUAL PROGRAMMING IN DYNAMO

Рассматривается проблема оперативного анализа параметров элементов информационной модели на примере расчета общей площади остекления здания. Предложено решение с использованием визуального программирования в среде Dynamo for Revit, позволяющее автоматизировать процесс сбора данных об окнах, вычисление площади и группировкой по заданным диапазонам. Разработанный алгоритм обеспечивает корректную обработку параметров модели, снижает вероятность ошибок, связанных с человеческим фактором, повышает точность расчетов и существенно сокращает трудозатраты при подготовке проектной документации, формировании спецификаций и анализе показателей остекления.

Ключевые слова: площадь остекления, классификация окон, BIM, Revit, Dynamo, автоматизация проектирования, визуальное программирование.

The problem of operational analysis of the parameters of the information model elements is considered using the example of calculating the total glazing area. A solution using visual programming in the Dynamo for Revit environment is proposed, which makes it possible to automate the process of collecting data on windows, calculating their area and grouping them into specified ranges. The developed script eliminates the influence of the human factor and significantly reduces the time required to complete routine tasks during the design and preparation of specifications.

Keywords: glazing area, window classification, BIM, Revit, Dynamo, design automation, visual programming.

Современное проектирование зданий и сооружений в значительной степени опирается на технологии информационного моделирования (BIM) [1]. Эффективная работа с BIM-моделью предполагает оперативное извлечение разнообразной аналитической информации для принятия проектных решений, формирования спецификаций и сметной документации [2]. На практике важную роль играет расчет площадей остекления.

Расчет площади остекления является не только проектной, но и нормативной задачей. В соответствии с требованиями СП 50.13330.2012[1] «Тепловая защита зданий» и СП 371.1325800.2017[2] «Здания и сооружения. Расчетные параметры инсоляции» площадь светопроемов строго регламентируется для обеспечения нормируемых значений коэффициента естественной освещенности (КЕО) и удельных показателей расхода тепловой энергии. В крупных проектах ручной подсчет и проверка соответствия этим нормам становятся крайне трудоемкими. Таким образом, автоматизация данного процесса переходит из разряда удобства в категорию необходимого инструмента для обеспечения качества и соответствия проекта законодательным требованиям.

Расчёт площади остекления также влияет на сметную стоимость объекта, поскольку окна являются одним из наиболее дорогих элементов ограждающих конструкций. Точный и оперативный расчёт позволяет оптимизировать закупки и снизить риски ошибок в спецификациях.

Существующие решения автоматизации (Python API Revit, Grasshopper, платные плагины) часто требуют либо значительных финансовых затрат, либо глубоких знаний программирования. Визуальное программирование в Dynamo [3] представляет собой компромисс между доступностью и функциональностью, что подтверждается растущим числом публикаций на эту тему [4]. В отечественной практике отмечается активное применение Dynamo для автоматизации расчетов и верификации моделей [5, 6].

В основе стандартных подходов к получению подобных данных в таких средах, как Autodesk Revit, лежит ручной поиск элементов, фильтрация и экспорт данных в таблицы с последующей обработкой [7]. С одной стороны, встроенные инструменты работы со спецификациями позволяют получать необходимую информацию. Однако при необходимости нестандартного анализа, например, группировки окон по диапазонам площадей или их автоматической группировки – штатные средства оказываются недостаточно гибкими и требуют много рутинных операций [8].

При использовании стандартных спецификаций Revit возможно получение суммарной площади окон и базовой фильтрации по параметрам. Однако реализация динамической группировки по произвольным диапазонам

[1] СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» – актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. М. : Минрегион России, 2012.

[2] СП 371.1325800.2017 «Здания и сооружения. Расчетные параметры инсоляции». М. : Стандартинформ, 2018.

площадей требует создания множества вычисляемых параметров и фильтров, что усложняет структуру модели и увеличивает трудоемкость сопровождения проекта. При изменении размеров окон или корректировке диапазонов классификации такие настройки необходимо обновлять вручную. Кроме того, штатные инструменты не обеспечивают автоматической проверки корректности заполнения параметров и обработки отсутствующих значений в рамках единого алгоритма. В проектах с большим количеством окон подобный подход приводит к росту временных затрат и повышает вероятность ошибок. Актуальность проводимого исследования объясняется необходимостью повышения скорости и точности выполнения подобных задач, особенно на крупных объектах с сотнями оконных проемов.

Ручные методы расчёта трудоёмкие и подвержены ошибкам, что делает актуальным использование инструментов визуального программирования, таких как Dynamo for Revit, доступны для широкого круга проектировщиков.

Целью исследования является разработка автоматизирующего скрипта для расчета и группировки площади окон в модели Revit. Для осуществления поставленной цели решены следующие задачи:

1. Провести сравнительный анализ сред автоматизации, поддерживающих визуальное или скриптовое программирование (Dynamo for Revit, Renga, а также других BIM-платформ), с целью оценки применимости предложенного алгоритма. Разработать алгоритм для автоматического сбора всех оконных элементов в проекте Revit.

2. Реализовать механизм вычисления площади каждого окна на основе его параметров.

3. Создать логику для группировки окон по заданным диапазонам площадей.

Сравнение выполнено с учетом распространенности платформ на российском рынке и наличия инструментов автоматизации, позволяющих реализовать алгоритмы расчета параметров BIM-модели. В качестве базовой среды выбрана Dynamo for Revit как наиболее развитая визуальная среда программирования. В качестве альтернатив рассмотрены инструменты автоматизации Renga [9], а также проанализирована принципиальная возможность реализации аналогичного алгоритма в других отечественных BIM-системах (табл. 1).

С точки зрения импортозамещения представляет интерес возможность реализации предложенного алгоритма в российских BIM-продуктах. В среде Renga аналогичная задача может быть решена с использованием Renga API или встроенного редактора макросов. При этом реализация потребует написания скриптового кода и более высокой квалификации пользователя по сравнению с визуальным программированием в Dynamo. В других отечественных системах, поддерживающих API или механизм пользовательских надстроек, также возможна реализация расчета площадей и группировки элементов, однако уровень готовых визуальных инструментов автоматизации в настоящее время уступает Dynamo по гибкости и скорости разработки.

Таблица 1

Анализ возможностей Dynamo, Renga и отечественные BIM-системы

Критерий	Dynamo (для Revit)	Renga	Отечественные BIM-системы
Что это?	Визуальная среда программирования (VPL). Позволяет создавать алгоритмы без написания кода, соединяя узлы	1. Renga API (Application Programming Interface). 2. Renga Macro (встроенный редактор макросов)	Предоставляют программный интерфейс (API) или механизм пользовательских расширений. Встроенные средства визуального программирования, сопоставимые с Dynamo, отсутствуют либо находятся в стадии развития
Уровень сложности	Требует алгоритмического мышления. Доступно для продвинутых пользователей, не только для программистов	API: Высокий (требует знаний языков C++, C#). Macro: Низкий и средний (простой скриптовый язык, похожий на VBA)	Реализация автоматизации осуществляется через программирование с использованием API. Требуется подготовка в области разработки
Возможности	Огромные. От автоматизации рутинных задач до генерации сложных геометрических форм, работы с большими данными и связи с другими программами	API: Создание полнофункциональных плагинов, глубокой интеграции. Macro: Автоматизация простых и повторяющихся действий (переименование, изменение свойств, создание типовых элементов)	Автоматизация возможна через создание пользовательских надстроек и плагинов; функциональность определяется глубиной API. Визуальные инструменты прототипирования ограничены

Для отладки алгоритма и валидации результатов разработана параметризированная тестовая BIM-модель жилого здания в Autodesk Revit 2025. Модель включает 2 этажа с типовыми планировочными решениями и содержит 32 оконных проёма 3 различных типоразмеров. Добавлен пользовательский текстовый параметр «Площадь» и «Группа». Данная модель послужила контролируемой средой для первичного тестирования логики скрипта, оценки его производительности и точности.

Для решения задачи автоматизации расчета площадей окон, где ключевым фактором является доступность и наглядность для конечного проектировщика, среда Dynamo была признана более предпочтительной. Сравнительные исследования сред автоматизации также подтверждают ее преимущества в доступности и гибкости для проектировщиков. Ее визуальный язык программирования позволяет быстрее разрабатывать, тестировать и модифицировать разрабатываемый скрипт, что критически важно в условиях итеративного процесса проектирования.

Площадь каждого окна вычисляется как произведение его высоты и ширины, полученных из параметров BIM-модели.

Алгоритм, реализованный в Dynamo, состоит из нескольких этапов (рис. 1–4).

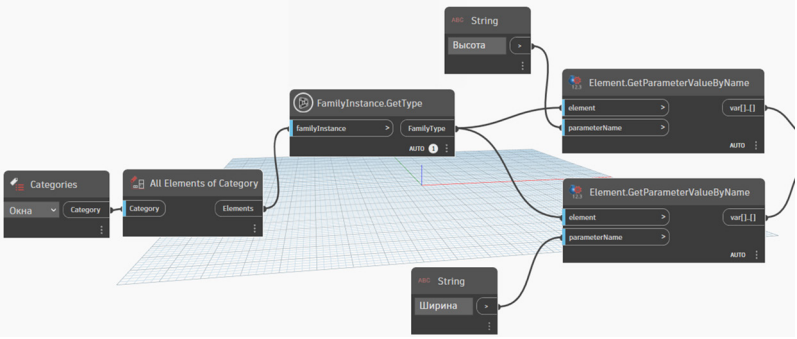


Рис. 1. Алгоритм Dynamo

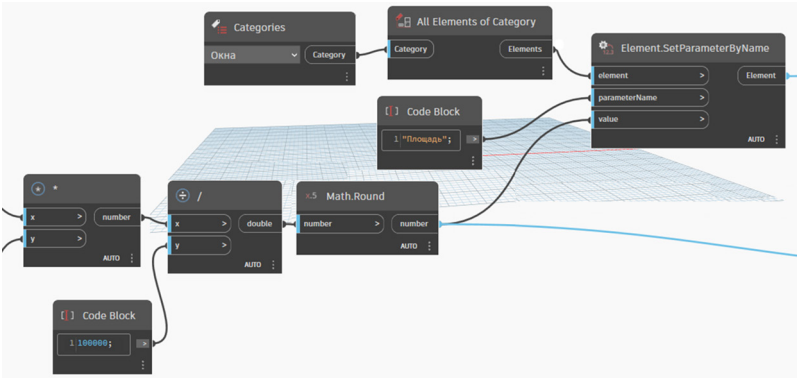


Рис. 2. Алгоритм Dynamo (продолжение)

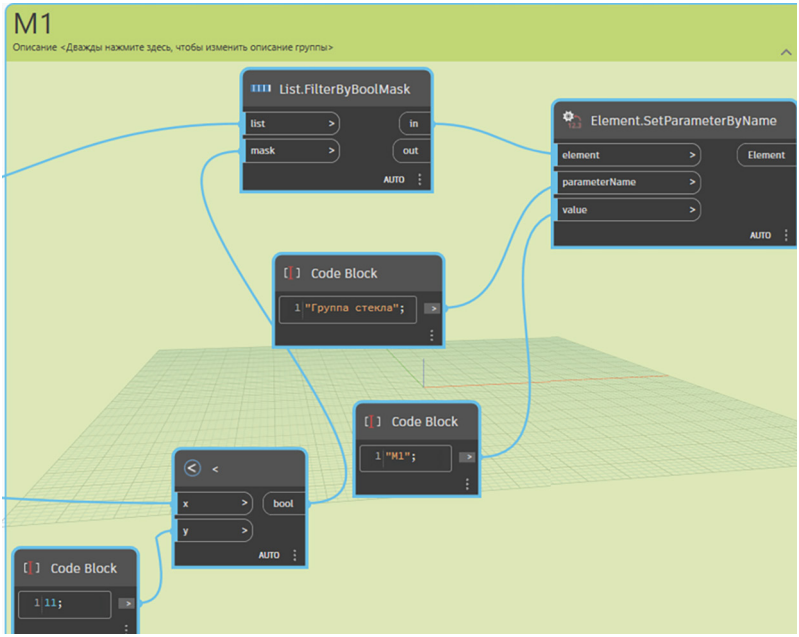


Рис. 3. Алгоритм Dynamo (конец)

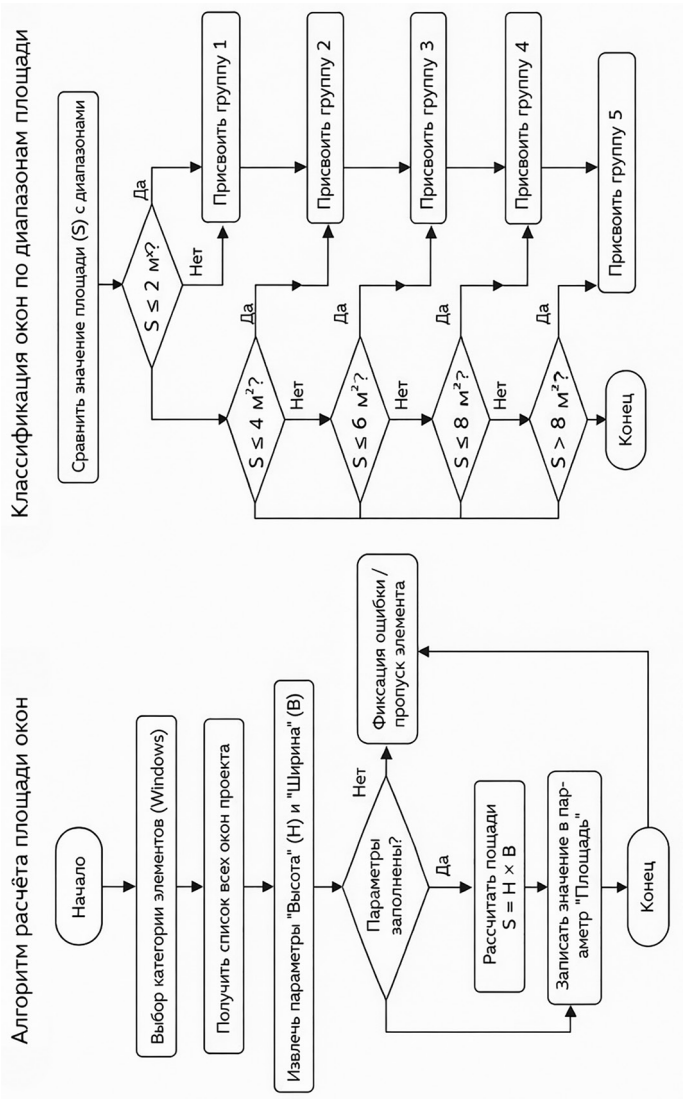


Рис. 4. Пример реализации в виде блок схемы

1. Узел Categories с фильтром Windows определяет категорию элементов для работы. Узел All Elements of Category извлекает все экземпляры окон в проекте, включая вложенные в группы или связанные файлы (при использовании узла Element.AllInstances из пакета Clockwork).

2. Получение параметров: для каждого окна с помощью узла “Element. GetParameterValueByName” извлекаются значения параметров «Высота» и «Ширина», но, если параметр не заполнен или отсутствует у семейства, возвращается значение null. Попытка выполнить арифметическую операцию с null приводит к ошибке.

3. Вычисление площади: Полученные значения перемножаются с помощью узла «*», «/» (в текущей реализации скрипта).

4. Создание пользовательского параметра: перед записью в модель создаётся общий параметр проекта «Площадь» (тип «Площадь»), Рассчитанная площадь записывается в созданный пользовательский параметр экземпляра каждого окна с помощью узла «Element.SetParameterByName». Это позволяет сохранить результаты непосредственно в модели.

5. Классификация и группировка: на основе заданных диапазонов с помощью узлов логики («CodeBlock», «List.FilterByBoolMask») происходит разделение списка окон на группы. Результаты могут быть выведены в виде отчетов или использованы для автоматического размещения марок.

В ходе исследования проведен анализ работы алгоритма на тестовой модели с разными параметрами ширины и высоты. Результаты автоматического расчета показали стопроцентную точность (рис. 5).

Были проанализированы различные сценарии:

Сценарий 1: Изменение модели – добавление новых оконных блоков. Результат: по составленной программе успешно пересчитана общая площадь и корректно распределены новые окна по группам.

Сценарий 2: Изменение границ диапазонов для группировки. Результат: переклассификация всех окон произошла мгновенно после изменения входных данных в Dynamo.

Для повышения практической ценности разработанного скрипта возможен экспорт результатов в Excel и визуализации в Power BI.

Несмотря на высокую эффективность предложенного решения, следует отметить его зависимость от качества исходной BIM-модели. Например, если окна смоделированы как обычные проёмы или не имеют заполненных параметров «Ширина» и «Высота», скрипт может дать некорректные результаты. Для устранения этого ограничения рекомендуется разработать предварительный скрипт валидации модели, проверяющий корректность свойств оконных элементов.

Реализация алгоритма в среде визуального программирования Dynamo позволяет эффективно автоматизировать рутинную задачу расчета и группировки площадей окон в BIM-модели. Проведенный анализ показал, что выбор

Dynamo в качестве основного инструмента обусловлен высокой степенью готовности визуальных средств автоматизации и минимальными требованиями к программированию. При этом принципиальная реализация алгоритма возможна и в российских BIM-продуктах, однако требует использования API или макросов и более высокой квалификации разработчика.

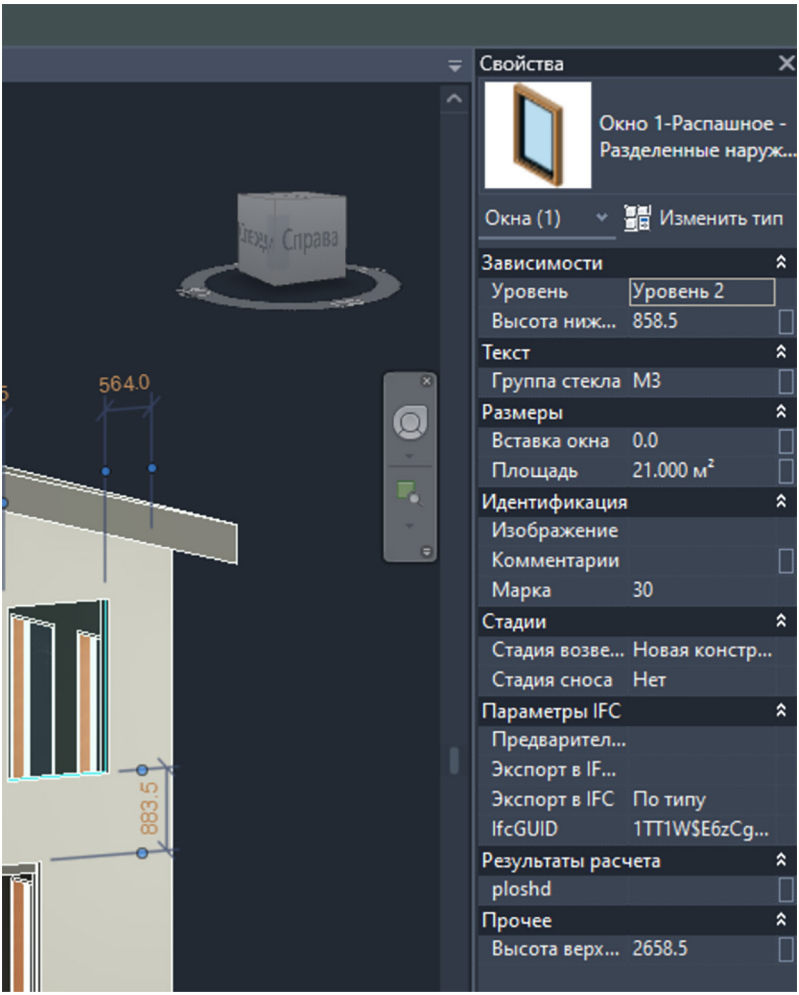


Рис. 5. Демонстрация работы алгоритма

Литература

1. *Талапов В.В.* Основы BIM. Введение в информационное моделирование зданий. 2-е изд. Саратов : Профобразование, 2017. 392 с. EDN: ZGKAKN.

2. *Ямалтдинова, Э.И.* Информационное моделирование зданий // Достижения науки и образования. 2021. № 1(73). С. 15–16. EDN: PMYXJO.

3. *Divin N.V.* BIM by using Revit API and Dynamo. A review // AlfaBuild. 2020. No. 2(14). P. 1404. DOI: 10.34910/ALF.14.4. EDN: CGPPSX.

4. *Rocha G., Mateus L.* Using Dynamo for Automatic Reconstruction of BIM Elements from Point Clouds // Applied Sciences (Switzerland). 2024. Vol. 14, No. 10. P. 4078. DOI: 10.3390/app14104078. EDN: QOVIUO.

5. *Абдельхади М.М.Н., Карманова М.М.* Автоматизирование функционала по созданию спецификаций в Autodesk Revit // Технологии информационного моделирования зданий и территорий. Экосистемы ТИМ/BIM : Мат-лы II Всерос. науч.-практ. конф. Екатеринбург : Уральский университет, 2022. С. 89–97. EDN: DYKVMC.

6. *Заторский С.П., Шумилов К.А.* Автоматизация процессов проектирования в рабочей среде с помощью Dynamo Revit // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2023. № 4(46). С. 125–128. DOI: 10.52684/2312-3702-2023-46-4-125-128. EDN: KVIUYG.

7. *Ланцов А.Л.* Autodesk Revit 2015. Компьютерное проектирование зданий. М. : ДМК Пресс, 2014. 664 с.

8. *Bukunova O., Bukunov A.* Management of deconstruction of construction objects // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 962. P. 022085. DOI: 10.1088/1757-899X/962/2/022085. EDN: KRGRPI.

9. Официальная документация Renga API. URL: https://help.rengabim.com/ (дата обращения: 01.10.2025).

УДК 004.94
DOI: 10.23968/BIMAC.2026.021

Маметова Татьяна Алексеевна, ст. преподаватель
(Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет)
E-mail: t.peregutova@sibstrin.ru
Дотц Софья Александровна, студент
(Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет)
E-mail: s.dotts@sibstrin.ru

Mametova Tatiana Alekseevna, senior lecturer
(Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering)
Dotts Sofia Alexandrovna, student
(Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering)

АНАЛИЗ ИНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТИ ДАННЫХ ARCHICAD И RENGA С ПОМОЩЬЮ IFC-ФОРМАТА

ANALYSIS OF ARCHICAD AND RENGA DATA INTEROPERABILITY USING THE IFC FORMAT

Цель работы – оценить корректность двустороннего экспорта IFC-файлов между ArchiCAD и Renga при поэтапном наполнении цифровых объектов атрибутами. На первом этапе создана простая геометрическая форма. В процессе разработки объект наполнялся атрибутами. Результаты конвертации показали кумулятивный рост проблем экспорта: передача простой геометрии практически не привела к несоответствиям, а добавление атрибутов вызвало критические искажения, которые лишают цифровую модель основного преимущества ТИМ, а именно функционировать как единый источник информации на всех этапах проекта для всех участников. Таким образом, экспорт IFC-файлов с настройками по умолчанию не обеспечивает надежный обмен между ArchiCAD и Renga, однако удобен для конвертации простых геометрических форм и пространственных решений.

Ключевые слова: интероперабельность, IFC, конвертация ЦИМ, совместимость программ, ТИМ.

The purpose of the work is to evaluate the correctness of the two-way export of IFC files between ArchiCAD and Renga when the digital objects are filled with attributes in stages. At the first stage, a simple geometric shape was created. During the development process, the object was filled with attributes. The conversion results showed a cumulative increase in export problems: the transfer of simple geometry did not cause any inconsistencies, but the addition of attributes caused critical distortions that deprive the digital model of its main advantage, which is to function as a single source of information for all project participants at all stages. Therefore, exporting IFC files with default settings does not provide a reliable exchange between ArchiCAD and Renga, but it is convenient for converting simple geometric shapes and spatial solutions.

Keywords: interoperability, IFC, CIM conversion, program compatibility, BIM.

Современное проектирование в архитектуре и строительстве неразрывно связано с технологиями информационного моделирования (ТИМ) зданий. Для реализации идеи формирования единой и согласованной цифровой информационной модели (ЦИМ) необходима совместная работа специалистов отрасли, которые используют различное программное обеспечение (ПО) [1]. Отсюда возникает задача обеспечения переноса ЦИМ между различными ПО без искажения и потерь данных. Она сегодня решается использованием открытого глобального стандарта IFC [2], который признан для использования и продолжает развиваться на территории РФ[1]. Однако, закрепилось мнение, что при экспорте модели в IFC возможно ее искажение на любом этапе и любым участником процесса, что ведет к потере данных [3, 4].

Цель данной работы: оценить корректность двустороннего экспорта IFC-файлов между ArchiCAD и Renga при поэтапном наполнении цифровых объектов атрибутами. Для достижения цели были поставлены следующие задачи: провести анализ корректности экспорта IFC-файлов, установить зависимость между насыщенностью модели атрибутами и критичностью ошибок, найти границы применимости IFC для совместной работы в ArchiCAD и Renga.

В качестве эксперимента в три этапа усложнения модели были созданы идентичные одноэтажные двухсекционные жилые дома в ArchiCAD 27 и Renga Professional, которые сохранялись в IFC и анализировались после экспорта (рис. 1).

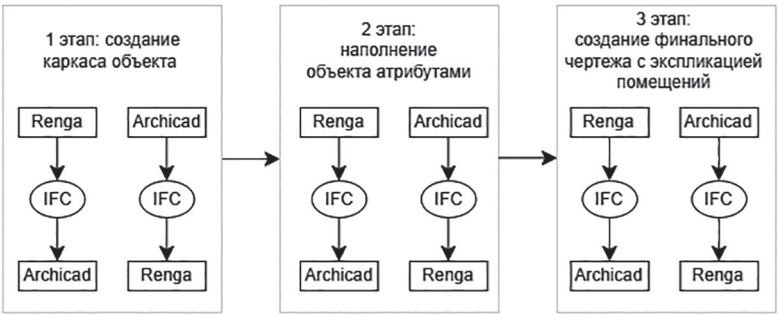


Рис. 1. Схема обмена данными

На первом этапе была создана модель, выполняющая роль каркаса для дальнейшего исследования. Объект включал в себя плиту перекрытия

[1] СП 333.1325800.2020. Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла. М. : Стандартинформ, 2021. 14 с.

(определяющую поверхность земли) и одноэтажный двухсекционный дом, построенный базовыми архитектурными формами (стены, перекрытия, крыша).

В первую очередь был конвертирован файл, созданный в ПО Renga. При открытии IFC-файла через ArchiCAD объект сохранил свою геометрию и объемы, но в экспортированном файле на уровне земли участок и сам дом не отображаются, виден лишь их контур, показанный пунктиром (рис. 2). На нулевом уровне вместо плана этажа отображается крыша с осями, марки которых теперь выставлены с противоположной стороны (рис. 3).

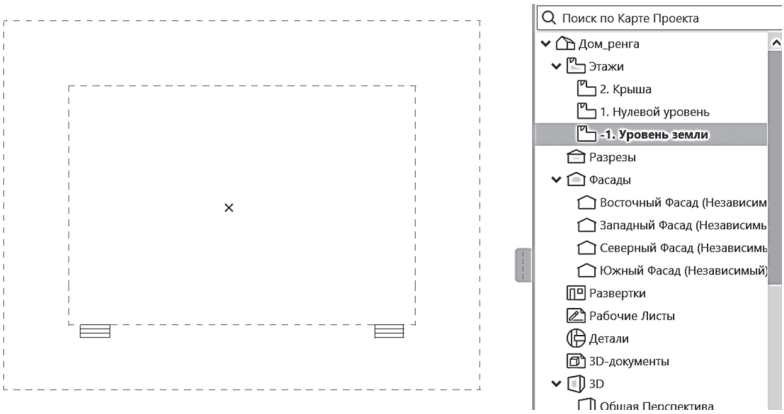


Рис. 2. Отображение уровня земли в ArchiCAD экспортированного файла из Renga

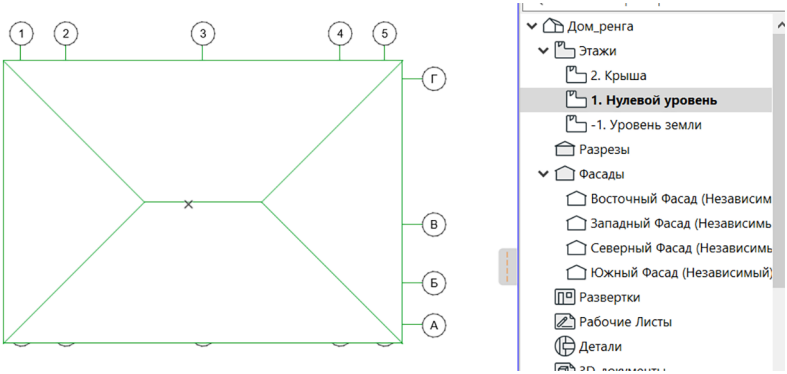


Рис. 3. Отображение нулевой уровня в ArchiCAD экспортированного файла из Renga

Идентичный по конструктиву дом, созданный в ArchiCAD и сохранённый в IFC, был экспортирован в Renga. На уровнях модели марки осей отобразились не с одной стороны, а с двух, что не является критической ошибкой.

Проведенный анализ конвертации ЦИМ с простейшей геометрией между ArchiCAD и Renga указывает на несовершенство настроек по умолчанию при экспорте в IFC. Конвертация файла из ArchiCAD в Renga более стабильна, чем из Renga в ArchiCAD.

На втором этапе цифровая модель была усложнена: добавлена балка, две колонны, на которые опирается балка, и ленточный железобетонный фундамент с подушкой. Также, ЦИМ начала наполняться атрибутами: в стены были заложены многослойные материалы, взятые из каталога продукции КНАУФ [5].

При открытии IFC-файла в ArchiCAD были обнаружены ошибки: перекрытие этажа сместилось по всем осям (рис. 4), ни один элемент не сохранил своего состава (вместо сложного состава материалов отображалась краска). В файле, сохраненном в ArchiCAD, и конвертированном в Renga при визуальном просмотре было обнаружено отсутствие автоматических соединений элементов фундамента (рис. 5).

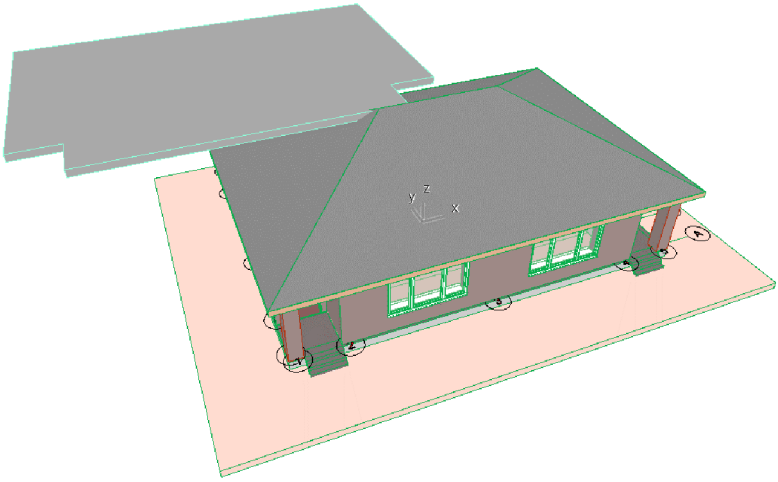


Рис. 4. Отображение 3D-вида в ArchiCAD экспортированного файла из Renga

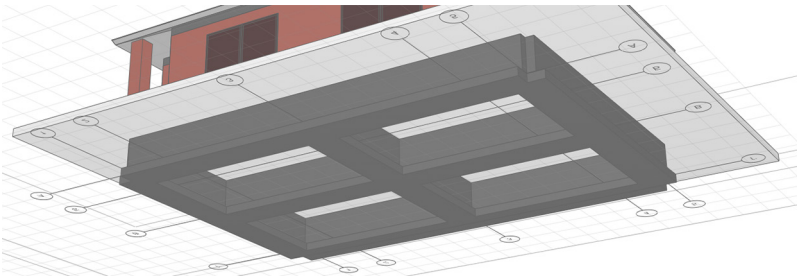


Рис. 5. Отображение 3D-вида фундамента в Renga экспортированного файла из ArchiCAD

На втором этапе были выявлены новые проблемы фундаментальной потери данных, которые лишают полученную в результате конвертации IFC-модель основного преимущества ТИМ: она не может служить достоверным источником для дальнейших этапов проектирования.

На третьем этапе было добавлено больше атрибутивной информации в ЦИМ: обозначены зоны на плане этажа, расставлена мебель, определено оформление листов чертежей.

При конвертации файла из Renga в ArchiCAD на нулевом уровне «зоны» отображаются без обозначения номера комнаты и площади помещения, в книге макетов в разделе АР проект отображается, как пустой лист с рамкой и штампом, а не как оформленный документ А3 «План на отметке ±0.000». При конвертации файла в Renga отмечена ошибка данных: крыша и ни одно из перекрытий не отобразились в модели (рис. 6). В разделе уровней вместо четырех созданных, отображается только три. В обозревателе проекта в разделе «чертежи» отсутствует лист, созданный в ArchiCAD. При переключении между стилями отображения (каркас, монохромный, цветной и текстурированный) мебель теряет цвет и текстуру. На предыдущих этапах подобная проблема не наблюдалась.

На третьем этапе при конвертации IFC-файла в Renga были утеряны плиты перекрытия, крыша, а также искажен ленточный фундамент. Эта ошибка относится к критической потере данных, так как делает модель непригодной для дальнейшей работы.

Таким образом, экспорт IFC-файл не может обеспечить обмен данных между ArchiCAD и Renga без потерь информации [6]. Способ может быть удобен для передачи простых геометрических форм и пространственных решений, лишенных атрибутов. Для совместной работы над цифровой моделью необходимо выбирать единое ПО во избежание деформации элементов и искажения заданных параметров, примеры которых сегодня представлены на рынке [7]. Работа с подобными системами является перспективой данного исследования.

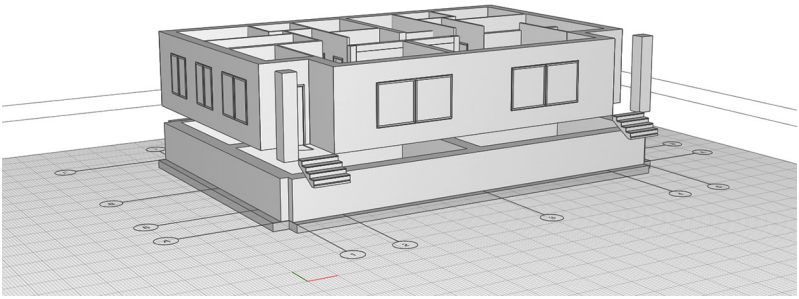


Рис. 6. Отображение 3D-вида в Renga экспортированного файла из ArchiCAD

Литература

1. *Eastman C., Teicholz P., Sacks R., Liston K.* BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors. 2nd ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Ink., 2011. 648 p.

2. BuildingSMART International: What We Do. URL: https://www.buildingsmart.org/about/what-we-do/ (дата обращения: 21.01.2026).

3. *Ларин В.С.* Использование IFC-формата в различных BIM-решениях с возможностью последующей реализации в других программных обеспечениях // Дни студенческой науки : Сб. докл. науч.-техн. конф. М. : Изд-во МИСИ-МГСУ, 2019. С. 559–564. EDN: KWXAGZ.

4. *Райкин Л.И., Райкин И.Л., Мерзляков И.Н., Филинских А.Д., Бойтяков А.А., Бубнов А.В.* Об эффективности обмена информацией между САПР // Universum: технические науки. 2014. № 2(3). С. 4. EDN: RVRSBF.

5. Каталог продукции КНАУФ. URL: https://www.knauf.ru/catalog/ (дата обращения: 21.01.2026).

6. *Криони И.Н.* Обеспечение качества BIM-моделей в автоматизированном проектировании с использованием формата IFC // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2025. № 4(85). С. 56–63. EDN: UHVJJU.

7. Larix – платформа для контроля и управления проектом на всех этапах строительства. URL: https://bim-info.ru/larix/?ysclid=mkjcersyxd475290999/ (дата обращения: 21.01.2026).

УДК 004.94+69.05
DOI: 10.23968/BIMAC.2026.022

Халиуллина Дина Рашитовна, независимый исследователь
(Москва, Россия)
E-mail: mexicosimple@gmail.com, ORCID: 0009-0001-6221-1730

Khaliullina Dina Rashitovna, independent researcher
(Moscow, Russia)

МЕТОДЫ ЦИФРОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ТИМ-ПРОЕКТИРОВАНИЕМ СИСТЕМ ОПОР И КРЕПЛЕНИЙ ОВК НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПОВ ОТВЕТСТВЕННОГО ВЕДЕНИЯ БИЗНЕСА

DIGITAL GOVERNANCE METHODS FOR BIM-BASED DESIGN OF HVAC SUPPORT AND FASTENING SYSTEMS BASED ON RESPONSIBLE BUSINESS PRINCIPLES

В статье представлены методы цифрового управления ТИМ-проектами, основанные на принципах ответственного ведения бизнеса, таких как экологическая, социальная и корпоративная ответственность, на примере координации и моделирования систем опор и креплений для установок отопления, вентиляции и кондиционирования (ОВК). Благодаря четкому распределению ролей в зависимости от квалификации ТИМ-инженеров, единым правилам для всех участников процесса, а также выделению типовых и специфичных узлов крепления и формированию единых поисковых наборов под проект ведущим ТИМ-инженером, становится возможным создание условий для равного доступа к информации и устойчивости проектных процессов. Особенно это актуально при проектировании крупных объектов со сложной инженерной инфраструктурой, таких как высотные здания и центры обработки данных. Представленный подход демонстрирует возможность практического внедрения принципов устойчивого развития в формирование эффективных подразделений ТИМ-проектирования, где процессы не зависят от отдельных специалистов, обеспечена взаимозаменяемость ТИМ-инженеров и закреплена ответственность менеджера проекта за внесение изменений.

Ключевые слова: ТИМ-проектирование, цифровое управление, принципы ответственного ведения бизнеса, системы опор и креплений ОВК, оптимизация инженерных процессов.

The article presents methods of digital governance of Building Information Modeling (BIM) projects based on the principles of responsible business conduct, such as Environmental, Social, and Governance (ESG), using the example of coordination and modeling of support and fastening systems for Heating, Ventilation and Air Conditioning (HVAC) installations. Due to the clear distribution of roles depending on the qualification of BIM engineers, unified

rules for all participants, as well as the identification of typical and specific fastening supports and the creation of unified project search sets by the BIM lead engineer, it becomes possible to ensure equal access to information and maintain the sustainability of project workflows. This is especially relevant for the design of large facilities with complex engineering infrastructure, such as high-rise buildings and data centers. The proposed approach demonstrates the possibility of practical implementation of sustainable development principles in the formation of efficient BIM design departments, where processes do not depend on individual specialists, BIM engineers can be reassigned between projects, and the project manager's responsibility for changes is clearly defined.

Keywords: BIM governance, responsible business principles, HVAC support systems, digital project management, engineering workflow optimization.

Введение. При создании ТИМ-чертежей и последующем моделировании систем опор и креплений для ОВК часто возникают организационно-экономические вопросы, связанные с определением сроков выполнения работ, численности команды, затрат рабочего времени и оплаты труда [1]. Компания стремится сократить расходы, ускорить процессы принятия решений и контролировать затраты на изменения в проекте из-за ошибок работников и требований клиента.

Дополнительные сложности возникают при различном уровне компетенций ТИМ-инженеров (выполняющие расчёт и разработку узлов) и ТИМ-моделлеров (осуществляющие трёхмерное моделирование по разработанным решениям), текучести кадров и отсутствии постоянного технического куратора. На практике это приводит к пропуску сложных участков, накоплению задач и перегрузке ведущих ТИМ-инженеров, которые одновременно выполняют проектные и обучающие функции.

В результате в стандартном ТИМ-проекте часто отсутствует четкое распределение ролей и ответственности, что снижает эффективность команд, ухудшает условия труда, повышает риск эмоционального выгорания и уменьшает прозрачность бизнес-процессов [2]. Поэтому целью данной статьи является представление методов цифрового управления технически сложными ТИМ-проектами по разработке опор ОВК на основе принципов экологической, социальной и корпоративной ответственности.

Модель разграничения областей ответственности. Одной из самых важных задач до начала проекта является анализ для разделения зон ответственностей между ТИМ-инженерами согласно релевантному опыту.

Для высотных зданий технически сложными являются индивидуальные тепловые пункты (ИТП), насосные, стилобат и технические этажи, для промышленных зданий это группы помещений с оборудованием, где много коммуникаций, температурных труб, кабельных лотков, вентиляции и противопожарных труб. Обычные типовые этажи в высотных зданиях можно выполнить копированием основных узлов крепления.

Получается, можно выделить специфичные опоры крепления, когда ТИМ-инженеру нужно запроектировать узлы крепления ОВК под коммуникации, сделать расчет и создать файл с указаниями для моделлеров, и основные узлы крепления – типовые, которые были рассчитаны ранее и обычно содержатся в каталогах производителей монтажных систем [3].

Из этого следует, что вся работа ТИМ-инженеров может быть распределена так:

– начинающий ТИМ-инженер выполняет проектирование для крепления ОВК на этажах, применяя типовые узлы из каталога производителя монтажных систем, либо согласно разработанному буклету проекта;

– ТИМ-инженер ведет работы в ИТП, насосных, технических помещениях, где необходимо выполнять расчеты опор, сделать понятные инструкции для моделлеров при работе трехмерными опорами;

– ведущий ТИМ-инженер занимается анализом участков проекта и распределением задач между ТИМ-инженерами в зависимости от их квалификации, в задаче он указывает пожелания клиента к опорам крепления ОВК и другие важные сведения, например зоны с повышенными требованиями пожарной безопасности (эвакуационные пути и выходы). Его основная работа не проектирование, а проверка качества проектных работ, а после – правильности моделирования.

Базовое руководство по типовым проектным решениям. Основные решения для узлов крепления ОВК обычно представлены в каталогах производителей монтажных систем, где указаны точечные нагрузки для труб и равномерно распределенные нагрузки для воздуховодов, для которых определены подходящие сечения профилей, например, для траверс. На данном этапе у многих производителей уже разработаны и внедрены типовые узлы крепления для ТИМ-проектирования, у других есть внутренние каталоги наиболее повторяющихся решений, и моделлеры могут напрямую ими воспользоваться без помощи инженеров.

Согласно принципу управляемости необходимо, чтобы ведущий ТИМ-инженер еще до начала основного проектирования разработал буклет под проект, использовав типовые узлы, удалив из него лишнее и добавив повторяющиеся решения. Например, это может быть трехмерный узел крепления, когда сверху проходят несколько воздуховодов, а внизу от одной до пяти труб, или повторяющиеся узлы, когда несколько кабельных лотков соседствуют с трубами.

Необходимо учитывать потребности клиента и узнать, какие именно решения он ожидает, например, предпочитает трехмерные узлы крепления или же каждая система должна быть закреплена отдельно, а также какие зоны предполагается выполнять стандартными узлами крепления, и тогда эту задачу можно распределить на начинающего ТИМ-инженера.

Все это повышает управляемость проекта и позволяет лучше понимать и документировать процессы.

Унифицированные поисковые наборы для междисциплинарной координации. В современном проектировании опор систем ОВК для зданий и сооружений бывает полезно еще до начала проектирования обозначить поисковые наборы. В зависимости от особенностей проекта можно выделить виды конструкций, например, несущие стены, фальшполы и фальшпотолки, металлоконструкции, композитные оболочки, фасады. Для проекта также можно отдельно выделить виды применяемых труб, их температуру для последующего расчета термического расширения труб (рис. 1), вентиляцию и противодымную вентиляцию, виды изоляции для труб. Работая с одинаковыми поисковыми наборами на проекте, даже новые ТИМ-инженеры могут оценить объем работ [3].

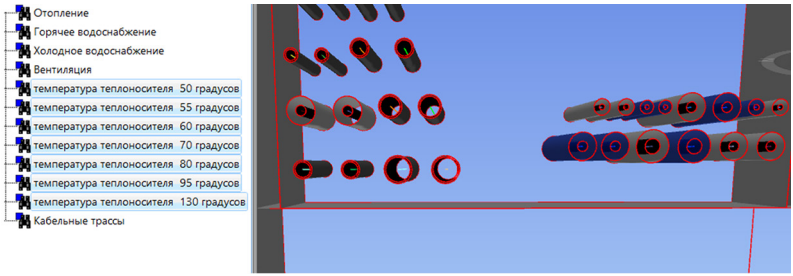


Рис. 1. Пример поисковых наборов для координации проекта
(выделены трубы с температурой теплоносителя от +50 °С до +130 °С)

Используя данные инструменты, можно выделить только систему отопления и выполненные узлы для этой системы и проверить визуально, не пропущены ли узлы крепления, соблюдены ли расстояния между ними.

Введение ключевых показателей эффективности для менеджера проекта. В классическом варианте ТИМ-проекта очень часто нагрузка и ответственность спускается сверху вниз, особенно когда менеджеры на первоначальных этапах начинают обещать невозможное по срокам выполнения и не договариваются с клиентом о грядущих изменениях [4]. В связи с этим большим испытанием становится нанять действительно опытных менеджеров проектов с пониманием основ классического управления проектами и технической части. Поэтому необходимо ввести Ключевые Показатели Эффективности для расчета оплаты труда, когда часть является переменным бонусом [5].

Переменный бонус рассчитывается согласно формулам (1) – (3) и основан на изменениях в проекте, которые произошли из-за неправильного согласования времени начала работы над зоной по вине менеджера проекта. Чем

больше изменений в проекте, тем меньше бонус, потому что переделки приводят к удорожанию ТИМ-отдела для собственника бизнеса:

$$\text{ПБ} = 0 \cdot \text{Б}, \text{ если ПИ} > 30\ \%, \quad (1)$$

$$\text{ПБ} = 0{,}5 \cdot \text{Б}, \text{ если } 10\ \% < \text{ПИ} \le 30\ \%, \quad (2)$$

$$\text{ПБ} = 1 \cdot \text{Б}, \text{ если ПИ} \le 10\ \%, \quad (3)$$

где ПБ – рассчитанный переменный бонус за год, руб.; Б – максимально возможный бонус за год, руб.; ПИ – процент внесённых изменений из-за управленческих ошибок менеджера, который рассчитывается по формуле (4):

$$\text{ПИ} = \left(N_{\text{изм}} / N\right) \cdot 100\ \%, \quad (4)$$

где $N_{\text{изм}}$ – количество задач, которые необходимо переделать из-за ошибок менеджера; N – все задачи проекта.

Если за отчётный период выполнено 1200 задач (N = 1200), из них 180 потребовали переделки по вине менеджера проекта ($N_{\text{изм}}$ = 180), тогда:

$$\text{ПИ} = \left(180 / 1200\right) \cdot 100\ \% = 15\ \%.$$

При максимально возможном бонусе Б = 200 000 руб. переменный бонус составит:

$$\text{ПБ} = 0{,}5 \cdot 200\,000 = 100\,000 \text{ руб.}$$

При оценке изменений учитываются только те корректировки, которые возникли вследствие управленческих ошибок, например, несвоевременного согласования начала работ по проекту или отдельному участку, когда клиент ещё не готов предоставить исходные данные, однако работы запускаются преждевременно.

Заключение. Описанные методы можно применять одновременно или выбирать те, которые актуальны для конкретного проекта, после анализа и понимания его особенностей ведущим ТИМ-инженером. Применение данных методов позволяет решить следующие задачи:

– экономия времени при взаимодействии с командой, распределение нагрузки согласно квалификации, унифицированные поисковые наборы и буклет типовых решений для всех участников процесса;

– упрощённая адаптация сотрудников, возможность добавить в проект нового моделлера или ТИМ-инженера без увеличения сроков выполнения проекта;

– улучшение командной работы, каждый знает, что необходимо выполнить, отсутствует дублирование функций;

– экономия времени и затрат за счёт оптимизации процессов и распределения задач в соответствии с компетенциями участников, что повышает устойчивость проекта к изменениям;

– экологичное ведение бизнеса, снижение перегрузки ведущего ТИМ-инженера и введение персональной ответственности менеджера проекта за изменения.

В итоге структура работы в проекте остаётся прозрачной и подотчётной, система управления позволяет быстро реагировать на изменения проекта, создаёт безопасную и устойчивую среду, а также позволяет сократить расходы компании за счёт снижения временных затрат каждого участника.

Литература

1. *Талапов В.В.* Основы BIM. Введение в информационное моделирование зданий. Саратов : Профобразование, 2017. 392 с. EDN: ZGKAKN.

2. *Eastman C., Teicholz P., Sacks R., Liston K.* BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers. 3rd ed. Hoboken: Wiley, 2018. 688 p. DOI: 10.1002/9781119287568.

3. *Seyis S., Özkan S.* Analyzing the added value of common data environments for organizational and project performance of BIM-based projects // Journal of Information Technology in Construction. 2024. Vol. 29. P. 247–263. DOI: 10.36680/j.itcon.2024.012. EDN: KOEWBF.

4. *Бородкин М.Ю., Шлеенко А.В.* Применение системы KPI в строительстве // Современные перспективы развития гибких производственных систем в промышленном, гражданском строительстве и агропромышленном комплексе. Курск, 2023. С. 158–162. EDN: VCYFQJ.

5. *Bigwanto A., Widayati N., Wibowo M.A., Sari E.M.* Key Performance Indicators (KPI) to Measure Effectiveness of Lean Construction in Indonesian Project // Sustainability. 2024. Vol. 16, No. 15. P. 6461. DOI: 10.3390/su16156461. EDN: XTGZIH.

ДОКЛАДЫ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

УДК 004.94
DOI: 10.23968/BIMAC.2026.023

Байдина Ирина Александровна, магистрант
(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)
E-mail: baidinairina@list.ru, ORCID: 0009-0000-0524-3341

Baidina Irina Alexandrovna, Master's degree student
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

СРАВНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ РАЗРАБОТЧИКА В ЗАРУБЕЖНЫХ И ОТЕЧЕСТВЕННЫХ СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

COMPARISON OF DEVELOPER TOOLS IN FOREIGN AND DOMESTIC AUTOMATED DESIGN SYSTEMS

В статье приводится сравнительный анализ средств автоматизации и возможностей прикладных программных интерфейсов (API) в зарубежном и отечественном программном обеспечении для моделирования в строительстве. Анализируется экосистема плагинов Autodesk Revit, включая Revit Lookup. Указаны отличительные черты и ограничения отечественного ПО nanoCAD BIM Строительство и Renga, например, более высокая фрагментарность документации по сравнению с зарубежными аналогами. Обоснована актуальность автоматизации процесса работы с API для отечественных программных комплексов, описан процесс разработки плагина для интерактивного анализа структуры модели на базе nanoCAD BIM Строительство.
Ключевые слова: Revit API, nanoCAD, строительство, плагины, ТИМ.

The article provides a comparative analysis of automation tools and application program interfaces (APIs) in foreign and domestic software for construction modeling. The article analyzes the ecosystem of Autodesk Revit plugins, including Revit Lookup. The article highlights the distinctive features and limitations of domestic software nanoCAD BIM Construction and Renga, such as the higher fragmentation of documentation compared to foreign counterparts. The article substantiates the relevance of automating the API process for domestic software systems and describes the process of developing a plugin for interactive analysis of model structure based on nanoCAD BIM Construction.
Keywords: Revit API, nanoCAD, construction, plug-ins, BIM.

На современном этапе развития строительной отрасли количество организаций, применяющих в проектировании методы информационного моделирования, неуклонно растет. Переход обусловлен необходимостью повышения

качества и наполненности проектной документации, сокращения сроков проектирования, минимизации ошибок, а также повышения прозрачности процессов капитального строительства.

Несмотря на совершенствование программного обеспечения, стандартный функционал большинства программных комплексов для информационного моделирования зачастую не в полной мере удовлетворяет специфические требования проектировщиков. В частности, это проявляется при выполнении нестандартных расчётов и интеграции проектных решений с нормативной и расчётной базой. В подобных условиях возрастает роль включения в процесс моделирования дополнительных пользовательских инструментов и методов автоматизации для адаптации программных комплексов к локальным задачам: плагинов, скриптов, макросов и других программных инструментов, расширяющих базовые возможности программ для моделирования.

В течение продолжительного периода российский рынок информационного моделирования в строительстве был ориентирован преимущественно на работу с зарубежным программным обеспечением, в частности ПО Autodesk Revit. Это способствовало формированию развитой экосистемы средств автоматизации, ориентированной на широкий круг специалистов – от конечных пользователей до разработчиков. В рамках данной экосистемы получили широкое распространение инструменты визуального программирования Dynamo, интеграция Python с Dynamo.

Существенный вклад в развитие среды разработчиков под Autodesk Revit внесло появление инструмента Revit Lookup, который закрепился в качестве стандартного вспомогательного средства для создателей плагинов. Revit Lookup представляет собой плагин, предназначенный для интроспекции объектной модели Revit через API [1]. Он позволяет непосредственно в информационной модели в интерактивном режиме исследовать элементы, просматривать их свойства, параметры, типы данных, названия категорий и классов из API (рис. 1).

Ключевые функции Revit Lookup:

1) просмотр структуры объектов Revit и их иерархии классов;
2) получение списка доступных свойств и параметров элемента;
3) анализ типов данных и способов доступа к ним через API;
4) исследование связей между элементами и документом;
5) интерактивный выбор элементов непосредственно из модели.

Использование плагина Revit Lookup позволяет минимизировать время на освоение API, существенно упрощает процесс разработки пользовательских расширений [2, 3]. В сообществе разработчиков этот инструмент приобрёл статус фактического стандарта и используется, как правило, на начальном этапе разработки для анализа элементов и определения логики взаимодействия с ними. Функционально Revit Lookup ориентирован преимущественно на разработчиков и не охватывает прикладные задачи проектирования.

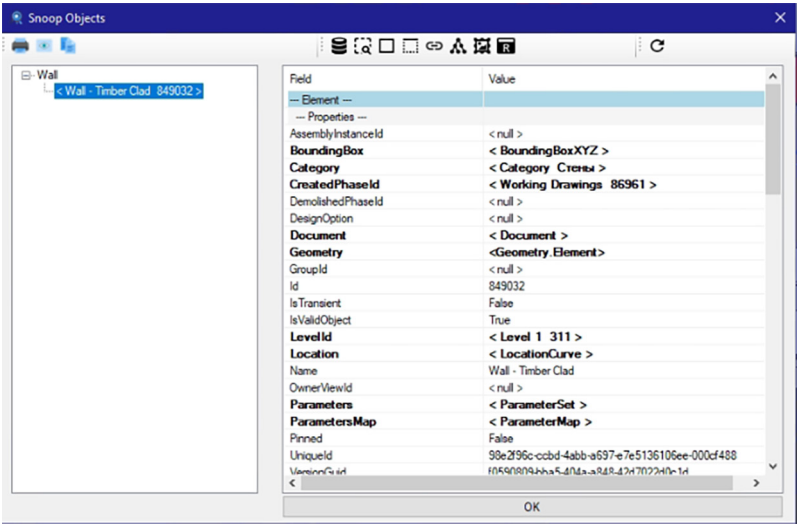


Рис. 1. Пользовательская форма Revit Lookup

В отечественном программном обеспечении для информационного моделирования, в частности в nanoCAD BIM Строительство, аналогичная экосистема средств автоматизации на текущий момент практически отсутствует. Ключевым барьером при создании надстроек является недостаточная проработанность комплекта средств разработки (SDK). Документация по API носит фрагментарный характер, а доступные примеры зачастую не соответствуют реальным проектным задачам. Например, в API nanoCAD BIM Строительство для метода «GetHoleContours» полностью отсутствует описание и примеры использования (рис. 2). Вследствие этого разработчики вынуждены затрачивать значительное количество времени на экспериментальное изучение структуры модели, подбор методов и анализ поведения элементов [4].

Немаловажным ограничивающим обстоятельством является малый срок активной эксплуатации отечественного программного обеспечения в проектной деятельности. Вследствие этого спектр доступных макросов и скриптов остается крайне узким. В частности, такие средства ускорения моделирования как ModPlus и BIM STEP доступны лишь в экосистеме Revit, а среды визуального программирования, аналогичные Dynamo, например NVP, не получили широкого распространения и не стали массовым инструментом проектировщиков вследствие достаточно ограниченного функционала. В такой ситуации разработка нативных плагинов на основе API становится основным и наиболее перспективным способом автоматизации проектных процессов.

В качестве примера достаточно проработанного подхода можно отметить Renga API, которое предоставляет целостную модель данных и удобные механизмы взаимодействия с элементами модели в программном обеспечении [5, 6]. Однако, даже при наличии подобного API, разработка пользовательских расширений требует детальной работы с технической документацией и глубокого понимания структуры модели.

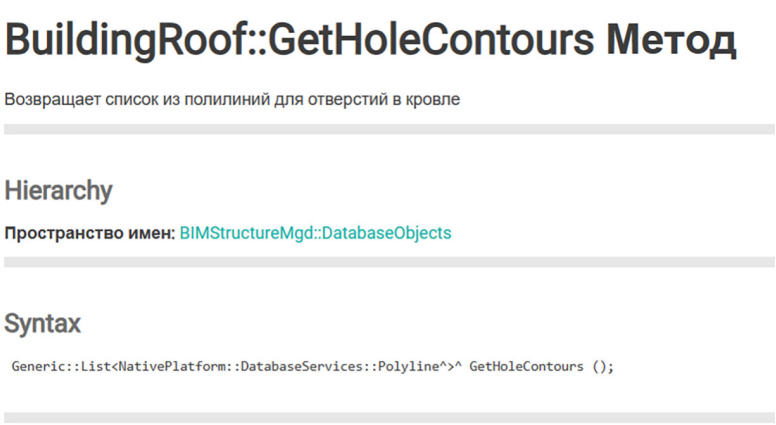


Рис. 2. Пример описания метода «GetHoleContours» в API nanoCAD BIM Строительство

В отечественном сегменте BIM рассматривались два программных продукта – Renga и nanoCAD BIM Строительство. Оба решения предоставляют доступ к API и поддерживают разработку пользовательских расширений, что делает выбор платформы для реализации инструмента интроспекции неочевидным.

Несмотря на то что Renga API характеризуется целостной моделью данных и достаточно структурированной документацией, выбор в рамках настоящего исследования был сделан в пользу nanoCAD BIM Строительство. Данное решение обусловлено несколькими факторами.

В nanoCAD BIM Строительство экосистема инструментов поддержки разработчиков находится на более ранней стадии формирования. Отсутствие полноценных средств интроспекции и ограниченность примеров работы с API создают объективную потребность в специализированном инструменте, ориентированном на изучение структуры модели.

Фрагментарность комплекта разработки (SDK/CDK) и неполнота документации в nanoCAD BIM Строительство приводят к значительным временным затратам при анализе атрибутов и связей элементов. В этих условиях создание вспомогательного плагина имеет не только практическую, но и методическую значимость, поскольку направлено на формирование базовых инструментов среды разработки.

В связи с обозначенными проблемами была сформулирована цель исследования – разработка методики и программного инструментария для автоматизации извлечения и анализа атрибутивных данных из информационной модели здания с целью повышения эффективности работы проектировщиков и разработчиков плагинов.

Для достижения поставленной цели определены следующие задачи:

1. Провести сравнительный анализ существующих инструментов интроспекции элементов в BIM-средах и оценить возможности комплекта разработки (SDK) nanoCAD BIM Строительство для реализации аналогичного функционала.

2. Разработать принципы взаимодействия и пользовательские сценарии (use cases) плагина для просмотра информации об элементах с использованием архитектурного паттерна Model – View – ViewModel (MVVM).

3. Реализовать программный модуль с графическим интерфейсом на базе WPF, обеспечивающий интерактивный выбор элементов модели и иерархическое отображение их свойств, параметров и геометрических характеристик.

В рамках реализации поставленных задач разработан плагин для nanoCAD BIM Строительство, концептуально наследующий подход Revit Lookup и ориентированный на интерактивную интроспекцию элементов трёхмерной информационной модели. Плагин обеспечивает отображение идентификатора элемента, его глобальных координат, наименования, категории и принадлежности к API-классу, что существенно упрощает анализ структуры модели и ускоряет разработку последующих автоматизированных решений.

В качестве основного инструмента реализации выбран вариант разработки нативного плагина в среде Visual Studio с использованием графического пользовательского интерфейса на базе WPF и архитектурного паттерна MVVM. Применение WPF в сочетании с MVVM позволило структурировать код, уменьшить объём вспомогательной логики и ускорить процесс создания и доработки плагина.

На текущей стадии разработки сформирован пользовательский интерфейс и обеспечен вывод базовых параметров элементов модели (рис. 3). Последующие этапы предполагают наращивание функциональных возможностей плагина с целью углублённого анализа свойств, методов и связей объектов информационной модели.

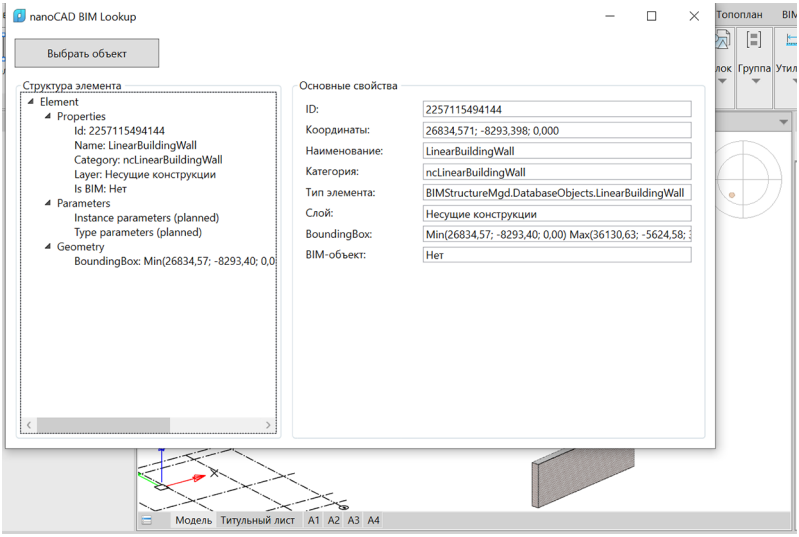


Рис. 3. Пользовательская форма разработанного плагина на текущей стадии

Выполненный в рамках настоящего исследования анализ показал, что, несмотря на поступательное развитие отечественных платформ для создания информационных моделей, экосистема средств автоматизации в таких решениях, как nanoCAD BIM Строительство, находится на начальном этапе формирования. Существенными сдерживающими факторами являются фрагментарность комплекта разработки (SDK), недостаточная полнота API-документации и ограниченное количество практико-ориентированных примеров, что приводит к значительным временным затратам при создании пользовательских расширений. В сложившихся условиях перспективным направлением представляется разработка инструментов ориентированных не на решение прикладных проектных задач, а на поддержку самого процесса освоения API и отладки плагинов.

Разработанный инструмент обеспечит возможности интерактивного анализа ключевых параметров элементов информационной модели, включая идентификатор, глобальные координаты, наименование, категорию и принадлежность к API-классам. На текущем этапе реализованы интерфейсная часть плагина и функция отображения базовых параметров элементов модели. В дальнейшем планируется расширение функционала инструмента в части детального анализа свойств, а также адаптация предложенного подхода к другим отечественным программным комплексам. Применение плагина позволит значительно сократить время, затрачиваемое на разработку

документации специальных надстроек для программного обеспечения для моделирования.

Литература

1. *Полюхова М.А.* Программирование с помощью Revit API // Новые информационные технологии в архитектуре и строительстве : Мат-лы II Всерос. науч.-практ. конф. Екатеринбург : УрГАХУ, 2019. С. 36. EDN: OTYXLK.

2. *Мазняк Е.В.* Метод автоматизации процесса проектирования рядовых посадок растений в ландшафтном проекте для Autodesk Revit // Информационное моделирование в задачах строительства и архитектуры : Мат-лы VII Междунар. науч.-практ. конф. ; под общ. ред. А.А. Семенова. Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2024. С. 356–362. DOI: 10.23968/BIMAC.2024.048. EDN: LCHXXK.

3. *Тумарева В.С., Козунова О.В.* Исследование среды визуального программирования на примере различных информационных моделей зданий в Autodesk Revit // Актуальные аспекты и приоритетные направления развития транспортной отрасли : Мат-лы молод. науч. форума студ. и асп. транспортных вузов с междунар. участием М. : Перо, 2019. С. 233–237. EDN: GECABN.

4. *Бурбанов И.Д., Ященко В.П.* Существующие возможности автоматизации процессов при использовании технологий информационного моделирования на примере отечественного ПО // Инвестиции. Строительство. Недвижимость: новые технологии и целевые приоритеты развития – 2023: Мат-лы V Междунар. науч.-практ. конф. Иркутск : ИрНИТУ, 2023. С. 76–81. EDN: VLYKKC.

5. *Рыбакова А.О., Пятков Д.А.* Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2025664794 РФ «Программа управления активацией скриптов в Renga». НИУ МГСУ, 06.06.2025. EDN: NIDQWT.

6. *Серов И.И., Томчинская Т.Н., Филинских А.Д.* Renga API в задачах передачи данных между средами информационного моделирования // КОГРАФ-2024 : сб. матлов 34-й Всерос. молод. научно-практ. конф. по графическим информационным технологиям и системам. Нижний Новгород : НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2024. С. 109–117. EDN: HLYRIJ.

УДК 69:004.9
DOI: 10.23968/BIMAC.2026.024

Васильевская Вера Николаевна, магистрант
(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)
E-mail: veravasiljevskaya@yandex.ru, ORCID: 0009-0001-9779-1042

Vasilevskaya Vera Nikolaevna, Master's degree student
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)

ФОРМИРОВАНИЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

FORMATION OF AS-BUILT DOCUMENTATION IN CONSTRUCTION BASED ON BUILDING INFORMATION MODELING

В статье анализируется цифровизация процесса формирования исполнительной документации (ИД) в строительстве с использованием технологий информационного моделирования (ТИМ). Рассматриваются современные технологические тренды и научные разработки в их взаимосвязи, включая интеграцию ТИМ с облачными платформами, применение 4D-моделирования. Проанализированы преимущества внедрения цифровых форматов ведения ИД, включая уменьшение ошибок, ускорение процессов формирования и проверки, обеспечение совместной работы нескольких участников. Выявлены системные проблемы внедрения цифровизации, такие как технические, нормативные и организационные. Представленные результаты подтверждают необходимость цифровизации ИД как важного этапа развития отрасли.

Ключевые слова: исполнительная документация, технология информационного моделирования (ТИМ), строительный контроль, 4D-моделирование, цифровизация строительства, сквозное цифровое формирование, автоматизация документооборота.

In the article the digitalization of the process of forming as-built documentation (ABD) in construction using Building Information Modeling (BIM) technologies is analyzed. It examines modern technological trends and scientific developments in their interrelation, including the integration of BIM with cloud platform and the application of 4D modeling. The advantages of implementing digital formats for managing ABD are analyzed, including reducing errors, accelerating of formation and verification processes, and enabling collaboration among multiple project participants. Systemic challenges of digitalization implementation are identified, such as technical, regulatory, and organizational limitations. The results presented confirm the necessity of digitalization of ABD as an important stage in the industry`s development.

Keywords: as-built documentation, Building Information Modeling (BIM), construction control, 4D modeling, digitalization of construction, end-to-end digital formation, automation of document flow.

Современная строительная отрасль характеризуется активным процессом цифровизации, ключевым элементом которой является внедрение технологии информационного моделирования. Особую актуальность приобретает задача перехода от традиционного бумажного документооборота к цифровому формированию ИД.

Анализ современных исследований [1–6] показывает растущий интерес к цифровизации ИД, но при этом предложенные решения охватывают отдельные задачи, не объединенные в целостную систему. Ряд исследований [1, 7] доказывает экономическую и технологическую целесообразность перехода на цифровой формат. Исследования [3] описывают общие предпосылки цифровизации строительного комплекса и внедрения ТИМ. Однако вопросы практической реализации сквозного цифрового формирования ИД остаются недостаточно изученными.

Исследования, сфокусированные на отдельных аспектах, таких как электронный документооборот [6, 8], 4D-моделирование [2], ТИМ при экспертизах [4] предлагают перспективные, но узкоспециализированные решения. Вследствие этого формирование единой методологии для комплексного внедрения цифровизации не представляется возможным.

Таким образом, несмотря на теоретические преимущества внедрения цифровизации и выявление отдельных системных барьеров [5], на практике отсутствует комплексный подход к ее реализации.

Цель данной статьи – выявить ключевые аспекты перехода к сквозному цифровому формированию ИД на основе ТИМ и предложить рекомендации по оптимизации соответствующих процессов.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

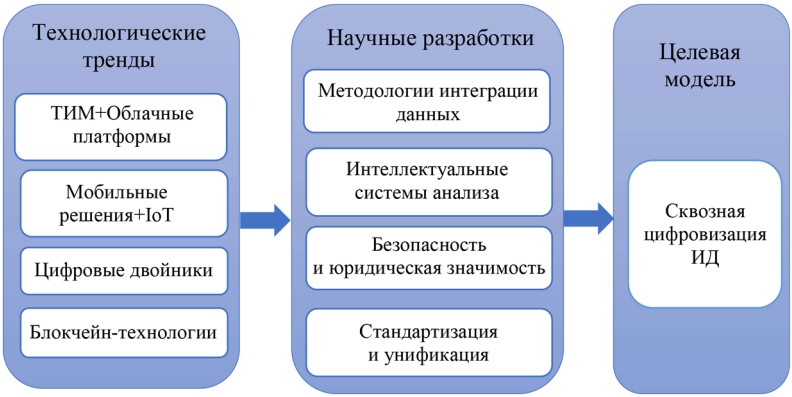
1. Провести критический анализ современных научных разработок и технологических трендов в области цифрового формирования ИД.

2. Выявить и систематизировать возможности и ограничения сквозной цифровизации ИД.

3. Оценить эффективность внедрения цифровизации исполнительной документации на основе количественного анализа.

В работе применен систематический анализ научных публикаций, сравнительный анализ теоретических и практических методов ведения ИД, обзор решений в практических кейсах в сфере цифровизации строительных проектов, описание современных ТИМ для сквозного цифрового документооборота.

В результате применения методов исследования сформирована структура технологических трендов и научных разработок, определяющих развитие цифровизации ИД. Результаты систематизации представлены на рисунке.



Взаимосвязь технологических трендов и научных разработок в области цифровизации исполнительной документации

Представленная структура содержит следующие компоненты:

Технологические тренды:

– ТИМ+Облачные платформы: создание единого информационного пространства для совместной работы над проектом в режиме реального времени.

– Мобильные решения+IoT (Internet of Things – Интернет вещей): использование мобильных устройств и сетей датчиков для автоматизированного сбора данных на стройплощадке.

– Цифровые двойники: создание динамической виртуальной копии физического объекта, которая обновляется в реальном времени.

– Блокчейн-технологии: применение распределенного реестра для обеспечения неизменяемости и защищенности записей.

Научные разработки:

– Методологии интеграции данных: научные подходы к объединению информации из разнородных источников.

– Интеллектуальные системы анализа: применение искусственного интеллекта и машинного обучения для обработки данных.

– Безопасность и юридическая значимость: обеспечение защищенности и правового статуса документов.

– Стандартизация и унификация: разработка единых отраслевых стандартов и классификаторов.

Целевая модель:

– Сквозная цифровизация ИД: полный переход на цифровое формирование, проверку и хранение ИД на основе ТИМ-модели.

Технологические тренды формируют практическую основу, научные разработки создают методологическое обеспечение, а их интеграция обеспечивает

достижение целевой модели сквозной цифровизации. Сформированная структура подчеркивает целостный характер цифровой трансформации, где технологические решения и научные исследования взаимно дополняют друг друга.

В рамках решения второй задачи исследования проведена оценка практического потенциала и ограничений выявленных технологических трендов и научных разработок. Результаты сравнительного анализа представлены в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительный анализ возможностей и ограничений цифровизации исполнительной документации

Критерий оценки	Возможности	Ограничения
Данные и информационное обеспечение	– Единое информационное пространство на основе ТИМ-модели – Повышение достоверности и актуальности данных – Фиксация и история всех изменений	– Сложность интеграции с существующими системами – Несовместимость форматов данных между различными программами – Отсутствие единых стандартов обмена информацией
Технологические решения	– Автоматизация процессов согласования – Внедрение сквозного цифрового документооборота – Интеграция со смежными системами (4D-моделирование)	– Высокие первоначальные капиталовложения – Стратегическая зависимость от выбранной платформы – Необходимость постоянных инвестиций на техническую поддержку и обновления
Нормативное регулирование	– Развитие единых отраслевых стандартов цифрового взаимодействия – Установление четких процедур электронного документооборота	– Законодательные пробелы в регулировании – Проблемы юридической силы электронных документов – Отсутствие комплексного нормативного регулирования сквозной цифровизации
Организационные решения	– Полный контроль на всех этапах работ – Улучшение взаимодействия между участниками проекта – Принятие четких управленческих решений на основе актуальных данных	– Неготовность персонала к организационным изменениям – Высокие затраты на обучение сотрудников – Разобщенность участников проекта

Для подтверждения экономической целесообразности перехода к цифровым технологиям формирования ИД проведен анализ фактических показателей эффективности на основе данных отраслевых исследований [9–10]. Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

Анализ показателей эффективности внедрения цифровизации

Показатель	Результат
Уменьшение времени формирования ИД	25–30 %
Снижение количества ошибок в ИД	25–40 %
Снижение трудозатрат на подготовку ИД	20–35 %
Степень автоматизации процессов	60–70 %
Сокращение сроков строительства	до 20 %

Представленные показатели являются ориентировочными и основаны на анализе литературы, конкретные значения могут варьироваться в зависимости от условий реализации проекта.

Анализ фактических данных подтверждает значительный потенциал повышения эффективности процессов формирования ИД при сквозном цифровом процессе.

По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. В настоящее время лидирующими технологическими трендами становятся решения, основанные на интеграции ТИМ и облачных сервисов в единую платформу для обеспечения комплексного управления строительными процессами.

2. Анализ эффективности внедрения цифровых технологий, проведенный на основе обзора отраслевых исследований и собранных данных, подтвердил возможность сокращения времени формирования ИД на 25-30 % при сокращении количества ошибок на 25-40 %.

3. Перспективным направлением дальнейшей работы представляется разработка комплексной методологии автоматизированного формирования ИД на основе ТИМ-моделирования, включающую практические рекомендации для строительных компаний.

Литература

1. *Артёменко Д.В., Хитров В.В.* Актуальность ведения исполнительной документации в цифровом виде // Вестник евразийской науки. 2023. Т. 15, № 3. С. 16. EDN: CJSIRR.

2. *Крюков К.М.* Оценка преимуществ и проблем внедрения 4D-моделирования в строительстве // Современные тенденции в строительстве, градостроительстве

и планировке территорий. 2025. Т. 4, № 2. С. 75–84. DOI: 10.23947/2949-1835-2025-4-2-75-84. EDN: DTRROH.

3. *Гилязов И.Р., Новоселов А.В.* Анализ возможностей цифровизации строительного комплекса для совершенствования ведения исполнительной документации // Современное строительство и архитектура. 2024. № 2(45). С. 2. DOI: 10.18454/mca.2024.45.1. EDN: ELNLQX.

4. *Жариков И.С., Давиденко П.В.* Эффективное использование BIM-технологий при проведении строительно-технических экспертиз // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2018. № 1. С. 42–48. DOI: 10.12737/article_5a5dbd319b19d1.27724576. EDN: YNSCMC.

5. *Зонова А.Н., Батуева М.И., Алексеева Н.А.* Преимущества и недостатки при подготовке и формировании цифровой исполнительной документации в строительстве // Вектор экономики. 2025. № 2(104). С. 27. EDN: MCTZBX.

6. *Коптяев В.А.* Обоснование внедрения электронного документооборота с целью усовершенствования подготовки и ведения исполнительной документации // Экономика и бизнес: теория и практика. 2023. № 11-2(105). С. 68–72. DOI: 10.24412/2411-0450-2023-11-2-68-72. EDN: PCSSNA.

7. *Гугушкин В.Е., Пиотрович А.А.* Актуальность ведения исполнительной документации в цифровом виде // Актуальные вопросы строительства на Дальнем Востоке России : Мат-лы науч.-практ. конф. Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2025. С. 28–33. EDN: ZOVVTA.

8. *Ивкина Е.В.* Преимущества и недостатки внедрения цифрового документооборота при ведении исполнительной документации // Молодой ученый. 2024. № 19(518). С. 291–294. EDN: GCUYPM.

9. *Сташевская Н.А., Орлов Ф.Д., Крахин Д.Р., Палкин Р.С.* Развитие технологий информационного моделирования в России // Инженерный вестник Дона. 2024. № 11(119). С. 1–21. EDN: HQAWCP.

10. Отчет «Оценка применения BIM-технологий в строительстве». М., 2016. URL: http://nopriz.ru/upload/iblock/2cc/4.7_bim_rf_otchot.pdf/ (дата обращения: 21.11.2025).

УДК 624.21/.8
DOI: 10.23968/BIMAC.2026.025

Зобова Мария Александровна, студент
(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)
E-mail: masha.zobova12@gmail.com, ORCID: 0009-0000-0271-0071

Zobova Marie Aleksandrovna, student
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТИМ НА ВСЕХ ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА МОСТОВОГО СООРУЖЕНИЯ

PRACTICAL IMPLEMENTATION OF BRIM TECHNOLOGIES DURING BRIDGE LIFE CYCLE

В работе приведены возможности использования ТИМ на разных этапах жизненного цикла мостового сооружения. Рассмотрены стадия проекта (П), стадия формирования рабочей документации (Р) и стадия эксплуатации. Представлены информационные модели сооружений разной длины: средней и большой – для репрезентации использования инструмента на стадии П. Применение на стадии Р показано на примере разработки рабочих чертежей искусственного сооружения и специальных вспомогательных сооружений и устройств (СВСиУ). На стадии эксплуатации представлено два метода использования BrIM (Bridge Information Modeling), как основы для хранения информации о состоянии конструкций и как основа для проведения анализа высотного положения точек сооружения с помощью применения лазерного сканирования. В заключение описаны положительные и отрицательные аспекты применения BIM в сфере проектирования, строительства и эксплуатации мостов.

Ключевые слова: BIM, ТИМ, BrIM, информационная модель, мост.

This paper examines the potential applications of information modeling at various stages of a bridge structure's lifecycle. The design stage, the development of working documentation, and the operational stage are all considered. Information models of structures of varying lengths – small, medium, and large – are presented to demonstrate the tool's application at the design ("P") stage. The use of information modeling at the working documentation ("R") stage is illustrated through the development of detailed drawings for main and secondary structures. At the operational stage, two methods of model utilization are highlighted: as a foundation for storing data on the condition of structural elements and as a basis for analyzing the vertical positioning of structural points using point cloud technology. In conclusion, the advantages and disadvantages of implementing BIM in the field of bridge design, construction and maintenance are discussed.

Keywords: BIM, BrIM, information model, bridge.

Введение. BIM-технологии в мостостроении могут быть полезным инструментом для решения проблем, связанных с увязкой положения конструктивных элементов, подсчетом объемов работ, организацией совместной работы различных отделов. Помимо этих аспектов ТИМ может упростить и мониторинг сооружений, увеличить наглядность состояния конструкций для заказчика.

Сферы, где на практике возможно применение ТИМ:

– стадия проекта, где информационная модель использована, как приложение к проекту для прохождения экспертизы [1];

– стадия формирования рабочей документации, где модель применена в качестве основы для формирования чертежей и ведомостей объемов [2];

– стадия эксплуатации сооружения, где модель может хранить в себе атрибутивную информацию о дефектах, влияющих на несущую способность элементов [3], или же является эталоном, в сравнении с которым можно выявить изменение деформированного состояния конструкции [4].

Основной вопрос, насколько рационально применение информационной модели на разных этапах жизненного цикла сооружения.

Стадия проекта (П). При разработке проекта возможны два подхода к применению информационной модели: использование модели как инструмента работы с оптимальным вариантом и проектирование, основанное на BIM-технологиях. В статье [5] авторы представляют создание технических и конструктивных решений проекта с помощью программы для информационного моделирования, что является интересной альтернативой стандартному 2D-проектированию, так как подсчеты объемов работ сразу ведется в программном комплексе. Но большой проблемой остается введение такого метода проектирования в работу из-за трудоемкости технологии. В таблице представлены примеры формирования модели по выбранному к строительству варианту. Такие модели выполняются с низким уровнем детализации, что не усложняет и не удлиняет процесс подготовки проекта. Разработка модели является обязательной согласно Постановлению № 331 Правительства РФ[1].

Стадия формирования рабочей документации (Р). После прохождения экспертизы встает вопрос о дальнейшем использовании модели. В работе [1], где упор сделан на качественное исполнение основного проектного решения, стоит обратить внимание на уровень детализации объектов (LOD),

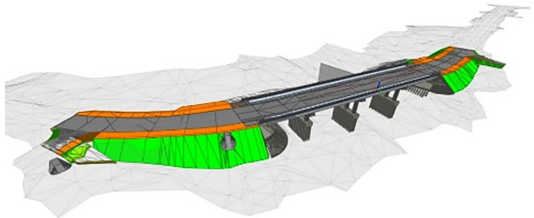
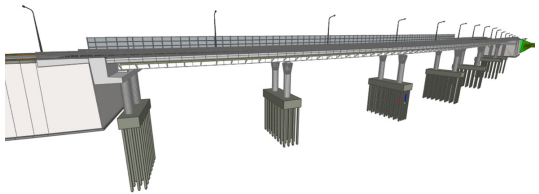
[1] Постановление Правительства РФ от 05.03.2021 № 331 «Об установлении случая, при котором застройщиком, техническим заказчиком, лицом, обеспечивающим или осуществляющим подготовку обоснования инвестиций, и (или) лицом, ответственным за эксплуатацию объекта капитального строительства, обеспечиваются формирование и ведение информационной модели объекта капитального строительства». URL: http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202103100026/ (дата обращения: 10.02.2026).

который должен быть достаточно высоким для оформления рабочей документации. При условии дальнейшего использования информационные модели, имеющие LOD ниже 400, невозможно без доработки использовать в качестве основы для чертежей. В работе [2] представлен пример возможности использования модели с высоким уровнем детализации для разработки рабочей документации. В таблице представлен фрагмент модели переходной плиты, выполненной с LOD 500 (раскладка арматуры в соответствии с проектом), в связи с таким уровнем детализации не стало проблемой оформление видов и в дополнении принципиальной схемы расположения арматурных стержней. В статье авторами представлена возможность оформления как самого искусственного сооружения, так и дополнительных обустройств (СВСиУ) для того, чтобы получить спецификации и ведомости объемов работ на СВСиУ, требовалось создание модели исходного сооружения.

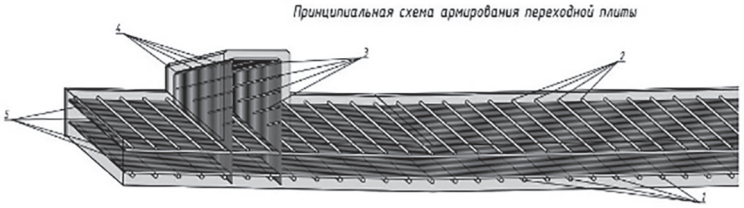
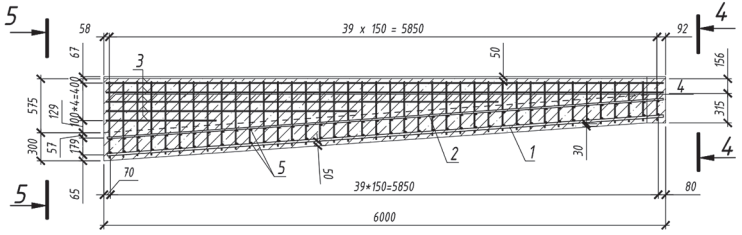
Стадия эксплуатации. В работе [4] представлено использование информационной модели для изучения изменений деформированного состояния мостовых сооружений под нагрузкой на примере большого и малого сооружений (см. таблицу). На примере, показанном авторами, рассмотрены два металлических мостовых сооружения с разными длинами. По завершении строительства и проведении испытаний были получены облака точек моста и путепровода с помощью 3D-сканера. Облака точек были наложены на информационную модель, разработанную при проектировании сооружения. Этот метод обследования помог выявить несоответствия высотного положения точек конструкции проектному положению.

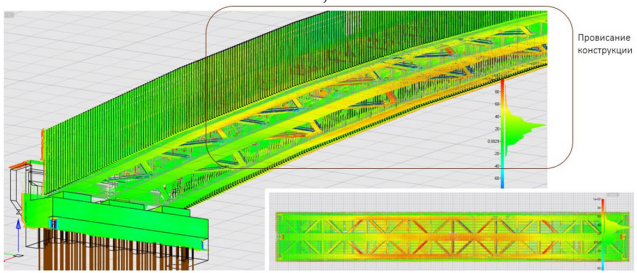
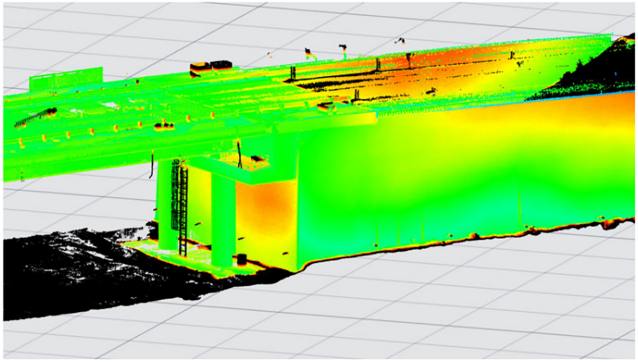
В работе [3] информационная модель служит «библиотекой» для хранения данных о сооружении, такой подход позволяет заказчику иметь более глубокое представление о техническом состоянии конструкции. Пример нанесения дефектов сооружения на информационную модель представлен в таблице.

Применение информационной модели на разных этапах жизненного цикла

Стадия	Визуальное представление	Преимущества и недостатки
Стадия П	 Балочные разрезные пролетные строения; Четыре пролета → $L_{общ}$ = 90,25 м; 8 предварительно напряженных ребристых балок; Расположение дороги на вираже в первом пролете сооружения  Балочное неразрезное пролетное строение [1]; Шесть пролетов → $L_{общ}$ = 245,90 м; 2 коробчатые металлические балки; Криволинейное расположение дороги в двух плоскостях	Преимущества: – наглядность проекта; – возможность выявить ошибки; – удобная корректировка высотного положения элементов; – налаженная совместная работа отделов организации Недостатки: – время и трудозатраты на создание модели; – требования к достаточной классификации разработчиков модели; – малая применимость модели

Продолжение таблицы

Стадия	Визуальное представление	Преимущества и недостатки
Стадия Р	а)  б)  Фрагмент переходной плиты: *а* – вырезка из чертежа элемента: принципиальная схема армирования переходной плиты; *б* – вырезка из чертежа элемента: продольный разрез переходной плиты	Преимущества: – возможность создания принципиальных схем для удобства монтажа конструкций; – более глубокий анализ ошибок, чем на стадии П Недостатки: – время и трудозатраты на доработку модели до нужного уровня детализации; – требования к классификации разработчиков модели; – трудности в обработке видов по стандартам нормативной документации

Стадия эксплуа-тации	а)  б)  Наложение облака точек, полученного 3D-сканированием, на эталонную информационную модель: *а* – пример малого мостового сооружениях [4]; *б* – вид на насыпь подхода с подпорной стенкой [4]	Преимущества: – наглядность технического состояния конструкции для заказчика; – централизованное хранение данных Недостатки: – требуется большой объем памяти для хранения модели; – требуется обучение работе с моделью

Окончание таблицы

Стадия	Визуальное представление	Преимущества и недостатки
Стадия эксплуатации	а) б) Пример учета технического состояния конструкции в BIM-модели: *а* – модель, полученная с помощью фотограмметрии [3]; *б* – нанесение дефекта на информационную модель [3]	

Заключение. В статье были рассмотрены положительные и отрицательные аспекты использования информационной модели на разных этапах жизненного цикла сооружения. На основе представленных работ были получены следующие выводы о рациональности применения модели:

1. Использования BIM на этапе проектирования является рациональным, так как упрощает проверку ошибок, что повышает качество изготовляемой документации, кроме того, разработка модели уже является обязательным требованием.

2. Использование ТИМ на этапе разработки рабочей документации оказалось трудоемким и замедляющим процесс подготовки чертежей в связи с доработкой модели до нужного уровня детализации и длительной последующей обработкой видов по стандартам нормативной документации.

3. Применение модели на этапе эксплуатации имеет большие перспективы в связи с визуальной наглядностью технического состояния сооружения и централизованностью хранения данных.

Литература

1. *Козак Н.В., Зобова М.А., Гуманюк И.А.* Практический опыт разработки информационных моделей мостов // Информационное моделирование в задачах строительства и архитектуры : Мат-лы VII Междунар. науч.-практ. конф. ; под общ. ред. А.А. Семенова. Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2024. С. 196–203. DOI: 10.23968/BIMAC.2024.027. EDN: OGAOGO.

2. *Зобова М.А.* Практический опыт использования информационной модели для формирования документации// Наука и молодежь XXI века : Мат-лы регионального форума ; в 2 ч. Новосибирск : СибГУПС, 2025. С. 7–10. EDN: WKRKWT.

3. *Isailović D., Petronijević M., Hajdin R.* The future of BIM and Bridge Management Systems // Towards a Resilient Built Environment Risk and Asset Management. IABSE Symposium, Guimarães 2019. P. 1673–1680. DOI: 10.2749/guimaraes.2019.1673.

4. *Yaroshutin D., Kozak N., Utenkov O., Daliaev N.* Design, construction and testing of curved overpass using BrIM technologies // Environmentally Friendly Technologies and Structures: Focusing on Sustainable Approaches. IABSE Symposium, Tokyo 2025. P. 2943–2951. DOI: 10.2749/tokyo.2025.2943.

5. *Ефимов С.В., Паторняк А.В., Чаплин И.В.* Применение технологии информационного моделирования при разработке проекта ремонта мостового сооружения // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2024. № 3(60). С. 113–121. DOI: 10.24866/2227-6858/2024-3/113-121. EDN: DPKWBE.

УДК 69.05:005.334
DOI: 10.23968/BIMAC.2026.026

Лукина Юлия Денисовна, магистрант
(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)
E-mail: lukinaju@yandex.ru, ORCID: 0009-0002-9408-6775

Lukina Yulia Denisovna, Master's degree student
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)

АНАЛИЗ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТНЫМИ РИСКАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ 4D BIM

ANALYSIS OF PROJECT RISK MANAGEMENT METHODS USING 4D BIM

В статье проводится комплексный анализ возможностей 4D BIM в управлении проектными рисками в строительстве. Исследованы современные подходы к интеграции временных параметров в информационные модели, выявлены ключевые преимущества и ограничения технологии. На основе анализа научных публикаций и практических кейсов систематизированы методы риск-менеджмента с применением 4D BIM, разработана классификация рисков, поддающихся эффективному контролю посредством временного моделирования. Особое внимание уделено решению проблем динамического изменения рисков в процессе строительства. Результаты исследования демонстрируют значительный потенциал 4D BIM в снижении количества ошибок, оптимизации сроков и повышении безопасности строительных проектов.

Ключевые слова: 4D BIM, управление проектными рисками, информационное моделирование, строительство, визуализация, эффективность, риск-менеджмент.

The article provides a comprehensive analysis of the capabilities of 4D BIM in managing project risks in construction. Modern approaches to the integration of temporal parameters into information models are investigated, and the key advantages and limitations of the technology are identified. Based on the analysis of scientific publications and practical cases, risk management methods using 4D BIM are systematized, and a classification of risks that can be effectively controlled through temporal modeling is developed. Particular attention is paid to solving the problems of dynamic risk changes during the construction process. The study results demonstrate the significant potential of 4D BIM in reducing the number of errors, optimizing schedules, and improving the safety of construction projects.

Keywords: 4D BIM, project risk management, information modeling, construction, visualization, efficiency, risk management.

Источники [1] и [2] формируют понимание технологической базы BIM. В них раскрывается суть информационного моделирования как современного подхода к проектированию и управлению объектами, описывается эволюция от 3D к 4D. Актуальность источников подтверждается данными о цифровой

революции в строительстве и переходе к сквозному управлению жизненным циклом.

В источнике [3] представлена система автоматической оценки рисков безопасности на стройплощадке. Она использует 4D BIM-модель для динамического выявления опасностей.

В источниках [4] и [5] центральной темой является применение BIM для минимизации проектных рисков. Научное исследование [4] доказывает полезность инструментов 4D BIM в стратегиях снижения рисков, в то время как практический обзор [5] конкретизирует семь способов применения BIM в риск-менеджменте. Актуальность этого направления обусловлена необходимостью повышения предсказуемости и контроля над строительными проектами.

Современная строительная отрасль характеризуется исключительной сложностью управленческих задач, необходимостью координации множества участников и значительными финансовыми вложениями. В работе [2] было отмечено, что капитальное строительство сопровождается необходимостью взаимодействия множества организаций-участников и вложением значительных финансовых, трудовых и материальных затрат. В таких условиях эффективное управление проектными рисками становится критически важным для успешной реализации проектов. Традиционные подходы к риск-менеджменту, основанные на двумерной документации и статических графиках, зачастую не способны адекватно отражать динамическую природу строительных процессов и выявлять скрытые проблемы до их фактического возникновения на строительной площадке.

Актуальность этого направления обусловлена необходимостью повышения предсказуемости и контроля над строительными проектами. Текущая ситуация характеризуется активным использованием BIM для выявления коллизий и оптимизации графиков, однако его потенциал в проактивном управлении рисками на этапе эксплуатации раскрыт недостаточно, что коррелирует с данными из анализируемой статьи.

Актуальность исследования обусловлена растущей сложностью строительных проектов и ужесточением требований к их срокам, стоимости и безопасности. «По данным исследований, до 30 % бюджета строительных проектов уходит на устранение ошибок планирования» [1]. Технология информационного моделирования или Building Information Modeling (BIM) открывает новые возможности для управления рисками, однако ее потенциал, особенно в области 4D-моделирования (интеграция временных параметров), раскрыт недостаточно полно.

Научная проблема заключается в отсутствии систематизированной методологии управления проектными рисками на основе 4D BIM, учитывающей динамический характер строительных процессов и позволяющей проводить проактивную идентификацию и анализ рисков через жизненный цикл

проекта. Исследования часто фокусировались на аспектах статистического анализа в BIM или рассматривали ограниченный набор рисков. Недостаточно изученными остаются вопросы интеграции пространственно-временного моделирования с комплексными стратегиями риск-менеджмента.

Цель статьи – провести комплексный анализ методов управления проектными рисками с использованием 4D BIM, и оценить эффективность применения 4D-моделирования для основных проектных показателей.

Для проведения комплексного анализа методов управления проектными рисками с использованием 4D BIM было применено несколько взаимодополняющих исследовательских методов.

Системный анализ позволил рассмотреть управление рисками как единую сложную систему, изучить, как 4D BIM встраивается в неё и влияет на все элементы – от планирования сроков до безопасности. Анализ научной литературы дал возможность обобщить существующие теоретические знания о 4D BIM и риск-менеджменте. Анализ практических кейсов, в частности исследование из источника [5] об опыте трёх подрядчиков на инфраструктурном проекте, позволил оценить реальную эффективность технологии и сравнить разные подходы к её применению.

Методология системного анализа была использована для изучения возможностей 4D BIM в управлении различными категориями проектных рисков. В рамках этого метода были идентифицированы и классифицированы основные типы рисков строительных проектов, поддающиеся контролю посредством 4D-моделирования. Исследование проводилось на основе анализа современных публикаций и практических кейсов внедрения 4D BIM.

В источнике [4] проводился анализ практических кейсов, который позволил изучить реальный опыт внедрения 4D BIM для управления рисками в различных проектах. В частности, был рассмотрен кейс из исследования, где анализировалось использование 4D BIM тремя подрядчиками при разработке стратегий снижения рисков на инфраструктурном проекте. Исследование выявило положительную корреляцию между полезностью инструментов 4D BIM и эффективностью стратегий снижения рисков.

Процесс создания и использования 4D BIM для управления рисками включает следующие этапы:

1. Подготовка 3D-модели с соответствующим уровнем детализации (LOD) – формирование информационной базы для выявления пространственных коллизий и потенциальных источников рисков (например, ошибок проектирования).

2. Разработка детального строительного графика – определение критических путей и временных резервов для оценки временных рисков и их влияния на общую продолжительность проекта.

3. Связывание компонентов модели с задачами графика – создание связанной структуры, позволяющей моделировать пространственно-временные

взаимодействия и выявлять динамические коллизии (риски совмещения работ, логистические конфликты).

4. Генерация и визуализация 4D-симуляции – наглядное представление последовательности строительства для обнаружения скрытых рисков (например, неучтенных зависимостей, опасных зон).

5. Анализ, оптимизация и уточнение плана – оценка выявленных рисков, корректировка проектных и организационных решений, а также документирование принятых мер для снижения вероятности и последствий рисков.

В результате проведенной аналитической работы удалось структурировать подходы к контролю проектных рисков средствами 4D BIM и дать оценку их практической эффективности. Полученные данные свидетельствуют о существенном влиянии временного моделирования на различные группы проектных рисков.

На основании изучения литературных источников и практического опыта была создана систематизация проектных рисков, поддающихся эффективному управлению с применением 4D BIM (табл. 1).

Таблица 1

Классификация рисков и возможности их контроля средствами 4D BIM

Категория рисков	Возможности управления средствами 4D BIM
Временные	Визуализация и анализ последовательности строительных процессов, выявление скрытых противоречий в графиках, оптимизация продолжительности критического пути
Пространственно-временные	Обнаружение не только статических пространственных конфликтов, но и динамических противоречий, возникающих в процессе строительства (взаимодействие с временными конструкциями, оборудованием и работами)
Логические	Анализ перемещений техники и строительных материалов в пределах площадки, рациональное использование пространства, планирование расположения временных объектов [1]
Риски потери безопасности	Созданы методические основы для автоматизированной оценки угроз безопасности через интеграцию нормативных требований и 4D BIM. Данный подход позволяет выявлять потенциально опасные ситуации на стройплощадках, используя взаимосвязанные пространственно-временные данные [3]

Структурирование рисков с помощью 4D BIM дает возможность держать под контролем основные угрозы, параллельно улучшая такие ключевые показатели, как сроки, бюджет и количество правок в проекте (табл. 2).

Таблица 2

Оценка измерения проектных показателей при использовании 4D BIM

Параметр эффективности	Влияние 4D BIM
Сокращение сроков проекта	До 20 % [1]
Снижение затрат на координацию	До 10 % [1]
Устранение ошибок планирования	Снижение затрат на устранение с 30 % бюджета [1]
Эффективность стратегий снижения рисков	Положительная корреляция с использованием 4D BIM

В ходе анализа практического применения 4D BIM были выделены решающие условия для минимизации рисков:

1. Качество входных данных: эффективность 4D BIM напрямую зависит от детализации цифровой модели и реальными сроками строительства.

2. Взаимодействие с профильными платформами: позволяет отслеживать статус задач и равномерно распределять нагрузку на команду.

3. Актуальность данных: модель необходимо вести в режиме реального времени, своевременно внося сведения о фактическом выполнении этапов.

Практическая ценность работы состоит в том, что проанализированные методы и подходы могут быть адаптированы организациями, осуществляющими строительные проекты, для совершенствования управления рисками, сокращения ошибок и оптимизации временных параметров строительства. Использование 4D BIM в риск-менеджменте не только снижает потенциальные негативные последствия, но и превращает риски из источника угроз в фактор повышения операционной эффективности, качества и безопасности строительных процессов.

Литература

1. Цифровая революция в строительстве: BIM, 4D и Lean методы планирования. URL: https://sky.pro/wiki/profession/sovremennye-metody-planirovaniya-v-stroitelstve/ (дата обращения: 25.11.2025).

2. *Kim D., Yoo T., Tran S.V.-T., Lee D., Park C., Lee D.* Automated Safety Risk Assessment Framework by Integrating Safety Regulation and 4D BIM-Based Rule Modeling // Buildings. 2024. Vol. 14, No. 8. P. 2529. DOI: 10.3390/buildings14082529. EDN: KZODBE.

3. *Sloot R.N.F., Heutink A., Voordijk J.T.* Assessing usefulness of 4D BIM tools in risk mitigation strategies // Automation in Construction. 2019. Vol. 106. P. 102881. DOI: 10.1016/j.autcon.2019.102881.

4. *Патель А.* 7 способов применения BIM для управления строительными рисками. 2025. URL: https://www.united-bim.com/bim-and-construction-risk-management/ (дата обращения: 25.11.2025).

5. Project Management in Construction Using 4D, 5D BIM Modeling. 2024. URL: https://eneca.kz/novosti/proektirovanie-inzhiniring/upravlenie-proektami-v-stroitelstve-s-pomoshchyu-4d-5d-bim-modelirovaniya/ (дата обращения: 25.11.2025).

УДК 658.5
DOI: 10.23968/BIMAC.2026.027

Петухова Владислава Анатольевна, магистрант
(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)
E-mail: vladislava.petuxova@inbox.ru, ORCID: 0009-0005-0882-6020

Petukhova Vladislava Anatolevna, Master's degree student
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)

ПРИМЕНЕНИЕ 4D ТИМ ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ И РЕМОНТА ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ: ВЫЗОВЫ ВНЕДРЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ

APPLICATION OF 4D BIM FOR OPERATION AND REPAIR OF ENGINEERING SYSTEMS: CHALLENGES OF IMPLEMENTATION AND PROSPECTIVE DIRECTIONS OF DEVELOPMENT

Статья посвящена исследованию возможного применения технологии 4D ТИМ для управления эксплуатацией и ремонтом инженерных систем. Актуальность работы обусловлена необходимостью цифровизации эксплуатационного этапа, формирующего основную часть стоимости жизненного цикла объектов. В данной статье проанализированы основные преимущества технологии, включая визуализацию процессов, автоматизацию расчетов и создание единой базы данных оборудования. Выявлены ключевые проблемы внедрения технологии: отсутствие нормативной базы, дефицит квалифицированных специалистов и проблемы интеграции с существующими системами. Определены перспективные направления развития технологии. Представленные результаты подтверждают необходимость внедрения 4D ТИМ при эксплуатации и ремонте инженерных систем.

Ключевые слова: 4D ТИМ, эксплуатация инженерных систем, цифровизация строительства, информационное моделирование, жизненный цикл здания, ремонт инженерных систем.

The article is devoted to the study of the possible application of 4D BIM technology for the management of the operation and repair of engineering systems. The relevance of this work stems from the need to digitalize the operational phase, which accounts for the bulk of the lifecycle cost of facilities. This article analyzes the key benefits of implementing technologies, process visualization, automated calculations, and the creation of a unified equipment database. The key problems of technology implementation have been identified: the lack of a regulatory framework, the shortage of qualified specialists and the problems of integration with existing systems. Promising directions of technology development have been identified. The presented results confirm the need to implement 4D BIM technology in the operation and repair of engineering systems.

Keywords: 4D BIM, engineering systems operation, digitalization, information modeling, life cycle of a building, repair of engineering systems.

Актуальность внедрения технологий информационного моделирования (ТИМ) в управление объектами капитального строительства на всех стадиях жизненного цикла определяется современными тенденциями цифровизации строительной отрасли [1, 2]. Особое значение приобретает цифровизация этапа эксплуатации, который формирует основную долю в совокупной стоимости жизненного цикла объекта, достигая 70-85 % от общих затрат [3], при этом в российской практике применение ТИМ на данной стадии не превышает 1-5 %, тогда как до 80 % их использования приходится на стадию проектирования [4, 5].

Сложившаяся ситуация особенно остро проявляется в сфере управления инженерными системами зданий и сооружений, где традиционные подходы, основанные на двумерной документации, демонстрируют ограниченную эффективность [6, 7]. Это выражается в проблемах координации ремонтных работ, ошибках при идентификации оборудования и отсутствии единого информационного пространства для принятия управленческих решений. В качестве методологической основы преодоления указанных ограничений рассматривается применение технологии 4D ТИМ, определяемой как интеграция трехмерной модели с календарно-сетевым графиком выполнения работ [8, 9].

Перспективность данного подхода для задач эксплуатации и ремонта инженерных систем подтверждается рядом преимуществ, выявленных в ходе анализа литературных источников. К ним относятся: возможность визуализации последовательности и сроков выполнения ремонтных работ, автоматизация расчетов параметров и характеристик систем [10], создание единой базы данных об оборудовании и материалах [7], а также потенциал для прогнозирования технического состояния на основе динамического моделирования [3].

Вместе с тем процесс внедрения 4D ТИМ для эксплуатационных целей сталкивается с комплексом системных барьеров. Проведенный анализ позволяет выделить четыре ключевые группы проблем: отсутствие полноценной нормативно-правовой базы [1], значительный дефицит квалифицированных кадров [5, 7], высокая стоимость внедрения и сопровождения системы [6, 9], а также недостаточная проработанность методологических вопросов интеграции проектных и эксплуатационных моделей [3, 11].

Таким образом, несмотря на значительный потенциал применения 4D ТИМ для оптимизации эксплуатации инженерных систем, его практическая реализация требует преодоления комплекса нормативных, кадровых и технологических вызовов. Решение этих задач позволит перейти от фрагментарного использования технологии к созданию целостной системы управления жизненным циклом объектов строительства.

Цель данного исследования – проанализировать возможности применения 4D ТИМ для эксплуатации и ремонта инженерных систем, систематизировать возможные проблемы внедрения технологии и выявить ее перспективные направления развития использования.

Для достижения поставленной цели был применен системный анализ научной литературы и нормативно-технической документации. Особое внимание уделялось выявлению взаимосвязей между различными группами проблем и поиску комплексных решений.

Интеграция временного параметра в информационную модель открывает качественно новые возможности для управления эксплуатацией. Как показывает анализ, технология 4D ТИМ позволяет не только визуализировать текущее состояние систем, но и прогнозировать их изменение во времени, что принципиально важно для планирования ремонтов и технического обслуживания (табл. 1).

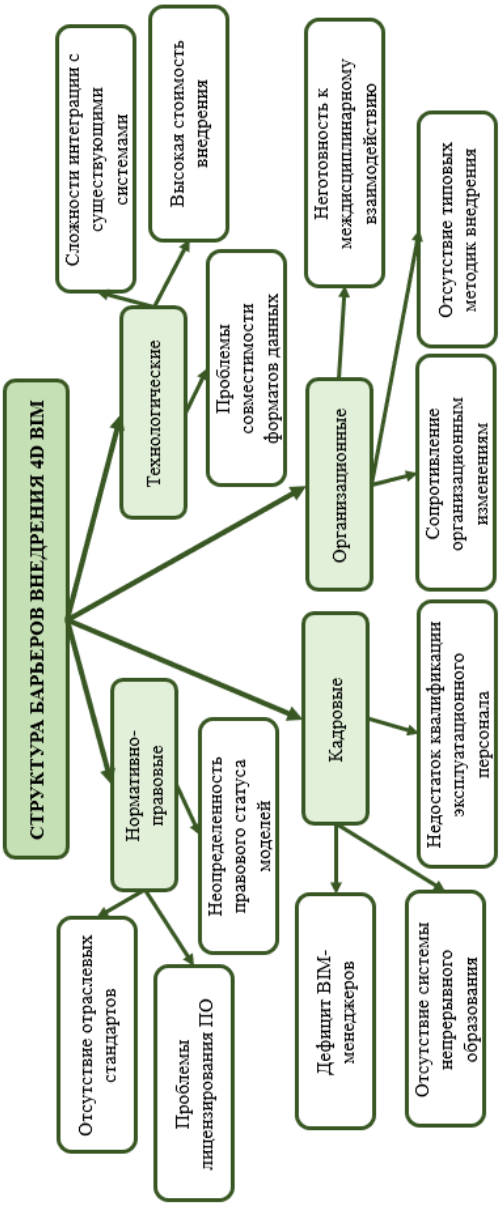
Таблица 1

Ключевые преимущества применения 4D ТИМ для эксплуатации инженерных систем

Преимущество	Описание	Практический эффект
Визуализация процессов	Динамическое отображение последовательности работ в привязке ко времени	Сокращение сроков простоя оборудования на 15–20 % [3, 6]
Автоматизация расчетов	Программное определение параметров и характеристик систем	Снижение количества ошибок при планировании на 25–30 % [4, 8]
Единая база данных	Программное определение параметров и характеристик систем	Экономия времени на поиск необходимых данных
Прогнозирование состояния	Моделирование износа и оптимизация сроков обслуживания	Увеличение межремонтных периодов на 10–15 % [3, 11]

Результаты практического эффекта представлены средние на основе анализа научной литературы [3, 4, 6, 8, 11].

Однако несмотря на очевидные преимущества, существует ряд проблем при массовом внедрении 4D ТИМ технологии для эксплуатации инженерных систем. В результате проведенного исследования была создана схема барьеров внедрения (см. рисунок).



Структура барьеров внедрения 4D ТИМ

Наибольшую сложность представляет преодоление нормативно-правовых барьеров: отсутствие единых отраслевых стандартов и четкого правового регулирования использования информационных моделей на этапе эксплуатации создает правовую неопределенность для всех участников процесса. Особую остроту приобретают вопросы определения ответственности за достоверность информации в модели и разграничение прав доступа к эксплуатационным данным. Кадровый барьер заключается в недостатке квалифицированных специалистов, ТИМ-менеджеров, существующая система образования не успевает готовить специалистов, отвечающих новым требованиям. Ключевыми проблемами также являются несовместимость форматов данных между разным ПО и высокая совокупная стоимость владения и внедрения технологий, данные факторы представляют собой технологический барьер. Под организационным барьером подразумевается сопротивление персонала внедрению новых процессов и отсутствие типовых методик.

На основе изученных научных источников были сформулированы мероприятия по преодолению барьеров и ожидаемые результаты от внедрения данных мероприятий (табл. 2).

Таблица 2

Перспективные направления развития 4D ТИМ для эксплуатации инженерных систем

Направление	Предлагаемые мероприятия	Ожидаемые результаты
Нормативное регулирование	Разработка и внедрение отраслевых стандартов	Создание единой нормативной документации. Унификация процессов
Технологическое развитие	Разработка отечественного ПО и платформенных решений	Снижение затрат на внедрение
Подготовка кадров	Создание системы непрерывного образования и переподготовки	Подготовка новых специалистов
Интеграционные решения	Создание единого информационного пространства на основе CDE	Повышение эффективности управления

Первоочередной задачей является разработка и внедрение отраслевых стандартов, регламентирующих использование 4D ТИМ на этапе эксплуатации. Стандарты должны включать требования к уровню детализации

моделей, форматам обмена данных, процедурам актуализации информации. Также необходимо создание системы подготовки и переподготовки специалистов, способных эффективно работать с технологией.

На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Эффективность 4D ТИМ для эксплуатации инженерных систем была доказана – технология позволяет сократить сроки простоя оборудования примерно на 15-20 %, уменьшить количество ошибок при планировании на 25-30 % и увеличить межремонтные периоды на 10-15 %.

2. Были выявлены системные барьеры внедрения, где наибольшую значимость (35 %) имеют нормативно-правовые проблемы, включая отсутствие отраслевых стандартов и неопределенность правового статуса моделей.

3. Области, которым требуется доработка для эффективного и быстрого развития 4D ТИМ: нормативное регулирование; технологическое развитие; подготовка кадров; интеграционные решения.

Литература

1. *Гейдор В.С., Соловьева Ю.С., Тихонов Д.А.* Внедрение понятия BIM-технологий в строительную отрасль для целей кадастра в России // Инженерный вестник Дона. 2020. № 11(71). С. 271–279. EDN: XDJLWL.

2. *Новоселова И.В., Чернявский И.А.* Применение BIM-технологий на всех стадиях жизненного цикла строительного проекта // Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий. 2022. Т. 1, № 3. С. 4–15. DOI: 10.23947/2949-1835-2022-1-3-4-15. EDN: MHNQVN.

3. *Савин М.А., Белаш В.В.* Применение BIM для управления жизненным циклом зданий и сооружений // Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий. 2023. Т. 2, № 2. С. 42–50. DOI: 10.23947/2949-1835-2023-2-2-42-50. EDN: XJRJAJ.

4. *Бовтеев С.В.* Применение 4D-моделирования для планирования и организации строительства объектов и их комплексов // Системные технологии. 2023. № 4(49). С. 61–69. DOI: 10.55287/22275398_2023_4_61. EDN: NWAVOD.

5. *Вахрушев О.А.* Управление жизненным циклом объектов капитального строительства: научные подходы и практические рекомендации // Вестник Академии знаний. 2025. № 4(69). С. 136–139. EDN: NBWJCY.

6. *Несипбаев А.С.* Опыт выполнения работ по применению BIM технологий и умного проектирования при строительстве и эксплуатации объектов недвижимости // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2021. Т. 3, № 2. С. 243–250. DOI: 10.33764/2618-981X-2021-3-2-243-250. EDN: QNRPJT.

7. *Чернов А.В., Гоголев Д.В., Ким А.А.* Анализ преимуществ применения технологии информационного моделирования объектов недвижимости при ведении ЕГРН // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2018. № 8. С. 43–49. EDN: XZONYT.

8. *Матвеева М.В., Адегбола А.А.А.* К вопросу организации процессов 4D-моделирования и управления ими в строительстве // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12, № 2(41). С. 190–195. DOI: 10.21285/2227-2917-2022-2-190-195. EDN: QVZRKL.

9. *Бовтеев С.В.* Современное состояние и перспективы применения 4D-моделирования в российской практике строительства // Вестник гражданских инженеров. 2023. № 2(97). С. 65–74. DOI: 10.23968/1999-5571-2023-20-2-65-74. EDN: PCQSAJ.

10. *Чернов А.В., Гоголев Д.В.* Международный опыт интеграции BIM-моделей в кадастровые системы // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2018. Т. 2, № 3. С. 75–84. EDN: YLHQYP.

11. *Клименко К.Е., Котляревская А.В., Котляревский А.А.* Применение информационных систем на всех этапах жизненного цикла объекта недвижимости // Экономика строительства. 2025. № 1. С. 498–501. EDN: VOUWJF.

УДК 711.00+004.94
DOI: 10.23968/BIMAC.2026.028

Спиридонова Елена Вадимовна, магистрант
(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)
E-mail: spiridonova.ev@edu.spbstu.ru, ORCID: 0009-0004-8587-9524

Spiridonova Elena Vadimovna, Master's degree student
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)

РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ПЛАНИРОВОЧНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ЗЕМЕЛЬНОГО УЧАСТКА С ПРИМЕНЕНИЕМ 4D-МОДЕЛИРОВАНИЯ

DEVELOPMENT OF A PLOT PLAN USING 4D MODELING

В статье представлены результаты применения технологий 4D-моделирования при разработке схемы планировочной организации земельного участка (СПОЗУ). Данный раздел чаще всего разрабатывается в 2D-формате, несмотря на то что территория под застройку объекта осваивается последовательно и поэтапно, начиная с подготовки земельного участка и заканчивая реализацией проектных решений. Для увязки между всеми разделами и учета всех видов работ была сформирована трехмерная модель в связке со временем и проведен сравнительный анализ разработки СПОЗУ в 2D- и 4D-форматах. Выявлено, что применение технологий 4D-моделирования позволяет визуализировать процесс освоения земельного участка, повышает качество реализации проектных решений за счет выявления возможных ошибок на этапе проектирования, а не в ходе строительства, что существенно снижает риски и экономит ресурсы.

Ключевые слова: схема планировочной организации земельного участка (СПОЗУ), 4D-моделирование, 4D-формат, 2D-формат, трехмерная модель.

The article presents the results of the application of 4D modeling technologies in the development of a plot plan. This section is most often developed in 2D format, despite the fact that the territory for the construction of the facility is developed sequentially and in stages, starting with the preparation of the land plot and ending with the implementation of design solutions. To link between all sections and account for all types of work, a three-dimensional model was formed in conjunction with time and a comparative analysis of the development of a plot plan in 2D and 4D formats was carried out. It has been revealed that the use of 4D modeling technologies will make it possible to visualize the process of land development, improve the quality of project solutions by identifying possible errors at the design stage, rather than during construction, which significantly reduces risks and saves resources.

Keywords: plot plan, 4D-modeling, 4D-format, 2D-format, three-dimensional model.

Актуальность применения технологий 4D-моделирования при разработке схемы планировочной организации земельного участка обусловлена

современными тенденциями цифровизации строительной отрасли [1] и нормативным закреплением применения технологий информационного моделирования в Российской Федерации. В соответствии со статьёй 48 Градостроительного кодекса Российской Федерации СПОЗУ является обязательным разделом проектной документации и определяет размещение объектов капитального строительства, транспортных и инженерных коммуникаций, благоустройства и этапность освоения территории. При этом подготовка данного раздела традиционно осуществляется в двумерном формате, что существенно ограничивает возможности анализа пространственно-временных взаимосвязей строительных процессов.

Использование технологий 4D-моделирования позволяет объединить пространственную модель территории и календарный план выполнения работ в единой информационной среде. Такой подход обеспечивает возможность визуального анализа этапности освоения участка, выявления конфликтов между видами работ и оптимизации логистики строительной техники на ранних стадиях проектирования. Таким образом, применение 4D-модели при разработке СПОЗУ позволяет повысить качество проектных решений, обеспечить согласованность со смежными разделами проектной документации и снизить риски ошибок, выявляемых уже на стадии строительства.

Задачами исследования является практическая интеграция 4D-технологий при разработке СПОЗУ и обоснование эффективности применения 4D-моделирования.

В рамках данного исследования была разработана 4D-модель проектируемой территории (рис. 1) на основе двумерных чертежей. Формирование трехмерной модели происходило на базовом уровне для последующего создания 4D-модели. В качестве исходных данных для формирования 3D-модели (рис. 2) СПОЗУ была использована топографическая съемка. На её основе была построена цифровая модель рельефа, после чего были смоделированы проектируемые покрытия для площадок и дороги методом послойного моделирования, то есть каждый слой создавался отдельным элементом. Такой подход обеспечивает точное формирование ведомостей объемов работ и спецификаций, а также способствует ускорению процесса внесения изменений и правок в проект [2]. Элементы малых архитектурных форм и озеленения были настроены с использованием параметров [3], обеспечивающих их автоматический учет в спецификациях. Таким образом, при добавлении или исключении элементов данные в спецификациях обновлялись автоматически, что исключает необходимость ручного подсчета объемов и показателей, характерную для разработки СПОЗУ в 2D-формате.

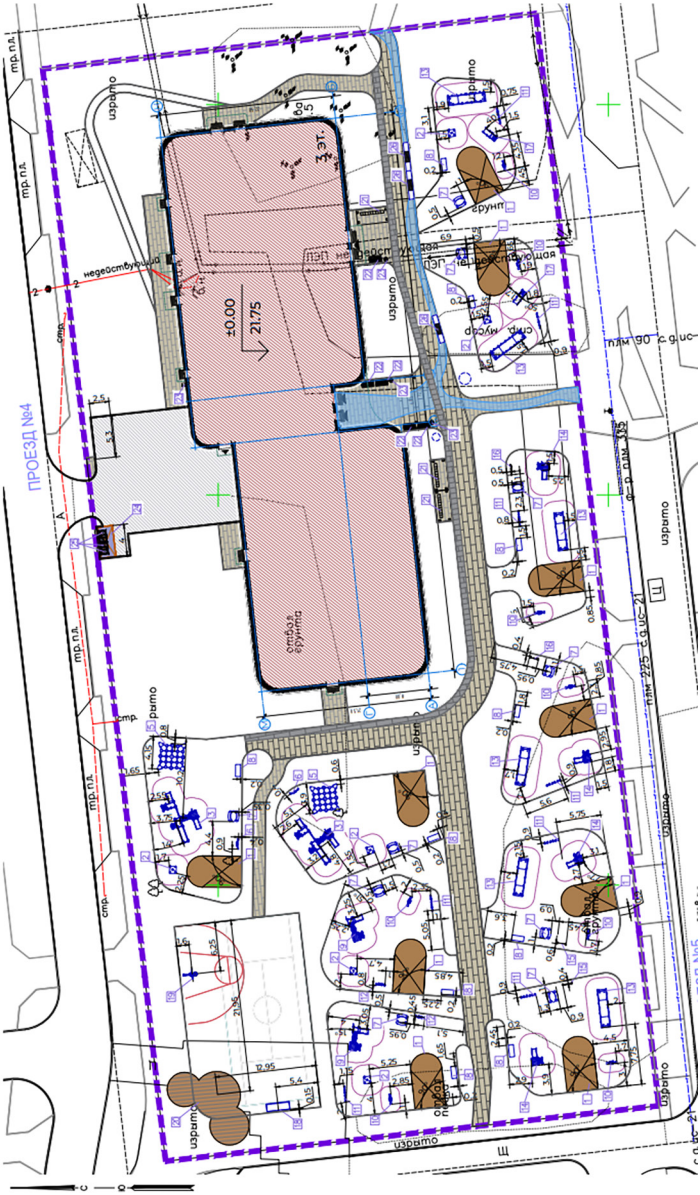


Рис. 1. СПОЗУ в 2D-формате

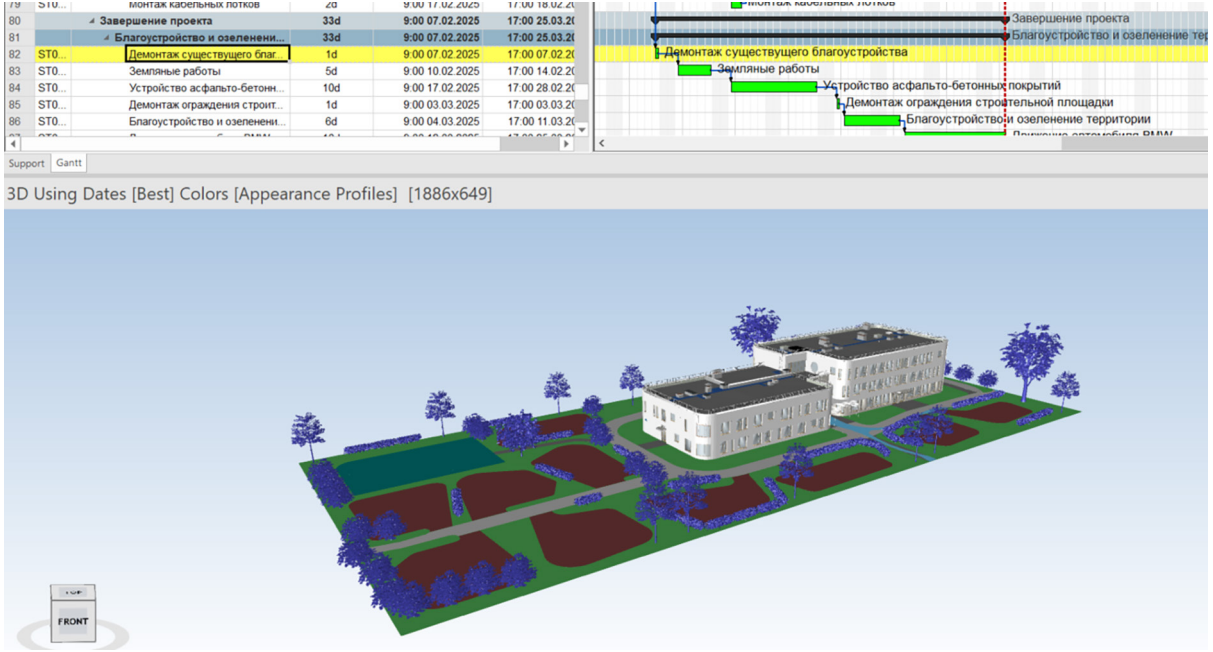


Рис. 2. СПОЗУ с привязкой 3D-элементов к календарному плану

Для перехода из трехмерной модели в четырехмерную необходимо разработать календарный план [4], структурированный последовательно по основным этапам:

1. Земляные работы: вертикальная планировка.

2. Прокладка инженерных коммуникаций: внутриплощадочные сети водоснабжения, водоотведения, тепловые сети, сети связи, дренаж освещение.

3. Прокладка дорог, проездов.

4. Устройство покрытий площадок, отмостки.

5. Организация нового благоустройства: расстановка малых архитектурных форм, зеленых насаждений, опор освещения, ограждения, ворот.

Для обоснования эффективности применения 4D-моделирования был проведен сравнительный анализ (см. таблицу) специфики разработки СПОЗУ в 2D и 4D-форматах.

Сравнительный анализ специфики разработки СПОЗУ в 2D- и 4D-форматах

Вид проектных работ	СПОЗУ в 2D-формате	СПОЗУ в 3D/4D-формате	Эффект применения 4D
Организация земляных работ	План земляных масс без учета этапности	Моделируется последовательность земляных работ	Снижение простоев работ на 20–30 %
Перемещение строительной техники	Не анализируется	Анализируется, моделируется доступность зон работ	Отсутствие конфликтов движения техники
Демонтаж существующего благоустройства	Отображается в составе отдельной схемы без привязки ко времени	Демонтаж привязывается к конкретному этапу календарного плана	Исключение преждевременного демонтажа и повторного восстановления
Восстановление существующего благоустройства	Часто не увязывается с фактическим завершением «грязных» работ	Восстановление выполняется строго после завершения инженерных и земляных работ	Снижение затрат, исключение повторных работ
Сроки выполнения работ	Не анализируются	Сроки наглядно визуализируются и проверяются в модели [5]	Сокращение сроков строительства на 10–15 %

Окончание таблицы

Вид проектных работ	СПОЗУ в 2D-формате	СПОЗУ в 3D/4D-формате	Эффект применения 4D
Синхронизация со смежными разделами	Выполняется наложением планов, визуальной проверкой	Обеспечивается за счет функции «совместной работы»	Повышение согласованности между разделами
Расчет объемов земляных масс и материалов	Считается вручную	Выполняется на основе цифровой модели автоматически	Экономия строительных материалов и объемов грунта на 10–25 %
Минимизация выемки и насыпи	Не оптимизируется по этапам	Оптимизируется с учетом последовательности работ	Экономия ресурсов
Синхронизация с календарным графиком	График существует отдельно от СПОЗУ	График напрямую связан с моделью	Повышение качества строительства [6]

В ходе разработки 4D-модели на основе двумерных чертежей благодаря визуальному анализу были выявлены следующие ошибки:

1. Отсутствие узлов примыкания одного вида покрытия к другому: нет четкого понимания, каким образом осуществляется монтаж.

2. Выявление наложения озеленения (кустарников и деревьев) на наружные подземные сети.

3. Установка опор освещения на склоне холма, а не на ровном покрытии.

Использование технологий 4D-моделирования имеет практическую ценность для всех участников строительного процесса. Для проектных организаций это исключает ошибки на стадии проектной и рабочей документации перед выдачей в производство работ. Для подрядчиков это является наглядной визуализацией последовательности всех видов и этапов работ. Для заказчиков это подтверждение реалистичности заявленных сроков согласно календарному плану и обеспечение прозрачности проектных решений.

Таким образом, основной эффект применения 4D-моделирования СПОЗУ образуется за счет синхронизации пространственных и временных факторов в одной модели, что позволяет управлять этапами строительства, рассматривать варианты решения на раннем этапе и сокращать сроки строительства, снижая простои как самих работ, так и техники.

В результате исследования подготовлена 4D-модель СПОЗУ на основе сформированного детального календарного графика. В ходе исследования выявлено, что применение технологии 4D-моделирования при разработке СПОЗУ способствует повышению качества проекта. Визуализация очередности работ и своевременное выявление потенциальных ошибок позволяют исключить логистические ошибки или наложение работ в ходе строительства, есть возможность синхронизироваться со смежными разделами и экономить трудозатраты и ресурсы.

Литература

1. *Молчанова С.М.* BIM как инструмент информационного моделирования при реализации проектов в строительной отрасли // Международный научно-исследовательский журнал. 2024. № 7(145). С. 148. DOI: 10.60797/IRJ.2024.145.180. EDN: ULUXPK.

2. *Степанюк К.С., Жукова Н.В.* Интегрирование BIM-технологий в строительстве в систему управления земельными ресурсами и объектами недвижимости // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. 2022. № 1. С. 197–200. EDN: IKIFTW.

3. *Петроченко М.В., Недвига П.Н., Кукина А.А., Шерстюк В.В.* Классификация строительной информации в BIM с использованием алгоритмов искусственного интеллекта // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17, № 11. С. 1537–1550. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.11.1537-1550. EDN: JFYSSO.

4. *Бовтеев С.В., Петелин М.Е.* Требования к разработке 3D-модели и календарно-сетевого графика для оптимизации процесса 4D-моделирования // Инновации и инвестиции. 2023. № 10. С. 226–229. EDN: OUEFFF.

5. *Бовтеев С.В.* Современное состояние и перспективы применения 4D-моделирования в российской практике строительства // Вестник гражданских инженеров. 2023. № 2(97). С. 65–74. DOI: 10.23968/1999-5571-2023-20-2-65-74. EDN: PCQSAJ.

6. *Матвеева М.В., Адегбола А.А.А.* К вопросу организации процессов 4D-моделирования и управления ими в строительстве // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12, № 2(41). С. 190–195. DOI: 10.21285/2227-2917-2022-2-190-195. EDN: QVZRKL.

УДК 004.94:69+658.5+658.7
DOI: 10.23968/BIMAC.2026.029

Третьяков Даниил Русланович, магистрант
(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)
E-mail: daniel1901tr@gmail.com, ORCID: 0009-0000-5561-4956

Tretyakov Daniil Ruslanovich, Master's degree student
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

ПРЕОДОЛЕНИЕ СЕМАНТИЧЕСКОГО РАЗРЫВА МЕЖДУ BIM И ERP: ГИБРИДНЫЙ ПОДХОД К ОБОГАЩЕНИЮ ДАННЫХ

OVERCOMING THE SEMANTIC GAP BETWEEN BIM AND ERP: A HYBRID APPROACH TO DATA ENRICHMENT

В статье рассматривается проблема семантической интероперабельности между средами информационного моделирования зданий (BIM) и корпоративными системами управления ресурсами (ERP). Несмотря на широкое внедрение BIM, процесс передачи атрибутивных данных для закупок и сметного нормирования остается узким местом из-за неполноты и неструктурированности информации в моделях. На основе критического анализа современных исследований и международного опыта интеграции BIM-ERP обосновывается необходимость гибридного подхода, сочетающего автоматизацию рутинных операций через Revit API с сохранением экспертного контроля на этапе верификации данных. Предлагается концепция инструментария, который через экстернализацию данных в табличный формат и алгоритмы нечеткого поиска позволяет связать геометрию семейств с позициями единого номенклатурного справочника (ЕНС). Делается вывод, что предложенный подход обеспечивает необходимое качество данных для автоматического формирования ведомостей материалов.

Ключевые слова: BIM, Revit API, ERP, семантический разрыв, ЕНС, автоматизация проектирования, управление данными, гибридный подход.

The article addresses the problem of semantic interoperability between Building Information Modeling (BIM) environments and Enterprise Resource Planning (ERP) systems. Despite the widespread adoption of BIM, the transfer of attribute data for procurement and estimate standardization remains a bottleneck due to incomplete and unstructured information in models. Based on a critical analysis of contemporary research and international experience in BIM-ERP integration, the necessity of a hybrid approach is substantiated. This approach combines the automation of routine operations via the Revit API with the preservation of expert control at the data verification stage. A concept of a toolkit is proposed that, through data externalization into a tabular format and fuzzy search algorithms, enables the linking of family geometry with positions of the Unified Nomenclature Directory (UND). It is

concluded that the proposed approach ensures the necessary data quality for the automated generation of bills of materials.

Keywords: BIM, Revit API, ERP, semantic gap, UND, design automation, data management, hybrid approach.

Современное строительное проектирование невозможно представить без технологий информационного моделирования. BIM-модель сегодня выступает не просто как трехмерное представление здания, но и как источник данных для последующих этапов жизненного цикла объекта. Однако на практике потенциал модели часто остается нереализованным при переходе от проектирования к закупкам материалов. Ключевая причина кроется в так называемом семантическом разрыве между геометрическим представлением элементов в BIM-среде и их атрибутивным наполнением, необходимым для систем управления ресурсами предприятия.

Точные ведомости объемов материалов (BOM), формируемые на основе кодов единого номенклатурного справочника (ЕНС), требуют, чтобы каждый элемент модели был идентифицирован однозначно. Однако анализ реальных проектов показывает, что значительная часть семейств, особенно в наследуемых библиотеках, представляет собой «чистую геометрию» без необходимых параметров. Ручная обработка таких массивов данных, которые могут насчитывать тысячи единиц, нецелесообразна из-за высокой трудоемкости и неизбежных ошибок. Цель данной работы – на основе анализа современных исследований и практик предложить методологический подход, позволяющий автоматизировать процесс обогащения данных в BIM-моделях для их бесшовной интеграции с ERP-системами.

Анализ отечественной литературы выявляет острый конфликт между декларируемой ролью классификаторов и их реальным использованием. В методических рекомендациях НОСТРОЙ справедливо отмечается, что ЕНС должна служить основой единого информационного пространства на протяжении всего жизненного цикла объекта. Однако следом констатируется наличие критического разрыва между формальным статусом классификатора и его применением в BIM-среде. Основная причина видится в отсутствии простых и массовых инструментов для связывания геометрических объектов с кодами ЕНС[1].

Этот разрыв имеет вполне конкретные последствия для проектных организаций. Как показывают исследования А. Н. Демидовой, подготовка ведомостей материалов нередко превращается в «двойную работу». Сначала создается детальная информационная модель, но затем данные для закупок практически вручную извлекаются из чертежей и спецификаций

[1] Методические рекомендации по применению Единой номенклатурной системы (ЕНС) в условиях цифрового проектирования. М. : НОСТРОЙ, 2022. 112 с.

в электронные таблицы [1]. Исследователи видят выход в разработке специализированных программных «мостиков», способных извлекать и обогащать данные атрибутами внешних классификаторов.

Международный опыт интеграции BIM и ERP не только подтверждает актуальность проблемы, но и предостерегает от упрощенных решений. Интересный опыт в этом направлении представлен в работе [2]. Исследователям на реальных проектах удалось показать, насколько значительным может быть эффект от внедрения современных методов анализа данных и автоматизации – по некоторым оценкам, трудозатраты на подготовку отчетной документации сокращаются в разы. Однако другие исследователи указывают на серьезные риски. Так, S. Anwer и др. [3], исследуя вопросы обработки данных в строительных задачах, подчеркивают критическую важность качества исходной информации – ошибки, допущенные на этапе сбора или первичной обработки, неизбежно ведут к неверным результатам, что полностью созвучно известному принципу «garbage in – garbage out». Это наблюдение является ключевым для понимания того, какой подход может быть эффективным.

Фундамент для любого решения по обмену данными закладывают международные стандарты. В частности, ISO 19650 вводит принцип определенности информационных потребностей на каждом этапе жизненного цикла[1]. Разрабатываемый инструмент, по сути, призван реализовать одну из таких потребностей – снабдить элементы модели кодами классификатора для генерации BOM. Практическим воплощением этого принципа является концепция Model View Definitions (MVD) и Information Delivery Manual (IDM), формализованная в стандарте ISO 29481. Этот стандарт определяет, какие именно данные и для какой цели должны быть извлечены из модели на различных этапах[2]. Данная концепция служит мощным методологическим прототипом: любой плагин, ориентированный на BOM, можно рассматривать как создание специализированного «вида» модели.

С технической стороны, ключевым инструментом становится Revit API. В работе [4] показано, что программный доступ к элементам информационной модели открывает широкие возможности для автоматизации – от извлечения данных до управления процессами на стройплощадке, позволяя обходить ограничения ручного труда. Более того, исследователи подчеркивают, что применение оптимизированных паттернов программирования (эффективное

[1] ISO 19650-1:2018. Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Information management using building information modelling – Part 1: Concepts and principles. 2018. 46 p.

[2] ISO 29481-1:2016. Building information models – Information delivery manual – Part 1: Methodology and format. – Geneva: International Organization for Standardization, 2016. 38 p.

использование фильтров, кэширование, минимизация транзакций) позволяет сократить время выполнения операций на 40-60 %, что критично при работе с тысячами элементов.

При этом предложенная методологическая концепция не ограничена конкретной программной средой. В условиях перехода на отечественное программное обеспечение, алгоритмы могут быть адаптированы для российских ТИМ-платформ (Renga, nanoCAD BIM и др.), имеющих открытые интерфейсы программирования.

Однако сам по себе доступ к данным не решает проблему идентификации. Как связать абстрактное наименование семейства Revit («Кран шаровый Ду50») с конкретной позицией в классификаторе? По сути, это задача смыслового сопоставления, и здесь на помощь приходят алгоритмы анализа данных. Хорошая иллюстрация – работа [5]. Хотя авторы решали задачи компьютерного зрения в строительстве, логика та же: ни один метод не дает идеального результата по отдельности. Авторы убедительно показали, что наиболее надежным оказывается комбинированный подход – быстрые алгоритмы первичной фильтрации отсеивают заведомо неподходящие варианты, а затем более сложные модели берут на себя финальную классификацию. Этот принцип напрямую применим и к нашей задаче: сначала автоматическое сопоставление по ключевым словам, затем экспертная верификация.

Наконец, любой процесс обмена данными должен управляться с точки зрения качества. Фундаментальные принципы управления качеством данных (Data Quality Management), изложенные T. C. Redman [6], выделяют шесть ключевых измерений: точность, полнота, непротиворечивость и др. В контексте BIM-ERP эти измерения напрямую проецируются на задачу: нам нужно не просто заполнить параметры, но обеспечить их точное соответствие ЕНС и полный охват всех элементов модели. Именно такой подход реализован в недавней работе [7]. Разработанная авторами автоматизированная система оценки качества инженерных BIM-моделей использует набор количественных метрик, позволяющих не только выявлять несоответствия, но и вычислять интегральный показатель качества (Average Quality Score). Применение этой системы на реальном проекте продемонстрировало ее эффективность, сократив количество ошибок в модели почти на треть. Очевидно, что аналогичный подход с введением измеримых показателей и автоматизированной проверки может быть положен в основу модуля аудита для задач наполнения атрибутов ЕНС.

Синтез выявленных в литературе требований и рисков приводит к необходимости гибридного подхода. Чисто автоматическое решение, как показано выше, чревато тиражированием ошибок. Полностью ручной процесс неприемлем по трудозатратам. Эффективным представляется разделение труда: машина берет на себя рутинные, масштабируемые операции, а человек сохраняет контроль на ключевых, семантически сложных этапах.

Предлагаемая концепция инструментария включает следующие этапы:

1. Автоматический аудит и экстернализация. Плагин на основе Revit API (рис. 1) сканирует проект, собирая все используемые семейства, и выгружает их в универсальный табличный формат Excel (рис. 2). Этот формат выступает нейтральным артефактом, удобным для работы инженеров, не владеющих Revit. В таблице фиксируются не только наименования и количество элементов, но и индикаторы наличия или отсутствия кодов ЕНС, что реализует принципы аудита по методике В. С. Широковой и др. [8].

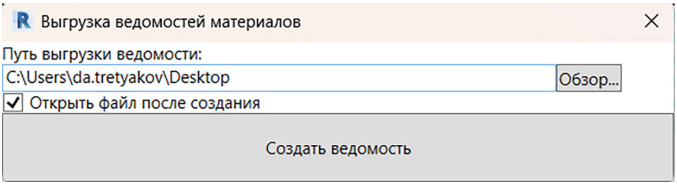


Рис. 1. Интерфейс плагина «BOM» на основе Revit API

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	RTE_Код ЕНС	ADSK_Наименование	ADSK_Марка	Ед. изм.	Количество	ADSK_Масса	RTE_Полное наименование ЕНС	Статус
2								
3		Трубопроводы						
4	00-10089592	Труба 15х2,8 ГОСТ 3262-75	ГОСТ 3262-75	м	0,3	1,28	Труба 15х2,8 ГОСТ 3262-75	Filled
5	00-10089594	Труба 25х3,2 ГОСТ 3262-75	ГОСТ 3262-75	м	17,8	2,39	Труба 25х3,2 ГОСТ 3262-75	Filled
6	00-10089564	Труба 57х3,5 ГОСТ 10704-91/В-20 ГОСТ 10705-80	ГОСТ 10704-91	м	9,3	4,62	Труба 57х3,5 ГОСТ 10704-91/В-20 ГОСТ 10705-80	Filled
7	00-10089574	Труба 89х3,5 ГОСТ 10704-91/В-20 ГОСТ 10705-80	ГОСТ 10704-91	м	118,3	7,38	Труба 89х3,5 ГОСТ 10704-91/В-20 ГОСТ 10705-80	Filled
8	00-10089544	Труба 108х4 ГОСТ 10704-91/В-20 ГОСТ 10705-80	ГОСТ 10704-91	м	2,5	10,26	Труба 108х4 ГОСТ 10704-91/В-20 ГОСТ 10705-80	Filled
9	00-10089576	Труба 159х4,5 ГОСТ 10704-91/В-20 ГОСТ 10705-80	ГОСТ 10704-91	м	0,2	17,15	Труба 159х4,5 ГОСТ 10704-91/В-20 ГОСТ 10705-80	Filled
10	00-10201423	Труба 219х6 ГОСТ 10704-91/В-20 ГОСТ 10705-80	ГОСТ 10704-91	м	8,9	26,39	Труба 219х6 ГОСТ 10704-91/В-20 ГОСТ 10705-80	Filled
11	00-10201424	Труба 273х7 ГОСТ 10704-91/В-20 ГОСТ 10705-80	ГОСТ 10704-91	м	157	33,05	Труба 273х7 ГОСТ 10704-91/В-20 ГОСТ 10705-80	Filled
12		Канализация бытовая (К1)						
13		Трубопроводы						
14	00-10089589	Труба 32х3,2 ГОСТ 3262-75	ГОСТ 3262-75	м	0,1	3,1	Труба 32х3,2 ГОСТ 3262-75	Filled
15	00-10089596	Труба 50х3,5 ГОСТ 3262-75	ГОСТ 3262-75	м	9,5	4,9	Труба 50х3,5 ГОСТ 3262-75	Filled
16	00-10099999	Труба PP-H 32х1,8 ГОСТ 32414-2013	ГОСТ 32414-2013	м	0,6	1,25	Труба PP-H 32х1,8 ГОСТ 32414-2013	Filled
17	00-10028587	Труба PP-H 50х1,8 ГОСТ 32414-2013	ГОСТ 32414-2013	м	7,9	0,24	Труба PP-H 50х1,8 ГОСТ 32414-2013	Filled
18	00-10030866	Труба PP-H 110х3,5 ГОСТ 32414-2013	ГОСТ 32414-2013	м	14	0,73	Труба PP-H 110х3,5 ГОСТ 32414-2013	Filled
19	00-10206886	Труба PP-R SDR 11/S 5-40х3,7 PN10 ГОСТ 32415-2013	ГОСТ 32415-2013	м	0,4	0,41	Труба PP-R SDR 11/S 5-40х3,7 PN10 ГОСТ 32415-2013	Filled
20		Водопровод хозяйственно-питьевой (В1)						
21		Трубопроводы						
22	00-10109484	Труба PP-R SDR 11/S 5-20х1,9 PN10 ГОСТ 32415-2013	ГОСТ 32415-2013	м	7,9	0,12	Труба PP-R SDR 11/S 5-20х1,9 PN10 ГОСТ 32415-2013	Filled
23	00-10109482	Труба PP-R SDR 11/S 5-25х2,3 PN10 ГОСТ 32415-2013	ГОСТ 32415-2013	м	9,4	0,15	Труба PP-R SDR 11/S 5-25х2,3 PN10 ГОСТ 32415-2013	Filled
24	00-10152017	Труба PP-R SDR 11/S 5-50х4,6 PN10 ГОСТ 32415-2013	ГОСТ 32415-2013	м	3,4	1,29	Труба PP-R SDR 11/S 5-50х4,6 PN10 ГОСТ 32415-2013	Filled
25	00-10152018	Труба PP-R SDR 11/S 5-63х5,8 PN10 ГОСТ 32415-2013	ГОСТ 32415-2013	м	1,7	1,07	Труба PP-R SDR 11/S 5-63х5,8 PN10 ГОСТ 32415-2013	Filled
26	00-10089608	Труба Ц-15х2,8 ГОСТ 3262-75	ГОСТ 3262-75	м	0,2	1,28	Труба Ц-15х2,8 ГОСТ 3262-75	Filled

Рис. 2. Выгруженная ведомость из Revit в формате Excel

2. Экспертное наполнение и верификация. Инженер ПТО или сметчик работает с таблицей. Для новых, неидентифицированных позиций он может использовать результаты автоматического нечеткого сопоставления с эталонной библиотекой как подсказку (каскадный подход Ли и Гомеса), но окончательное решение о присвоении кода ЕНС принимает человек. Это позволяет полностью исключить риск неверной автоматической классификации. Статусы «New», «Filled», «Ignore» в таблице обеспечивают прозрачность процесса.

3. Автоматическая реинтеграция. После того как эксперт заполнил коды и наименования ЕНС в таблице, плагин считывает эти данные и пакетно

обновляет соответствующие параметры в семействах проекта. На этом этапе автоматизация возвращается, обеспечивая непротиворечивость и полноту данных во всей модели (рис. 3).

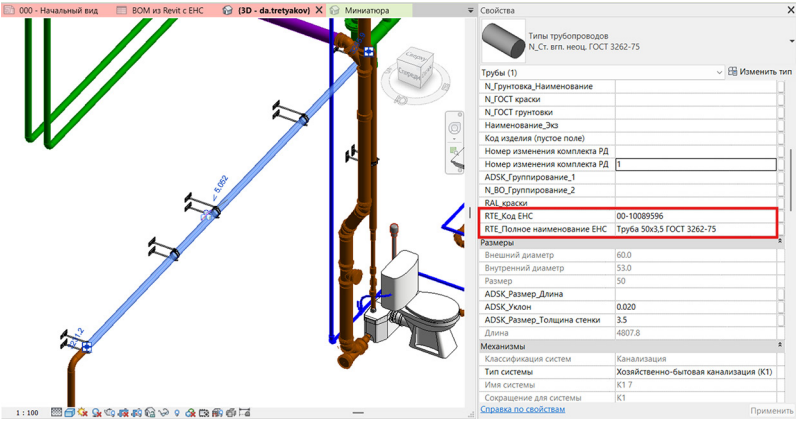


Рис. 3. Заполненные параметры в Revit после автоматической реинтеграции

Такой подход решает ключевую задачу: он позволяет связать абстрактную 3D-форму (семейство Revit) с конкретной позицией в классификаторе ЕНС, не возлагая на алгоритм непосильную задачу семантической интерпретации и не оставляя человека один на один с тысячами файлов. Модель становится пригодной для автоматического формирования точных ведомостей материалов.

Проведенный анализ показывает, что проблема интеграции BIM-моделей с ERP-системами носит комплексный характер и не может быть решена исключительно техническими средствами. Требуется методологически выверенный подход, учитывающий как возможности автоматизации, так и необходимость экспертного контроля качества данных.

Предлагаемый гибридный подход, основанный на экстернализации данных, их полуавтоматическом обогащении с использованием алгоритмов нечеткого поиска и обратной реинтеграции через Revit API, представляет собой практический ответ на вызовы, описанные в современной литературе. Он не только сокращает трудозатраты на подготовку BOM, но и обеспечивает высокую точность данных, устраняя семантический разрыв между проектированием и управлением ресурсами. Дальнейшее развитие подхода видится в повышении интеллектуальности алгоритмов сопоставления за счет накопления базы успешных решений, при сохранении ключевой, контролирующей роли эксперта.

Литература

1. *Демидова А.Н.* Цифровая трансформация сметного нормирования в условиях внедрения BIM-технологий // Сметно-договорная работа в строительстве. 2026. № 2. С. 29–35.

2. *Salih F., Eissa R., El-Adaway I.H.* Data-Driven Analysis of Progressive Design Build in Water and Wastewater Infrastructure Projects // Journal of Construction Engineering and Management. 2024. Vol. 150, No. 1. P. 1–18. DOI: 10.1061/JCEMD4.COENG-13824. EDN: HFFHET.

3. *Anwer S., Li H., Antwi-Afari M.* et al. Evaluation of Data Processing and Artifact Removal Approaches Used for Physiological Signals Captured Using Wearable Sensing Devices during Construction Tasks // Journal of Construction Engineering and Management. 2024. Vol. 150, No. 1. DOI: 10.1061/jcemd4.coeng-13263. EDN: BRBPJZ.

4. *Lauer, A. P. R., Benner E., Stark T., Klassen S., Abolhasani S., Schroth L., Gienger A., Wagner H.J., Schwieger V., Menges A., Sawodny O.* Automated on-site assembly of timber buildings on the example of a biomimetic shell // Automation in Construction. 2023. Vol. 156. P. 105118. DOI: 10.1016/j.autcon.2023.105118. EDN: ERQSOF.

5. *Mondal T.G., Jahanshahi M.R., Wu Z.Y.* Deep Learning-Based RGB-D Fusion for Multimodal Condition Assessment of Civil Infrastructure // Journal of Computing in Civil Engineering. 2023. Vol. 37, No. 4. DOI: 10.1061/JCCEE5.CPENG-5197. EDN: QNLYZU.

6. *Redman T.C.* Data Quality: The Field Guide. 1st ed. Boston: Digital Press, 2021. 245 p.

7. *Valinejadshoubi M., Moselhi O., Iordanova I., Valdivieso F., Shakibabarough A., Bagchi A.* The Development of an Automated System for a Quality Evaluation of Engineering BIM Models: A Case Study // Applied Sciences. 2024. Vol. 14, No. 8. P. 3244. DOI: 10.3390/app14083244. EDN: GNDBZZ.

8. *Широкова В.С., Петроченко М.В., Мелехин Е.М.* Методика аудита информационной модели здания для оценки реализации сценариев использования // Вестник МГСУ. 2025. Т. 20, № 4. С. 569–583. DOI: 10.22227/1997-0935.2025.4.569-583. EDN: LRPEHQ.

УДК 69:004.9
DOI: 10.23968/BIMAC.2026.030

Хисамов Данил Константинович, магистрант
(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)
E-mail: hisamov.dk@edu.spbstu.ru

Khisamov Danil Konstantinovich, Master's degree student
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ 4D-МОДЕЛИРОВАНИЯ В РОССИЙСКОЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ ПРАКТИКЕ

PROBLEMS AND PROSPECT OF 4D MODELING TECHNOLOGIES IMPLEMENTATION IN RUSSIAN CONSTRUCTION PRACTICE

В статье рассматриваются ключевые проблемы и перспективы внедрения 4D-моделирования в российской строительной практике. Анализируются современные возможности 4D-моделирования, успешные примеры применения технологии в международной и российской практике, а также основные барьеры, препятствующие широкому распространению данной технологии в России. Исследование показывает, что основными проблемами являются недостаток квалифицированных кадров, несовершенство нормативной базы, высокая стоимость программного обеспечения и необходимость импортозамещения иностранных решений. Предложетны пути решения выявленных проблем, включающие развитие образовательных программ, совершенствование нормативно-правовой базы и создание отечественного программного обеспечения.

Ключевые слова: 4D-моделирование, информационная модель, цифровые технологии в строительстве, управление проектами, BIM, ТИМ, визуализация процесса строительства, календарно-сетевой график.

The article examines the key problems and prospects of implementing 4D modeling technologies in Russian construction practice. The study analyzes modern capabilities of 4D modeling, successful examples of technology application in international and Russian practice as well as the main barriers preventing the widespread adoption of this technology in Russia. The research shows that the main problems are the lack of qualified personnel, imperfect regulatory framework high cost of software, and the need for import substitution of foreign solutions. Solutions to the identified problems are proposed, including the development of educational programs, improvement of the regulatory framework, and creation of domestic software.

Keywords: 4D modeling, information model, digital technologies in construction, project management, BIM, construction process visualization, schedule network diagram.

Современная строительная отрасль находится в процессе активной цифровизации, направленной на повышение эффективности управления проектами на всех этапах жизненного цикла объектов капитального строительства. 4D-моделирование представляет собой технологию, объединяющую 3D-модель здания или сооружения с календарно-сетевым графиком производства работ, что позволяет визуализировать процесс строительства во времени [1]. Данная технология обеспечивает возможность выявления пространственно-временных коллизий, оптимизации последовательности выполнения работ, повышения точности планирования и контроля строительного процесса [2].

В международной практике 4D-моделирование успешно применяется на крупных строительных проектах уже более двух десятилетий. Так, в Великобритании в 2011 году было принято решение об обязательном применении BIM Level 2 (BIM Level 2 – уровень зрелости информационного моделирования) для всех государственных проектов с 1 апреля 2016 года. Это привело к значительному росту внедрения технологии в строительной отрасли [3]. В России, несмотря на активное развитие нормативной базы и принятие поставлений об обязательном применении технологий информационного моделирования (далее – ТИМ) с 2024 года, внедрение 4D-моделирования сталкивается с рядом серьезных препятствий [4]. В международной профессиональной среде под аббревиатурой BIM (Building Information Modeling) понимают как сам процесс информационного моделирования здания, так и его результат – цифровую модель объекта. В российской нормативно-правовой практике для разграничения этих понятий введена уточнённая терминология: процесс обозначается как ТИМ, а конечная модель – как ЦИМ (цифровая информационная модель).

Целью данной научной статьи является выявление ключевых проблем внедрения технологий 4D-моделирования в российской строительной практике и определение перспективных направлений развития данной технологии.

Задачи исследования:

– провести критический обзор современного состояния применения 4D-моделирования в мировой и российской практике;

– выявить основные технические, организационные и нормативные барьеры внедрения технологии;

– проанализировать экономическую эффективность применения 4D-моделирования;

– определить пути преодоления выявленных проблем и перспективы развития технологии в России.

Мировая практика демонстрирует значительные успехи в 4D-моделировании на крупных строительных объектах. Например, в проекте моста Рандсельва в Норвегии длиной 634 метра параметрическое

4D-проектирование было применено для 70 % элементов моста, включая 200 000 арматурных стержней. Норвежская администрация дорог отметила, что применение BIM-технологий снизило количество корректировок по сравнению с традиционным 2D-проектированием [5].

В России процесс внедрения технологий информационного моделирования активизировался в последние годы благодаря принятию ряда нормативных документов. Постановление Правительства РФ № 331[1] установило, что застройщик, технический заказчик, лицо, обеспечивающее или осуществляющее подготовку обоснования инвестиций, и (или) лицо, ответственное за эксплуатацию объекта капитального строительства, должны формировать и вести информационную модель объекта.

В России действует система национальных стандартов серии ГОСТ Р по информационному моделированию, включая ГОСТ Р 10.00.00.01–2025[2], утвержденный Росстандартом и вступающий в силу как обязательный с 1 апреля 2026 года. Также действуют своды правил СП 301.1325800.2017[3], СП 331.1325800.2017[4] и СП 333.1325800.2020[5], регламентирующие различные аспекты применения ТИМ.

Однако нормативные требования к 4D-моделирования в России остаются недостаточно разработанными [6]. Единственное, что можно найти, – это упоминания 4D-моделирования в отдельных документах, что, однако, создаёт неопределённость для участников строительного процесса.

По данным на март 2025 года, около 30 % застройщиков в России уже применяют или тестируют BIM. При этом доля квадратных метров жилья, строящегося с использованием BIM на этапе строительства, достигла 26 % [7].

Согласно данным компании «Айбим», в России только 5-7 % компаний применяют BIM в своих проектах, причём 80 % используют BIM на этапе

[1] Постановление Правительства РФ от 5 марта 2021 г. № 331 «Об установлении случаев, при которых застройщиком, техническим заказчиком, лицом, обеспечивающим или осуществляющим подготовку обоснования инвестиций, и (или) лицом, ответственным за эксплуатацию объекта капитального строительства, обеспечиваются формирование и ведение информационной модели объекта капитального строительства» (с изм. и доп.).

[2] ГОСТ Р 10.00.00.01–2025. Национальный стандарт РФ. «Единая система информационного моделирования. Термины и определения».

[3] СП 301.1325800.2017 «Информационное моделирование в строительстве. Правила организации работ производственно-техническими отделами».

[4] СП 331.1325800.2017 «Информационное моделирование в строительстве. Правила обмена между информационными моделями объектов и моделями, используемыми в программных комплексах».

[5] СП 333.1325800.2020 «Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла».

проектирования, 15 % – при строительстве и только 5 % – при эксплуатации [8].

Для создания 4D-моделей в России традиционно использовались зарубежные программные продукты, такие как Synchro Pro (Bentley Systems), Autodesk Navisworks, а также Oracle Primavera P6 и Microsoft Project для календарно-сетевого планирования.

В настоящее время на российском рынке представлены следующие отечественные программные продукты для 4D-моделирования: Pilot-BIM, PLAN-R, 7D Modeler, Sarex.

Несмотря на активное развитие отечественных решений, эксперты отмечают, что по функционалу и удобству работы они пока уступают зарубежным лидерам. 55,4 % респондентов исследования компании «СиСофт Девелопмент» считают, что рынку не хватает российских решений для информационного моделирования, а 39,1 % связывают это с недостаточной квалификацией разработчиков [9].

Одним из ключевых барьеров внедрения 4D-моделирования в России остаётся дефицит кадров: отрасли не хватает как начинающих специалистов, владеющих базовыми навыками ТИМ, так и опытных руководителей, способных наладить и закрепить эффективные процессы внутри компании. Дополнительную проблему создает низкая вовлеченность части участников строительства – новые подходы нередко воспринимаются сотрудниками как усложнение привычной работы.

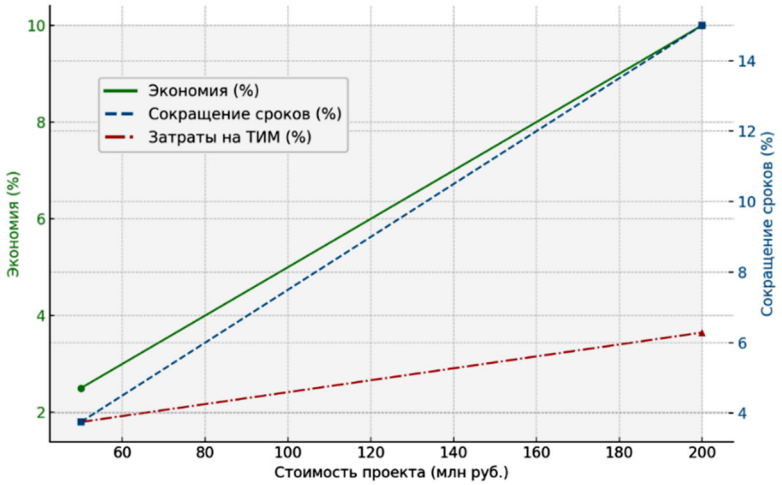
Первоначальные инвестиции во внедрение 4D-моделирования включают не только затраты на программное обеспечение, но и расходы на обучение персонала, модернизацию оборудования, создание новых бизнес-процессов. Это может стать серьезным препятствием для небольших компаний или проектов с ограниченным бюджетом [10].

Однако экономический эффект от внедрения 4D-моделирования значителен. Исследования показывают, что применение 4D BIM позволяет получить сокращение сроков строительства на 15-25 % и снижение затрат на 10-20 % за счёт уменьшения ошибок координации и повторных работ, что в свою очередь обеспечивает быструю окупаемость инвестиций – ROI может достигать от 133 % до 243 % в первый год реализации проекта [11].

Для наглядной демонстрации зависимости эффективности внедрения ТИМ от масштаба проекта на основе данных источника [11] был построен график, представленный на рисунке. Ввиду отсутствия прямых эмпирических данных о распределении эффекта по проектам разной стоимости, график построен методом аналитической интерполяции. Диапазон стоимости проектов (60-200 млн руб.) выбран как репрезентативный для категории средних и крупных инвестиционно-строительных проектов, к которым применимы выводы цитируемого исследования. Процентные показатели эффективности (15-25 % сокращения сроков, 10-20 % экономии) спроецированы на

этот диапазон для выявления тренда: с ростом бюджета абсолютная выгода от применения 4D BIM увеличивается.

По оси абсцисс откладывается стоимость проекта (в млн руб.), в то время как на оси ординат представлены: степень экономии финансовых ресурсов в результате внедрения 4D BIM (*зелёная линия*), уменьшение продолжительности строительства (*синяя линия*), затраты на внедрение ТИМ как доля от стоимости проекта (*красная линия*).



Сокращение сроков и уменьшение стоимости строительства при внедрении ТИМ

Для преодоления дефицита квалифицированных кадров требуется системное обновление образования на всех уровнях: ведущие технические вузы (в том числе СПбГАСУ и СПбПУ) уже интегрируют BIM/ТИМ в учебные планы и проводят ТИМ-чемпионаты. Одновременно ключевым условием успешного внедрения 4D-моделирования становится развитие нормативной базы: нужны прозрачные и единообразные требования к формированию 4D-моделей на протяжении всего жизненного цикла объекта. Стратегическое значение также имеет импортозамещение ПО, предлагающее функциональную зрелость отечественных решений, удобство работы и совместимость с различными форматами данных. Важно последовательно повышать информированность всех участников строительства о преимуществах 4D-подхода при поддержке профессиональных объединений (например, НОСТРОЙ) и государства.

В России внедрение 4D-моделирования сталкивается с рядом серьезных проблем: недостатком квалифицированных кадров, несовершенством

нормативной базы, необходимостью импортозамещения программного обеспечения, высокими первоначальными затратами. Однако создание благоприятных условий через развитие образования, совершенствование законодательства, поддержку разработчиков отечественного ПО и популяризацию технологии может существенно ускорить процесс цифровизации строительной отрасли (см. таблицу).

Препятствия внедрения 4D ТИМ и пути их решения

Основная проблема	Предлагаемое решение
Недостаток квалифицированных кадров	Развитие образовательных программ, курсы, Национальная техническая инициатива (НТИ)
Дороговизна ПО и уход зарубежных компаний	Импортозамещение, поддержка отечественного ПО
Непонимание экономических выгод	Пилотные проекты, расчет ROI, мероприятия по повышению осведомленности
Отсутствие готовности к изменениям у сотрудников	Повышение осведомленности, обучение через практику

Обязательное применение ТИМ для проектов с бюджетным финансированием и объектов долевого строительства, введённое с 2024 года, создает правовую основу для массового внедрения. С учётом растущего интереса компаний к цифровым технологиям и активного развития образования, совершенствования законодательства, поддержку ПО можно ожидать, что в ближайшие 3-5 лет 4D-моделирование станет стандартной практикой в российском строительстве, особенно на крупных и технически сложных объектах.

Перспективы развития 4D-моделирования в России связаны с интеграцией с другими цифровыми технологиями – искусственным интеллектом, цифровыми двойниками. Комплексное применение этих технологий позволит вывести управление строительными проектами на качественно новый уровень.

Литература

1. *Бовтеев С.В.* Современное состояние и перспективы применения 4D-моделирования в российской практике строительства // Вестник гражданских инженеров. 2023. № 2(97). С. 65–74. DOI: 10.23968/1999-5571-2023-20-2-65-74. EDN: PCQSAJ.

2. *Крюков К.М.* Оценка преимуществ и проблем внедрения 4D-моделирования в строительство // Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий. 2025. Т. 4, № 2. С. 75-84. DOI: 10.23947/2949-1835-2025-4-2-75-84. EDN: DTRROH.

3. *Куприяновский В., Казаринов А., Талапов В.* Некоторый анализ международного опыта использования BIM для объектов транспортной (железнодорожной) инфраструктуры // САПР и графика. 2021. № 3(293). С. 16–25. EDN: WSHIDH.

4. Трудности внедрения BIM-технологий на строительных площадках и пути их решения. URL: https://tivergroup.com/blog/trudnosti-vnedreniya-bim-tehnologij/ (дата обращения: 22.11.2025).

5. *Романович М.А., Ткаченко О.Е.* Применение 4D-моделирования при контроле сроков строительства: анализ мирового и отечественного опыта // Информационное моделирование в задачах строительства и архитектуры : Мат-лы VIII Междунар. науч.-практ. конф. Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2025. С. 14–19. DOI 10.23968/BIMAC.2025.003. EDN: GDWFHG.

6. *Бовтеев С.В.* Применение 4D-моделирования для планирования и организации строительства объектов и их комплексов // Системные технологии. 2023. № 4(49). С. 61–69. DOI 10.55287/22275398_2023_4_61. EDN: NWAVOD.

7. Обязательное применение ТИМ/BIM в России с 2025 года. URL: https://gostassistent.ru/article/obyazatelnoe-primenenie-tim-bim-v-rossii-s-2025-goda (дата обращения: 22.11.2025).

8. BIM-технологии в России. URL: https://bim-info.ru/articles/bim-tekhnologii-v-rossii/ (дата обращения: 22.11.2025).

9. Названы препятствия для развития рынка информационного моделирования. URL: https://sber.pro/publication/nazvani-prepyatstviya-dlya-razvitiya-rinka-informatsionnogo-modelirovaniya/ (дата обращения: 22.11.2025).

10. *Зубов С.В.* Применение 4D-моделирования в строительстве высотных зданий // Современные строительные материалы и технологии : сб. науч. ст. VII Междунар. конф. Калининград – Санкт-Петербург : БФУ им. И. Канта, 2025. С. 307–314. EDN: JNCNMC.

11. Цифровое управление строительством коттеджных посёлков: эффект 4D/5D-BIM и IoT-датчиков на сроки, бюджет и качество. URL: https://scilead.ru/article/10090-tsifrovoe-upravlenie-stroitelstvom-kottedzhn (дата обращения: 22.11.2025).

Содержание

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТИМ (BIM)

Hazrat U., Ahmed A., Romanovich M. A.
Challenges, benefits, and future prospects of 4D BIM implementation
in Pakistan's construction sector 3

Горин А. А.
Международный опыт применения 4D-моделирования
при контроле исполнения строительного проекта 12

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗДАНИЙ

Аверина Т. А.
Цифровизация и управление строительными проектами:
новые технологии и функциональные области. 18

Аверина Т. А., Писарева А. А.
ИИ-ассистент на основе компьютерного зрения для контроля качества:
концепция и дорожная карта внедрения в жилищном строительстве 24

Бовтеев С. В., Мягкова М. А., Шеломенцева У. И.
Анализ возможностей искусственного интеллекта в информационном
моделировании управления строительными проектами 31

Болдырев Г. Г.
Цифровое моделирование изменчивости грунтов 37

Згода Ю. Н.
Анализ влияния генеративных инструментов на эффективность
больших языковых моделей в задачах архитектурного проектирования 46

Иванов К. Е., Оксанен Д. С., Ведерникова А. А.
Алгоритмизированное проектирование жилых массивов
на искусственно созданных территориях на основе BIM+GIS+AI. 52

Каракозова И. В., Стеблюк Л. Н.
Требования к разработке сметных норм в условиях
их интеграции в цифровую информационную модель 64

Конопацкий Е. В., Безсольнов М. В.
Инновационное представление геометрических объектов
в информационных моделях зданий 71

Мазняк Е. В.
Адаптированные модели ИИ для анализа потоковых данных
в городских цифровых двойниках 79

Морозов С. В., Аришин С. В., Леушин И. В.
Стандарт IFC как онтологическая модель строительной отрасли 85

Просвирнин Е. С., Наместников А. М.
Умный поиск требований в ГОСТ и СП: RAG-система на базе онтологий 94

Романович М. А., Ткаченко О. Е.
Преимущества применения 4D-моделирования для повышения
эффективности управления рисками 102

Семенов В. А., Зорин Е. М., Шило А. В.
Web-редактор машинно-интерпретируемых требований в формате IDS++ 108

ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТИМ (BIM)

Елисеев Е. А.
Автоматизация оценки условий строительства фундаментов
мостовых опор с применением BIM 119

Ермолин Д. С., Васильев Н. А., Семенов А. А.
Опыт подготовки расчетной модели здания
на основе информационной модели. 128

Исхакова Э. Р., Царитова Н. Г.
Анализ возможностей отечественного программного обеспечения
для информационного моделирования железобетонных
конструкций резервуаров 137

Клековкин Е. А., Новиков М. Ю., Тарануха Н. Л.
Автоматизация вариантного проектирования несущих конструкций
решетчатых башенных сооружений на основе интегрированной
параметризации моделирования. 144

Лямшев Н. Е., Букунова О. В.
Автоматизация расчета и маркировки площади окон
с использованием визуального программирования в Dynamo 155

Маметова Т. А., Дотц С. А.
Анализ интероперабельности данных ArchiCAD и Renga
с помощью IFC-формата 165

Халиуллина Д. Р.
Методы цифрового управления ТИМ-проектированием систем опор
и креплений ОВК на основе принципов ответственного ведения бизнеса 171

ДОКЛАДЫ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

Байдина И. А.
Сравнение инструментов разработчика в зарубежных
и отечественных системах автоматизированного проектирования 177

Васильевская В. Н.
Формирование исполнительной документации в строительстве
на основе технологий информационного моделирования. 184

Зобова М. А.
Практический опыт использования ТИМ на всех этапах
жизненного цикла мостового сооружения 190

Лукина Ю. Д.
Анализ методов управления проектными рисками
с использованием 4D BIM. 198

Петухова В. А.
Применение 4D ТИМ для эксплуатации и ремонта инженерных систем:
вызовы внедрения и перспективные направления развития 204

Спиридонова Е. В.
Разработка схемы планировочной организации земельного участка
с применением 4D-моделирования 211

Третьяков Д. Р.
Преодоление семантического разрыва между BIM и ERP:
гибридный подход к обогащению данных 218

Хисамов Д. К.
Проблемы и перспективы внедрения технологий 4D-моделирования
в российской строительной практике 225

Научное издание

**ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
В ЗАДАЧАХ СТРОИТЕЛЬСТВА
И АРХИТЕКТУРЫ**

Материалы IX Международной научно-практической конференции

Компьютерная верстка *В. С. Весниной*

Подписано к печати 17.04.2026. Формат 60×84 $^{1}/_{16}$. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 13,66. Тираж 300 экз. Заказ 39. «С» 25.
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.
190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.
Отпечатано на МФУ. 198095, Санкт-Петербург, ул. Розенштейна, д. 32, лит. А.

ДЛЯ ЗАПИСЕЙ