

ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЗАДАЧАХ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ

Материалы VIII Международной научно-практической конференции

Proceedings of VIII International Conference

BIMAC 2025

ТИМСПбГАСУ

Конференция организована в рамках реализации
инновационного образовательного проекта

«Инновационная методика формирования цифровых профессиональных компетенций обучающихся и специалистов строительной отрасли»

на базе Федеральной инновационной площадки
ФГБОУ ВО СПбГАСУ

Партнеры мероприятия

Информационные партнеры мероприятия

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет

ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЗАДАЧАХ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ

Материалы VIII Международной
научно-практической конференции

BIM IN CONSTRUCTION & ARCHITECTURE

Proceedings of VIII International Conference

BIMAC 2025

Санкт-Петербург
2025

УДК 69+004.9

Рецензенты:

д-р техн. наук, профессор *А. М. Гримитлин* («АВОК СЕВЕРО-ЗАПАД»);

д-р техн. наук, доцент, советник РААСН, академик РИА *Л. А. Опарина* (ФГБОУ ВО «ИВГПУ»)

Информационное моделирование в задачах строительства и архитектуры : материалы VIII Международной научно-практической конференции / под общ. ред. А. А. Семенова ; Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2025. – 448 с. – Текст : непосредственный.

ISBN 978-5-9227-1435-8
DOI: 10.23968/BIMAC.2025

В сборнике представлены статьи участников VIII Международной научно-практической конференции «Информационное моделирование в задачах строительства и архитектуры» (BIMAC 2025), проходившей в Санкт-Петербургском государственном архитектурно-строительном университете в 2025 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 3D-печати, 3D-сканирования, виртуальной и дополненной реальности; достижение энергоэффективности посредством ТИМ; технологии искусственного интеллекта в задачах строительства и архитектуры; обучение ТИМ (BIM) в университете и других организациях.

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, доцент *Г. Б. Захарова*,
канд. техн. наук *Н. В. Козак*,
канд. архит. *О. А. Песляк*,
канд. техн. наук, доцент *И. И. Суханова*,
канд. техн. наук, доцент *С. В. Федоров*,
канд. экон. наук, доцент *С. П. Ширшиков*,
Н. В. Горовой,
Д. В. Нижегородцев,
Н. В. Самопал

Секретарь канд. техн. наук *К. О. Суханов*

ISBN 978-5-9227-1435-8

© Коллектив авторов, 2025
© Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2025
© Дизайн обложки И. А. Евсиков

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТИМ (BIM)

UDC 004.9+691
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.001

Qais Abdulrahman Ali Qais, postgraduate student
(RUDN University)
E-mail: qaiseng@gmail.com, ORCID: 0009-0003-0245-2086
Thabit helal Taher Ahmed, chief engineer
("M-OS STROY GROUP")
E-mail: helal.taher@bk.ru
Kotlyarevskaya Alena Valerevna, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(RUDN University)
E-mail: kotlyarevskaya-av@rudn.ru, ORCID: 0000-0001-5192-0550

BIM ADOPTION IN LIGHTWEIGHT CONSTRUCTION

The article is dedicated to the implementation of Building Information Modeling (BIM) technology in the light construction industry. Increasingly complex construction projects and growing demands for their efficiency and economic feasibility make BIM a key tool for optimizing various processes in design and construction. The paper analyzes the successful application of BIM in projects utilizing Cross-Laminated Timber (CLT), such as Watts Grove and Brock Commons Tallwood House. The article highlights the impact of BIM on different stages of the construction project lifecycle, including pre-design and design-engineering planning, contract negotiations and preparation, construction, operation and maintenance, as well as renovation, repair, or demolition. Furthermore, the benefits of using information modeling systems are discussed, emphasizing improvements in project coordination, reduction in task completion time, cost estimation accuracy, and enhanced sustainability of light structures from both ecological and economic perspectives. In conclusion, the article provides recommendations for the successful integration of BIM into the light construction industry.

Keywords: ArchiCAD, Building Information Modeling (BIM), Cross-laminated timber (CLT), Lightweight construction, Watts Grove.

1. Introduction. The construction of complex structures is becoming more frequent, the complexity of these projects causes several challenges in their design and development. However, the advancement of Building Information Modeling (BIM) software has helped to simplify the development of several infrastructures. Miao et al. (2024) [1] interviewed several personnel about the integration of BIM on a highway project in China. The study shows that BIM optimizes knowledge management and allows knowledge transparency

through a dynamic and collaborative approach, which was not possible in traditional project development. There are several types of BIM software, such as Autodesk Revit, Graphisoft ArchiCAD and Vectorworks Architect, etc. Among the varieties of BIM software, Autodesk Revit is the most used. The 10th Annual BIM report [2] highlighted Autodesk Revit was the primary design tool for exactly half of the report's respondents (fig. 1).

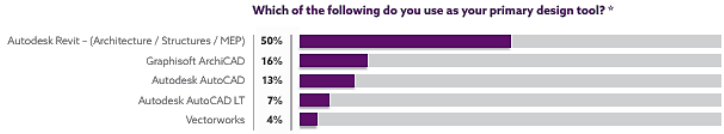


Fig. 1. BIM software utilization statistics [2]

The integration of BIM exceeds design and construction processes. Borkowski (2023) [3] stated from a broad perspective BIM encompasses the entire lifecycle of a project, from design to demolition. Incorporating the people, processes, policies, and technologies to deliver value across all phases. Thus, utilization of BIM should be considered in the development of lightweight construction. Lightweight construction is the use of material and design techniques for reducing the weight of structures with no compromise in strength or functionality. For example, the use of Autoclaved Aerated Concrete (AAC) and Cross laminated Timber offer several weight reduction benefits compared to conventional concrete.

The convergence of BIM and lightweight construction would tend to optimize the development of lightweight structures, hence fostering a more economical and environmentally friendly construction site, ensuring sustainability. This study tries to dig deeper into the impacts caused by BIM adoption on lightweight construction through efficiency increases regarding bringing smoothness to the construction process. The objective of this paper is as follows.

1) Examine the use of BIM tools and workflows in lightweight construction.

2) Analyze how BIM enables simulation of the structural, thermal, and acoustic property for light construction.

3) Determine the impact of BIM on cost and project timelines in lightweight construction.

4) Determine sustainability potential of lightweight construction facilitated by BIM.

2. Methodology. This study focuses on wooden constructed projects such as Watts Grove project and Brock Commons Tallwood House which make use

of Cross-laminated timber (CLT) and how the development of these projects are impacted by BIM adoption. This study will identify the typical steps of the project development lifecycle (fig. 2), to highlight the impact of BIM on wood constructed projects. Several relevant articles and reports were reviewed, to extract the construction data of these projects.

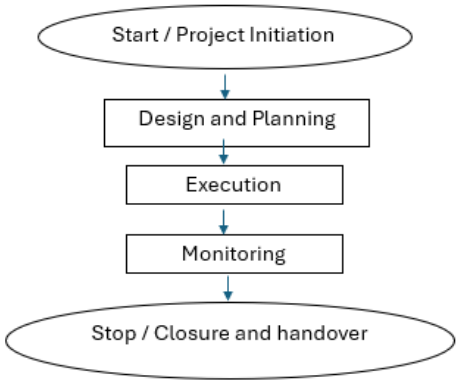


Fig. 2. Typical project development flow chart

3. Results and Discussion. BIM does streamline the entire construction process by saving time through precise cost estimates and collaboration of project personnel through all the project development phases.

3.1. Project Initiation. Staub-French et al. (2018) [4] highlighted that BIM can facilitate project approvals by helping regulatory bodies visualize projects. Hence, simplifying and speeding up the project initiation process. After the completion of the feasibility study and approval has been given the final construction designs and plans are prepared.

3.2. Design and Planning. Gharaibeh et al. (2024) [5] stated BIM enhanced visualization and clash detection features can identify construction errors to help save time or potential reworking. BIM enables the digital modeling of the proposed projects, with its Cinerender engine considering both the lighting and camera angles, predicting how the potential projects will look during different conditions before construction. In addition, BIM software enables Google Earth maps images, thus allowing some Geographic Information System (GIS) possibilities. BIM also includes Mechanical, Electrical, and Plumbing (MEP) tools, allowing engineers to design alongside architectural plans. Moreover, BIM models can easily be exported to other building design software for advanced scientific and engineering simulations analysis.

3.3. Execution. Staub-French et al. (2018) [4] stated BIM enhances efficiency, reduces waste and improves collaboration in mass timber projects. BIM enhances the process of quantity takeoff, unparalleled compared to traditional systems in giving more accurate estimates of costs for materials. It has embedded data in each design element-from walls and doors, their dimensions, material, and quantity-to ensure that everything automatically updates if a design change occurs. The 3D model draws quantity from producing detailed material lists quickly while accuracy is maintained [6, 7]. Moreover, Virtual Design & Construction (VDC) Modeling encompasses BIM, which enables 3D simulations to streamline installation processes to help to reduce onsite delays [8].

3.4. Monitoring. Although most BIM software ArchiCAD there's no provision for the preparation of Gantt charts or detailed project schedules as expected by a dedicated project management software like Microsoft Project or Primavera, it is still possible for users to prepare a simplified program of works on ArchiCAD. In addition, Gharaibeh et al (2024) [5] stated that BIM adoption offers improved coordination among stakeholders, thus enabling simplifying the decision-making process among the construction personnel.

a) *b*)



Fig. 3. BIM model of the Watts Grove project and the actual project:
a – BIM generated model[1]; *b* – Actual project adapted from Google Street view

3.5. Project handover. BIM documentation features ensure that all necessary tasks have been completed, with their designs reviewed and compared

[1] URL: https://www.bptw.co.uk/projects/watts-grove/

to actual project components. Lastly, ensuring the construction quality before handing over, fig. 3 illustrates this with the Watts Grove project, where the BIM model closely matches the final construction, highlighting BIM's effectiveness [6, 9].

4. Conclusion. The Watts Grove project and Brock Commons Tallwood House are good examples of how BIM can improve efficiency in lightweight construction. Both project personals stated that the adoption of BIM not only offered significant time savings in the development of their project, but also helped them simplify the coordination processes, thus streamlining the entire project development lifecycle. Therefore, adoption of BIM in both projects offered significant reduction of cost, wastage and labor while offering improved site safety and construction duration. Although, due to lack of BIM professionals, low demand, and the cost of adopting BIM, many lightweight construction industries only partially integrate BIM, hence many still rely on traditional workflows.

5. Recommendation. To enhance the success of future BIM-enabled lightweight construction projects, several actions are recommended:

1) Proper education of workers on how to use BIM tools better so they can work faster and smarter. This includes learning how to check if buildings will be strong, stay warm, and block noise properly.

2) Get everyone involved in the project (like architects, engineers, and builders) to work together from the start and be honest with each other.

3) Think carefully about the costs and benefits of using lightweight materials, such as special types of wood or concrete, to make sure the buildings are good for the environment and save money in the long run.

4) Create simple rules for sharing information and making sure different computer programs can work well together.

5) Ask governments to create rules and rewards that encourage people to use lightweight materials for new buildings in cities.

6) Keep track of how using BIM helps save time, cut costs, and protect the environment so future projects can learn from it.

References

1. *Miao C., Wang H., Meng X., Hou X., Yan Y., Liu S., He Y.* BIM-Supported Knowledge Collaboration: A Case Study of a Highway Project in China // Sustainability. 2024. Vol. 16, No. 20. P. 9074. DOI: 10.3390/su16209074. EDN: NLUFND.

2. *Waterhouse R., Hooper E., Sinclair D., Bain D., Gelder J., Turpin M.* National BIM Report 2020. URL: https://architecturaltechnology.com/static/3f388415-32f9-408d-85cc2c1adf13d012/TheNBSBIMReport2020.pdf (дата обращения: 26.05.2020).

3. *Borkowski A.S.* A Literature Review of BIM Definitions: Narrow and Broad Views // Technologies. 2023. Vol. 11, No. 6. P. 176. DOI: 10.3390/technologies11060176. EDN: LXOPMG.

4. *Staub-French S., Poirier E.A., Calderon F., Chikhi I., Zadeh P., Chudasma D., Huang S.* Building information modeling (BIM) and design for manufacturing and assembly (DfMA) for mass timber construction. Forestry Innovation Investment, BIM TOPiCS Research Lab-UBC, (November) 8, 2018. 86 p.

5. *Gharaibeh L., Matarneh S., Eriksson K., Lantz B.* Digital transformation of the wood construction supply chain through building information modelling: current state of practice // Construction Innovation. 2024. Vol. 24, No. 7. P. 273–291. DOI: 10.1108/CI-05-2023-0124. EDN: HIOZKM.

6. *Boeykens S., Pauwels P., Van de Walle R.* A BIM Professional's Guide to Learning ArchiCAD: Boost your design workflow by efficiently visualizing, documenting, and delivering BIM projects. Packt Publishing Ltd., 2023. 612 p. DOI: 10.0000/9781803245348-001.

7. *Jõevee J.* ArchiCAD template for architectural offices: Enhancing workflow at JLL Finland. Helsinki Metropolia University of Applied Sciences, Civil Engineering, Sustainable Building Engineering. 2017. URL: https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201705107398

8. *Angelique P., Aletha U., Jessica J.* Innovation in hybrid mass timber construction: Brock Commons Tallwood House Design Modelling. University of British Columbia. 2016. URL: https://www.naturallywood.com/wp-content/uploads/brock-commons-design-modelling_case-study_naturallywood-2.pdf

9. *Silin M.* Monitoring Systems of Construction Project schedule chart // Технические университеты: интеграция с европейскими и мировыми системами образования: мат-лы VIII Междунар. конф. В 2 т. Т. 2. Ижевск : ИжГТУ, 2019. С. 469–475. EDN: TVAASP.

UDC 004.94:69(669)
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.002

Romanovich Marina Aleksandrovna, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)
E-mail: m.romanovich.spbstu@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-1608-2883
Nuhu Aminu Nuhu, Master's degree student
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)
E-mail: nuhu.a@edu.spbstu.ru
Dahiru Usman Muhammad, senior lecturer
(African Institute of Science Administration and Commercial Studies (IAEC))
E-mail: mayensallah@gmail.com

ADOPTION OF BIM AS EMERGING TREND IN NIGERIA CONSTRUCTION INDUSTRY

The construction industry has undergone a transformative shift with the advent of Building Information Modeling (BIM). While developed nations such as the United States, the United Kingdom, and Australia lead in BIM adoption, developing countries like Nigeria face significant challenges in its implementation. This research examines the current state of BIM adoption in Nigeria's Architecture, Engineering, and Construction (AEC) industry, with a particular focus on architectural firms. The study reviews existing literature, including journal articles and conference papers, to explore both the challenges hindering BIM adoption and its potential benefits as a digital information tool in construction. The findings suggest that BIM adoption in Nigeria has the potential to improve decision-making, reduce operational costs, and enhance overall project efficiency. However, realizing these benefits requires greater awareness and stronger advocacy among industry stakeholders. The study concludes with recommendations focused on capacity building, policy development, and the creation of a supportive ecosystem to position Nigeria's AEC sector for global competitiveness.

Keywords: BIM, AEC, construction industry, Nigeria, developing countries.

In Nigeria, the construction industry represents 3,1 % of the Gross Domestic Product (GDP) and employs approximately 20 % of the total workforce, while also supplying essential infrastructure necessary for development [1]. Nonetheless, the sector faces challenges such as a lack of standardized construction processes [2], adversarial relationships [3], and inadequate time allocated for innovation [4]. These issues can lead to complications in delivering projects on schedule, within budget, and according to specified requirements [2].

There is a very limited awareness and knowledge of BIM technology in Nigeria and this is generally associated with lack of awareness of the concept, or lack of trained staff on the BIM tools or both [5]. The reveals that large and

medium firms were found to be leading the BIM adoption in the Nigerian AEC while the small firms are less advanced regarding policy and process adherence therefore has less adoption [6]. On the other hand, the present adoption is traced at organizational level which is term as a "lonely BIM" and operate at Stage 1 BIM [7]. Primarily, the Nigerian construction industry is fragmented: all the professionals are generating information and managing them separately [8]. Structural and services designs are still on conventional CAD (2D) system with few (mostly Architects) utilizing 3D CAD system for visualization purpose (mostly) or as a presentation drawing [7, 8].

In Nigeria, one of the most prominent examples of BIM utilization is the Eko Atlantic City project represented in fig. 1 [6]. This development includes iconic structures such as Eko Corporate Tower, Eko Boulevard, Le Reve Tower, Afren Tower, and Eko Pearl Towers (comprising Champagne Pearl, White Pearl, Black Pearl, Indigo Pearl, and Acqua Pearl). Other notable buildings include Azuri Peninsula, Arep Towers, International School, Atlantic Business and Residence, Eko Mall, Eko Atlantic Medical Center, three marinas, and Eko Energy Estate.

The detailed architectural information model used for Eko Atlantic City highlights the importance of BIM in achieving such complexity. Without BIM, it would have been nearly impossible to achieve the architectural precision required for these skyscrapers. Most of these buildings were designed to step back as they ascend, minimizing shadows cast on adjacent structures.



Fig. 1. Eko Atlantic City project, Lagos State, Nigeria [6]

This level of architectural detail, coupled with efficient integration of information and collaboration among stakeholders, demonstrates how BIM is transforming construction practices in Nigeria as emerging trend.

Based on the analysis, the following factors have been identified that contribute to the introduction of BIM in Nigeria:

– availability of trained professionals to handle the tools;

– BIM software affordability;

– enabling environment within the industry;

– awareness of the technology among industry stakeholders;

– cooperation and commitment of professional societies to its implementation;

– proof of cost savings by its adoption;

– cultural change;

– government support through legislation.

The authors of this paper developed a questionnaire containing questions about the use of BIM by companies. The survey was obtained from Lagos and Abuja to know their inputs on adaption of BIM in Nigeria.

A total 44 responses are received. Table 1 reveals the profile of the participants; and has been categorized into groups. The highest number of participants have a background in Engineering (63,3 %), Architects (22,7 %) while the contractors and quantity surveyors constitute the lowest percentage (6,8 % and 9,3 % respectively). In terms of years of experience, 58,1 % of the respondents have years of experience between 5 to 10 years, whilst 39,5 % of the participants have less than 5 years of experience in the construction industry. A majority (65,1 %) of the participants work in medium-sized organizations, and (25,6 %) work in a small-sized company, whilst the least number of participants (9,3 %) work in large-sized organizations (fig. 2). These results show that the participants are very qualified and the information supplied by them may be relied upon.

Table 1

Survey participants

Professional Background	Frequency (N)	Percentage
Architects	10	25,6 %
Civil Engineers	28	65,1 %
Contractors	3	6,8 %
Quantity Surveyors	3	9,3 %
Total	44	100,0 %

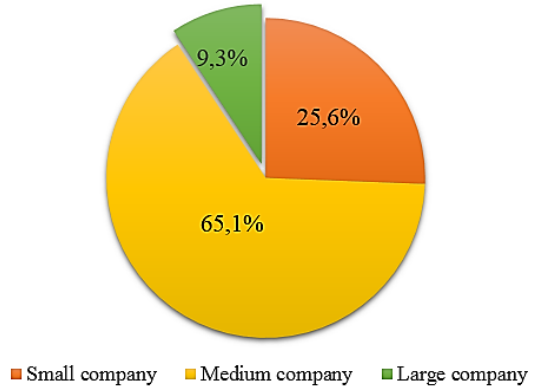


Fig. 2. Summary of size of construction organization

According to the results of the survey it was found out that only 28 companies out of 44 are using BIM. The remaining 16 companies do not use this technology.

Fig. 3 shows that 21,4 % 28 companies use ArcGIS software, 25,0 % of companies use ArchiCAD, 32,2 % use Autodesk Revit software, and 21,4 % use ProtaStructure.

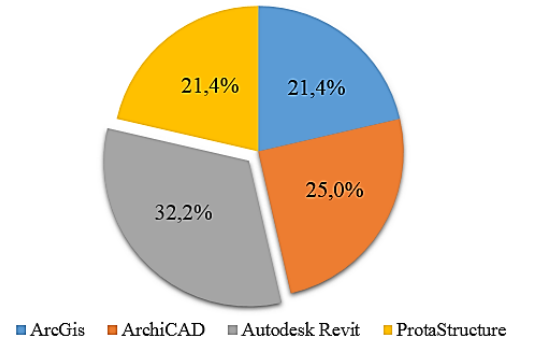


Fig. 3. BIM software used in construction companies in Nigeria

Taking together all the findings, the adoption BIM was found to be very slow among the stakeholders in the Nigerian Construction industry, even though

it is gaining momentum with evidence shown in the exponential rise of research activities in recent years. This is partly because of the rapid development of BIM globally in recent years, and the fact that BIM adoption is acknowledged by both researchers and professionals in Nigeria to have the potential to better coordinate construction data across trades, enhance coordination among different disciplines and helps to deliver projects successfully within stipulated time, budget and right quality.

To address the challenges with regards to Adoption of BIM in Nigeria, it appears that the best course of action is to direct funding toward software, hardware, and training, as is the case in the US, UK, Singapore, Finland, and France. In order to develop and decide on an accurate strategic plan leading to the full adoption of BIM in Nigeria for each region and organization, professionals in the sector and policy makers must also take into account the preparation of the legal infrastructure to establish relevant BIM organizations and the mandatory use of BIM in Nigeria.

References

1. African Economic Outlook Overview of Nigeria. 2015. URL: http://www.africaneconomicoutlook.org/fileadmin/uploads/aeo/2014/PDF/CN_Long_EN/Nigeria_EN.pdf (accessed: 04.01.2025).

2. *Adamu S., Howell G.A., Abdulhamid R.* Adapting Lean Construction Techniques in Nigerian Construction Industry // International Journal of Scientific and Engineering Research. 2012. Vol. 3, No. 12. P. 890–900.

3. *Mbamali I., Okotie A.J.* An assessment of the threats and opportunities of globalization on building practice in Nigeria // American International Journal of Contemporary Research. 2012. Vol. 2, No. 4. P. 143–150.

4. *Issa R.B., Jimoh R.A., Achuenu E.* An overview of the contribution of construction sector to sustainable development in Nigeria // Net Journal of Business Management. 2013. Vol. 1, No. 1. P. 1–6.

5. *Onyinyechi O.I, Nnezi U.* Building Information Modelling in Nigeria and its Impact on Collaboration in Schematic Design Stage and Post Contract stage of design // 9th CIBD Postgraduate Conference. Cape Town, South Africa, 2016. P. 348–356.

6. Eko Pearl Towers. URL: http://ekopearltowers.com/ (accessed: 04.01.2025).

7. *Kori S.I., Kiviniemi A.* Toward adoption of BIM in the Nigerian AEC industry; context framing, data collecting and paradigm for interpretation // 9th BIM Academic Symposium & Job Task Analysis Review, NIBS-Washington DC, USA, 2000. P. 1–8.

8. *Onungwa I.O., Uduma-Olugu N.* Building information modelling and collaboration in the Nigerian construction industry // Journal of Construction Business and Management. 2017. Vol. 1, No. 2. P. 1–10. DOI: 10.15641/jcbm.1.2.53.

9. *Hamma-adama M., Salman H.S., Kouider T.* Diffusion of innovations: the status of building information modelling uptake in Nigeria // Journal of Scientific Research & Reports. 2017. Vol. 17, No. 4. P. 1–12. DOI: 10.9734/JSRR/2017/38711.

УДК 004.94:69.05
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.003

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

ПРИМЕНЕНИЕ 4D-МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ КОНТРОЛЕ СРОКОВ СТРОИТЕЛЬСТВА: АНАЛИЗ МИРОВОГО И ОТЕЧЕСТВЕННОГО ОПЫТА

APPLICATION OF 4D MODELING IN CONSTRUCTION DURATION CONTROL: ANALYSIS OF GLOBAL AND DOMESTIC EXPERIENCE

В статье анализируются ключевые аспекты применения 4D-технологии информационного моделирования (4D-ТИМ) для контроля сроков строительства, с учетом сложностей, с которыми сталкиваются строительные компании при внедрении данной технологии. Рассматриваются успешные примеры из международной практики, а также проводится сравнение с ситуацией в России, где технология 4D-моделирования находится на стадии внедрения. В России технология информационного моделирования 4D сталкивается с рядом барьеров, таких как дефицит квалифицированных специалистов, проблемы интеграции с устаревшими информационными системами и отсутствие четкой нормативной базы. В статье также предлагаются возможные пути преодоления этих трудностей, включая организацию обучения специалистов, улучшение технологической инфраструктуры и разработку новых стандартов.

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

The article analyzes key aspects of 4D BIM application in construction duration control, focusing on the difficulties faced by construction companies in implementing this technology. Successful examples from international practice are reviewed and compared with the situation in Russia, where 4D-modeling is still being implemented at a limited level. In Russia, this technology faces a number of barriers, such as a shortage

of qualified specialists, problems of integration with outdated information systems and the lack of a clear regulatory framework. The article also suggests possible ways to overcome these difficulties, including organization of specialists' training, improvement of technological infrastructure and development of new standards.

Keywords: 4D BIM, construction duration control, construction project, building works, building.

Управление строительными проектами – это сложный координационный процесс, контролирующий финансовые и временные ресурсы. 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 особого внимания 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].

Ежегодно строительные компании решают вопрос оптимизации своей работы, и один из способов оптимизации авторского надзора или контроля своевременного выполнения строительно-монтажных работ – это внедрение 4D-моделирования в процессе проектирования и строительства. Международный опыт показывает эффективное применение данных технологий в крупных проектах [2, 3]. Несмотря на высокий потенциал технологий информационного моделирования, в России внедрение 4D встречает определенные трудности [4].

Целью данной статьи и исследования является изучение и анализ применения 4D-моделирования для контроля сроков строительства промышленных объектов.

4D-моделирование широко используется в управлении строительным процессом по всему миру. Так, например, 4D-моделирование применялось в проекте London Heathrow Terminal 5 для управления строительством и оптимизации рабочих процессов. Это позволило в реальном времени отслеживать прогресс выполнения строительных работ и устранить потенциальные задержки на этапе проектирования и планирования. В 2008 году проект был завершен и стал мировым примером применения 4D-моделирования в управлении строительством [5].

Другим успешным примером является проект Palace of Justice in Abu Dhabi, где компания Foster + Partners использовала ТИМ для координации работы разных подрядчиков с целью минимизации временных потерь. Использование 4D в этом проекте позволило значительно повысить точность планирования и улучшить контроль над выполнением работ[1].

В России применение 4D-моделирования в управлении проектами постепенно набирает популярность, однако в меньших масштабах, по сравнению с западными странами. Одним из первых крупных проектов с использованием ТИМ стал Московский международный деловой центр (ММДЦ), где была произведена интеграция моделей для планирования и контроля хода строительства.

В последние годы несколько крупных российских строительных компаний, таких как Мостотрест, ГК Эталон и ПИК, внедряют 4D-технологии для улучшения планирования, повышения качества работ и сокращения сроков строительства. Несмотря на положительный опыт крупных компаний, в России применение 4D-моделирования пока не является массовым. Одной из причин является низкий уровень подготовки специалистов, недостаток современных отечественных программ, отсутствие полноценной и конкретной нормативно-правовой базы[2].

Авторы статьи также участвовали во внедрении 4D-технологии информационного моделирования для контроля сроков реконструкции и нового строительства промышленных объектов.

На рис. 1 показан монтаж инженерных сетей реконструируемого энергоблока. Внедрение 4D-технологии позволило выявить подрядчиков, отставших от календарного графика выполнения работ, выявить причины отставания и изменить горизонт планирования для соблюдения итоговых сроков реконструкции. В процессе разработки 4D-модели были обнаружены временные коллизии: монтаж инженерных систем начинался раньше монтажа металлических опор. Таким образом, удалось выявить ошибки в датах начала и окончания работ в календарном графике на этапе планирования работ по реконструкции.

На рис. 2 показана 4D-модель строительства центра обработки данных, этап монтажа оборудования на крыше. Разработанная 4D-модель позволила соблюсти технологическую последовательность монтажа различного вида оборудования, что значительно облегчило производство работ. Также применение технологий информационного моделирования

---

[1] Foster and Partners. Palace of Justice in Abu Dhabi.
URL: https://www.fosterandpartners.com/projects/palace-of-justice/

[2] Внедрение 4D-технологий в строительстве. URL: https://www.pik.ru/

позволило выявить ряд геометрических коллизий в трехмерных моделях на этапе разработки модели в 4D.

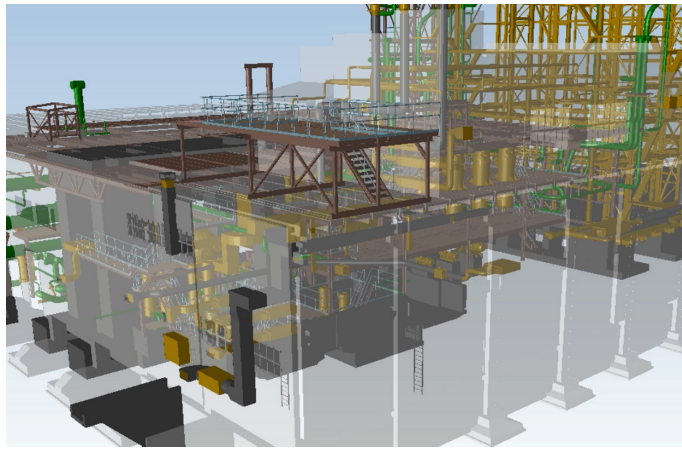


Рис. 1. 4D-модель монтажа инженерных систем энергоблока

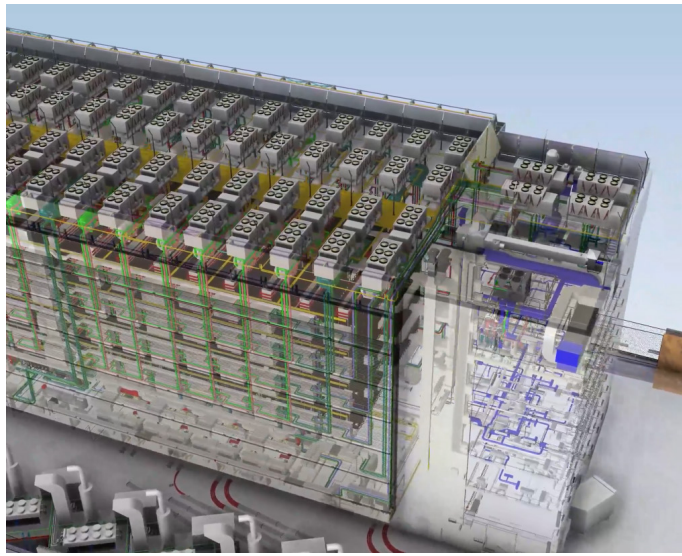


Рис. 2. 4D-модель монтажа инженерного оборудования центра обработки данных

Технология 4D-моделирования зарекомендовала себя на строительном рынке, как помощника для инженеров-проектировщиков и строителей, так как имеет множество преимуществ и огромный потенциал для дальнейшего развития. Тем не менее, ее внедрение сопровождается рядом проблем, которые можно разделить на технические и организационные.

Одной из технических проблем является интеграция 4D-моделирования с существующими информационными системами. Многие компании используют устаревшие системы для управления проектами, которые не могут эффективно работать с современными технологиями информационного моделирования. Требуются дополнительные затраты на обновление программного обеспечения.

Кроме того, существует недостаток обученных специалистов в области 4D-моделирования. Для успешного внедрения этой технологии необходимы высококвалифицированные кадры, которые обладают знаниями не только в области моделирования, но и в строительстве. Дефицит на рынке труда кадров такой квалификации приводит к необходимости вложения значительных затрат на пересмотр образовательных программ высшего образования и на обучение сотрудников внутри компаний.

Также существует ряд организационных трудностей при внедрении 4D-моделирования. Не все участники строительного процесса осознают необходимость использования 4D-моделирования. Сотрудники вместо потенциала видят дополнительное усложнение в работе. Без четкой стратегии и поддержки на высшем уровне процесс интеграции технологий может затянуться.

Для преодоления вышеупомянутых проблем необходимы совместные усилия по обновлению и синхронизации существующих систем с новыми технологиями, что позволит обеспечить интеграцию 4D-моделей. Для обучения специалистов необходимо создать систему повышения квалификации или специализированные курсы для строительных кадров, которые позволят повышать уровень компетенции в области 4D-моделирования.

4D-моделирование представляет собой полезный инструмент для управления строительными проектами, что способствует снижению рисков и улучшению качества работ. Мировой опыт подтверждает эффективность использования 4D-моделирования в планировании и координации строительных работ. В России внедрение данной технологии также постепенно набирает популярность, однако на данный момент ограничено рядом проблем. В будущем, с учетом роста компетенций и улучшения условий для внедрения, 4D-моделирование может значительно

повысить качество строительных работ и эффективность контроля сроков строительства в России.

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

3. *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.

4. *Башарин А.Д.* Строительный контроль и управление качеством в строительстве с применением технологий информационного моделирования // Молодой ученый. 2023. № 24(471). С. 151–154. EDN: SCAKHK.

5. London Heathrow Terminal 5 Project. URL: https://www.heathrow.com/company/about-us/history-and-heritage/terminal-5 (дата обращения: 12.02.2025).

УДК 721.011
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.004

Хапин Александр Владимирович, канд. техн. наук, профессор
(Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева)
E-mail: sacha2447@rambler.ru, ORCID: 0000-0002-3693-9277
Махиев Бекболат Еспулович, канд. техн. наук, доцент
(Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева)
E-mail: bolat6505@rambler.ru, ORCID: 0000-0001-7345-3930
Кенетбаев Болат Сабитканович, ст. преподаватель
(Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева)
E-mail: bkenetbaev@mail.ru, ORCID: 0009-0006-1148-1948

Khapin Alexander Vladimirovich, PhD in Sci. Tech., Professor,
(Serikbayev East Kazakhstan Technical University)
Makhiyev Bekbolat Espulovich, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Serikbayev East Kazakhstan Technical University)
Kenetbaev Bolat Sabitkanovich, senior lecturer
(Serikbayev East Kazakhstan Technical University)

ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ НАТУРНЫХ ОБСЛЕДОВАНИЯХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

EXAMPLES OF DIGITAL TECHNOLOGY APPLICATION IN FIELD SURVEYS OF BUILDINGS AND STRUCTURES

Рассматривается ход работ и результаты применения цифровых методов при съемке рельефа и пролетных строений железнодорожного моста с использованием электронного тахеометра и квадрокоптера. Получена 3D-модель пролетных строений и опор моста с использованием метода бесконтактного измерения. Отмечены недостатки методов, невозможность определения коррозионного износа и детального измерения параметров повреждений. Приведен пример использования видеокамер при определении причин разрушения покрытия промышленного здания при вихревом шквале. Использование видеокамер позволило расширить область применения умного видеонаблюдения.

Ключевые слова: цифровые технологии, обследование мостов, лазерное сканирование, фотограмметрия, информационное моделирование.

This study examines the workflow and outcomes of employing digital methods for surveying the topography and span structures of a railway bridge using an electronic total station and a quadcopter. A 3D model of the bridge span structures and supports was generated through a contactless measurement method. The study highlights the limitations

of these methods, including the inability to assess corrosion wear and precisely measure damage parameters. Additionally, an example is provided of the use of video cameras to determine the causes of industrial building roof failure during a vortex squall. Using video cameras has broadened the scope of smart video surveillance applications.

Keywords: digital technologies, bridge inspection, laser scanning, photogrammetry, information modeling.

Обследование технического состояния зданий и сооружений – многоплановая задача, включающая обмерные работы, оценку повреждений строительных конструкций, прочности материалов, коррозионного износа, качества строительства и ремонта. Эти работы обычно выполняются в натурных условиях. За ними следуют расчеты несущей способности и разработка проекта усиления или реконструкции.

Между тем в образовательных программах вузов основное внимание уделяется технологии BIM [1], которая формирует навыки цифрового проектирования [2]. Меняется методика обучения [3], совершенствуется подготовка преподавателей [4], в магистерских диссертациях используются технологии виртуальной и дополненной реальности при переоборудовании зданий [5]. Однако применение цифровых технологий при натурном обследовании не рассматривается.

Цель настоящей статьи – показать на конкретных примерах возможности использования не только BIM, но и других цифровых технологий при выполнении натурных обследований.

В последние годы формируется новое направление в технологии обследования зданий и сооружений. Так, при реконструкции Дворцового моста в Санкт-Петербурге для создания моделей опор применялась сканерная съемка [6]. Удачным примером может служить использование бесконтактной технологии при натурном обследовании фасадов зданий, которая изложена в работе [7]. К числу примеров можно отнести статью [8], в которой по полученным обмерным 2D-чертежам построена BIM-модель, однако в натурных обследованиях цифровые методы не использовались. В статье [9] геометрическая BIM-модель была создана на основе лазерного сканирования, и в развитие этой модели предложено ее насыщение дополнительными атрибутами, собираемыми в процессе обследования. Полученная модель будет информационной, применимой для расчетов несущей способности, переоборудовании и реконструкции.

При обследовании технически сложных объектов использование традиционных методов обмерных работ часто оказывается весьма трудоемким и даже невозможным. К их числу относятся большепролетные и высокие сооружения, мосты через водные преграды [6], в особенности

в условиях сложного рельефа местности, конвейерные эстакады на горнодобывающих предприятиях, а также промышленные здания, долгое время находящиеся в стадии эксплуатации. Производство обследовательских работ затруднено недоступностью объектов, невозможностью детального осмотра наиболее ответственных узлов несущих конструкций, оценки параметров дефектов и повреждений, коррозионного износа строительных материалов.

В таких случаях возможно использование комплекса различных цифровых методов, которые, дополняя друг друга, позволяют создать 3D-модель объекта [7]. В дальнейшем эта модель может применяться при детальном обследовании путем визуализации пространственных данных и насыщения сведениями, полученными в результате обследования [9].

В качестве примера рассмотрим процесс обследования технического состояния железнодорожного моста.

Мост расположен в Восточно-Казахстанской области. Он пересекает реку Иртыш под углом в 60°. Такое расположение моста объясняется сложным горным рельефом местности, так как железная дорога проходит по берегам глубокой горной долины, по которой протекает река.

Первый этап обследований включал топографическую съемку участка местности на подходах к мосту. Рельеф был необходим для прогнозирования устойчивости расположенных вблизи моста подпорных стен, которые защищают железнодорожный путь от каменных осыпей и снежных лавин.

Съемка рельефа выполнялась электронным тахеометром TS06 с применением глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС-приемника E-Survey E300 Pro) с регистрацией результатов в карте памяти прибора. На местности были закреплены 12 точек съемного обоснования при помощи металлических штырей. После завершения полевых работ сведения с карты памяти были импортированы в компьютер, с помощью которого проведена обработка результатов и составлен план топографической съемки (рис. 1). Для построения 3D-модели моста использовался метод бесконтактного измерения.

Мост однопутный четырехпролетный; величины пролетов 44,96 + + 2110 + 44,96 м; общая длина моста 335,62 м. Мост был спроектирован Лентранспроектом и построен в 1951 году из стали марки Ст3 мост. по ОСТ 12535-38 для клепаных мостовых конструкций.

Метод бесконтактных измерений был реализован с помощью беспилотного летательного аппарата (БПЛА DJI Mavic 3), этот метод носит название инженерной фотограмметрии. Он основан на использовании разноракурсных фотографий объекта, с помощью которых можно определять пространственные координаты.

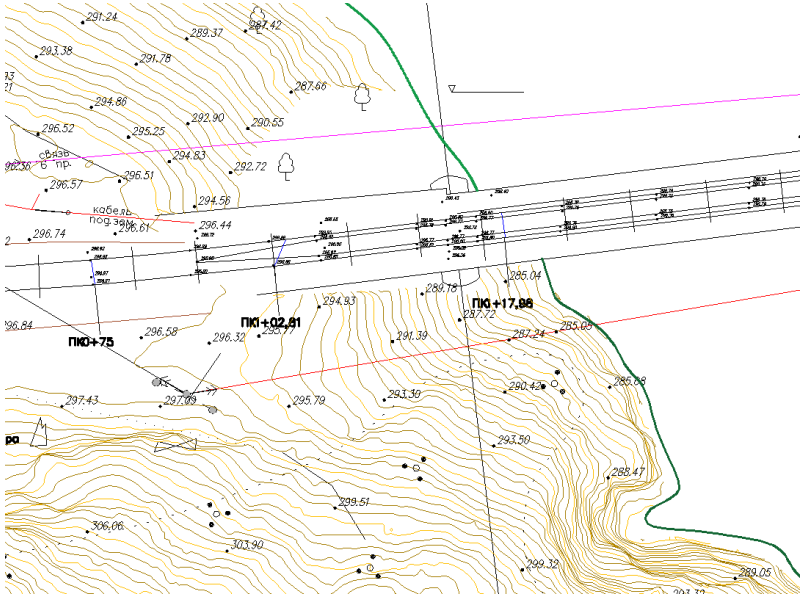


Рис. 1. Фрагмент плана топографической съемки левого берега

Порядок выполнения воздушной фотосъемки моста включал устройство точек пространственной ориентации, которые были закреплены на бетонных устоях. После этого производилось автоматическое сканирование в ходе полета квадрокоптера по заданной траектории. В результате была получена цифровая модель моста в виде облака точек, отражающих его конструктивное решение.

Результаты выполнения этих работ представлены на рис. 2, где указаны цифровые координаты точек. Малый масштаб рисунка не позволяет получить четкое изображение. Поэтому увеличение масштаба производилось отдельными участками с помощью компьютерной программы, позволяющей исключить лишние точки облака. Пример такого участка берегового пролетного строения и бетонного устоя показан на рис. 3.

По этим фотографиям можно определять размеры сечений, расстояния между заклепками и другие геометрические данные, но не удалось достаточно подробно оценить повреждения элементов. Так, в процессе эксплуатации моста произошел сход вагонов состава поезда с рельсов. Вагоны съехали с берегового пролета и рухнули вниз, повредив бетон устоя и первый от опоры стержень верхнего пояса фермы (рис. 3).

Поэтому в данном случае было сделано временное усиление и потребовалось выполнить дообследование поврежденного пояса, чтобы детально разработать постоянное усиление. Не удалось также бесконтактным методом определить коррозионный износ элементов моста и качество стали.

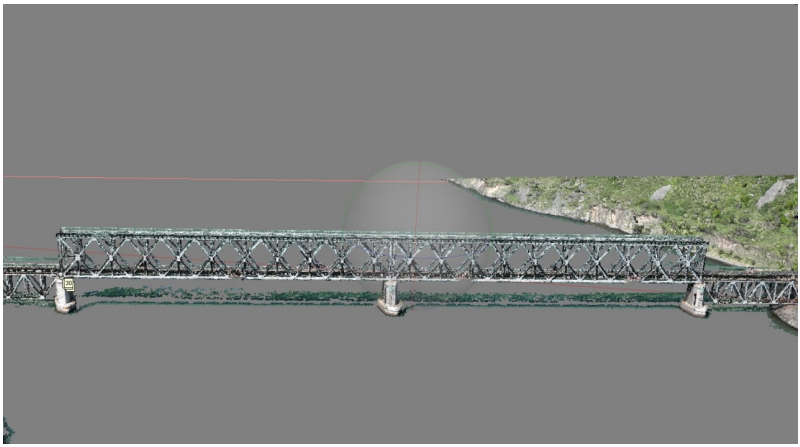


Рис. 2. Результаты сканирования конструкции моста



Рис. 3. Фрагмент левобережного пролета моста

Одним из перспективных методов обследования может стать использование цифровых фотокамер, которые применяются в основном для

обеспечения безопасности и охраны объектов в системах видеонаблюдения[1]. Если видеонаблюдение ведется в круглосуточном режиме, возможно создание облачных сервисов, хранящих записываемую информацию, в которую могут попасть процессы разрушения зданий.

Поэтому для наблюдения за техническим состоянием здания можно расширить кейс применения видеокамер[2]. Покажем это на примере.

В поле зрения видеокамеры попал момент, когда под действием сильного ветра произошло разрушение кровельного покрытия промышленного здания. Причины разрушения удалось определить достоверно, используя натурную видеосъемку. В большинстве случаев обследователи лишены такой возможности и определяют причины разрушений только по их последствиям. Разрушение покрытия, выполненного из панелей-сэндвичей полистовой сборки, произошло при действии вихревого шквала. После выдавливания оконной рамы за счет повышения давления воздуха в здании оторвались и поднялись вверх листы профилированного настила кровли. По результатам анализа сделан однозначный вывод – крепление кромок листов друг к другу внахлестку выполнено с недопустимо большим шагом крепежных элементов – шурупов. Их следовало ставить через каждые 250 мм; на самом деле их шаг составлял 1–1,5 м.

Подводя итог, можно сделать следующие выводы.

1. Не все виды работ при натурном обследовании зданий и сооружений можно выполнить методами цифровизации.

2. При создании конструктивных BIM-моделей наиболее эффективным методом является лазерное сканирование, которое позволяет избежать ошибок, допускаемых при цифровизации чертежей, выполненных в 2D-режиме.

3. Полученные модели могут дополняться по результатам традиционного натурного обследования атрибутами, которые превращают модель в информационную. Ее можно использовать при расчете несущей способности, переоборудовании и реконструкции.

4. Цифровые технологии в области обследования не должны ограничиваться только BIM-моделированием, так как они могут предоставить широкий кейс возможностей для повышения эффективности труда инженера и качество его работ.

---

[1] Возможности камер видеонаблюдения.
URL: https://www.karneev.com/stati/vozmozhnosti-kamer-videonablyudeniya/
(дата обращения: 07.02.2025)

[2] Умное видеонаблюдение. URL: https://iot.ru/wiki/umnoe-videonablyudenie
(дата обращения: 07.02.2025)

Литература

1. *Хапин А.В., Махиев Б.Е.* Формирование образовательных программ «BIM-технологии в проектировании» // Научный альманах ассоциации France – Kazakhstan. 2019. № 4. С. 300–305. EDN: NAWVGX.

2. *Талапов В.В., Махиев Б.Е., Хапин А.В.* Компьютерное проектирование: проблема выбора предмета обучения // Вестник ВКГТУ им. Д. Серикбаева. 2019. № 4. С. 155–157. EDN: DGJUTR.

3. *Семенов А.А.* Обучение BIM в университете: необходимые технологии // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : мат-лы II Междунар. научно-практ. конф. СПб. : СПбГАСУ, 2019. С. 223–227. DOI: 10.23968/BIMAC.2019.041. EDN: ZSPEVN.

4. *Талапов В.В., Махиев Б.Е., Хапин А.В.* Послесловие к BIM-форуму: кого и кому учить BIM-технологиям проектирования // Вестник ВКГТУ им. Д. Серикбаева. 2019. № 4. С. 157–160. EDN: UFAHPU.

5. *Хапин А.В., Махиев Б.Е., Ударцева А.Н.* Использование BIM-модели производственного здания при реконструкции // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: мат-лы VI Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб. : СПбГАСУ, 2023. С. 13–19. DOI: 10.23968/BIMAC.2023. EDN: MLESNU.

6. *Канашин Н.В., Никитчин А.А., Афонин Д.А.* Опыт применения трехмерного моделирования при реконструкции мостов // Известия ПГУПС. 2017. Т. 14, № 2. С. 238–246. EDN: YUAKZF.

7. *Слащева С.Г.* Совершенствование методики проведения строительно-технической экспертизы при проведении исследований фасадов // Московский экономический журнал. 2019. № 3. С. 47. EDN: ZCRRQT.

8. *Шеина С.Г., Виноградова Е.В., Денисенко Ю.С.* Пример применения BIM технологий при обследовании зданий и сооружений // Инженерный вестник Дона. 2021. № 6(78). С. 340–346. EDN: HSBYQC.

9. *Чигинский Д.С., Валеев Г.В.* Применение BIM-технологий при обследовании строительных конструкций зданий и сооружений // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : мат-лы IV Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб.: СПбГАСУ, 2021. С. 248–254. DOI: 10.23968/BIMAC.2021.037. EDN: ZNJHNB.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗДАНИЙ

УДК 004.02+334.02
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.005

Адам Леонид Абрамович, доцент
(Уральский федеральный университет
имени первого президента России Б.Н. Ельцина)
E-mail: adamleonid@yandex.ru

Adam Leonid Abramovich, Associate Professor
(Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin)

НЕОБХОДИМОСТЬ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ГОРОДОВ ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ОБЩЕСТВА

THE NEED TO CREATE DIGITAL TWIN CITIES FOR THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF SOCIETY

В настоящее время необходимость совмещения BIM (Building Information Model) и CIM (Common Information Model) очевидна. Именно это совмещение – база для создания цифровых двойников городов. Задача данной статьи – рассмотрение возможностей ускорения решения головной задачи проекта Минстроя России «Цифровой двойник города», предложения порядка действий для распространения данного проекта на всю территорию страны на базе интегрального системного подхода для устойчивого развития. Данная статья продолжает тему необходимости оптимального использования информационных технологий, в большей степени, не для моделирования существующей ситуации, а для создания перспективных моделей трансформации общества.

Ключевые слова: цифровой двойник, интегральный системный подход, качественное и доступное жилье, технологии информационного моделирования.

Currently, the need to combine BIM (Building Information Model) and CIM (Common Information Model) is obvious. It is this combination that is the basis for creating digital twin cities. The purpose of this article is to consider the possibilities of accelerating the solution of the main task of the Russian Ministry of Construction's "Digital Twin of the City" project. proposals of the procedure for extending this project to the entire territory of the country based on an integrated system approach for sustainable development. This article continues the theme of the need for optimal use of

information technology, to a greater extent, not for modeling the existing situation, but for creating promising models of transformation of society.

Keywords: digital twin, integrated system approach, high-quality and affordable housing, information modeling technologies.

В презентации Минстроя[1] установлено 10 задач. 9-я гласит: «Внедрение электронного сервиса аналитики собираемых данных, в том числе возможности прогнозировать возможные аварийные ситуации, а также моделирование сценариев управленческих решений». Других обращений к проблемам энергетики, инженерной инфраструктуры там нет. И аналитика направлена на решение возникающих проблем, а никак не на изыскание возможности исключить их в принципе. В то же время концепция интегрального системного подхода [1] категорически отвергает автоматический перенос существующих технологий в перспективную модель. Необходимо проектировать с нуля, используя все современные синергетические подходы на базе требований постулатов устойчивого развития. Существующие системы построены на базе устаревших нормативов, подходов, предпосылок.

Для дальнейшего рассмотрения возьмем достаточно глобальную задачу, решение которой закрывает большое количество вопросов нацпроектов, а именно «Обеспечение населения России качественным и доступным жильем». Но в данной статье рассмотрена и связка доступности жилья и здоровья. Неоспоримым является влияние стрессов на здоровье. Стресс при отсутствии жилья в принципе, стресс при проживании нескольких поколений на одной площади, стресс при наличии ипотеки, стресс при общении с управляющими организациями. Все это в будущем приводит к появлению ряда заболеваний с соответствующими потерями для человека и для общества, и эти потери необходимо научиться учитывать. Но есть мировые примеры, где эти стрессы отсутствуют в принципе. Можно вспомнить СССР, где молодым специалистам жилье предоставлялось бесплатно, на определенных условиях. Есть и современный опыт, опыт Сингапура [2], где качественное жилье предоставляется всем желающим, с возможностью, но не обязанностью, его выкупа. Можно предположить, что успехи Сингапура в этом направлении связаны, в том числе, и с тем, что Сингапур является лидером в разработке и освоении цифровых технологий. Управляет строительной индустрией Сингапура организация BCA (Building and Construction Authority). И не только управляет,

[1] URL: https://digitalr.ru/wp-content/uploads/2021/07/prezentacziya-skolkovo.pdf?ysclid=m8dyocfymt508326056 (дата обращения: 18.03.2025).

но и постоянно занимается изысканием и применением новых технологий и подходов в освоении новых технологий, в том числе и цифровых.

Расходы, связанные с ипотекой, будущий новосел вполне может спрогнозировать, но есть еще платеж, сопоставимый с ипотекой, а в ряде случаев, особенно в новом строительстве, еще и превышающий ее – коммунальные платежи. К примеру, в Екатеринбурге, в жилищном комплексе «Макаровский», далеко не самом дорогом комплексе города, статья расходов «содержание жилья» составляет 80 рублей за квадратный метр, что минимум в 3 раза выше среднестатистических данных.

В соответствии с Методикой расчета[1], стоимость совокупных затрат по эксплуатации здания значительно превышает стоимость проектирования и строительства здания (рис. 1).

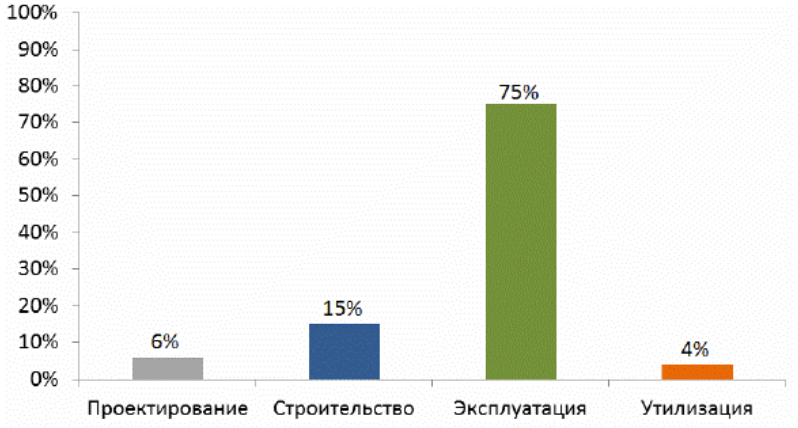


Рис. 1. Стоимость жизненного цикла объекта

По утверждению [1], внесение изменений в проект до начала строительства обходится дороже на порядок, а на стадии строительства – почти на 2 порядка, чем на стадии проектирования. Очевидно, что, если на стадии, предваряющей проектирование, чуть больше средств потратить на проработку более оптимальных, в отличие от традиционных, подходов, можно не только значительно сократить затраты на эксплуатацию, но и, в ряде случаев, сократить затраты на строительство. Примеры такого подхода также приведены в [1]. Очевидно, что при мировой тенденции

[1] «Методика расчета жизненного цикла здания с учетом стоимости совокупных затрат», решение Совета Национального объединения проектировщиков» от 4 июля 2014 г. № 59.

к утеплению зданий, потребление энергии, в расчете на квадратный метр, сократится, но тариф будет увеличиваться, что приведет к некой стабилизации доли «отопление» в платежке. Но современное здание все больше насыщается инженерными технологиями, что приведет к относительному увеличению доли «содержание жилья». Также очевидна тенденция к увеличению этой доли за счет необходимости повышения зарплаты обслуживающему персоналу управляющих организаций, особенно к инженерному составу.

Другими словами, энергетика и расходы, связанные с обслуживанием инженерных сетей, и сейчас являются превалирующими, а дальше будут только увеличиваться. Рассмотрим цепочку подсистем электроснабжения – когда электроэнергия потребляется в электродвигателе [1], а это порядка 40 % мирового потребления. Выработанная на источнике энергия теряет до 70 % своего «полезного» эквивалента еще на станции (КПД на лучших станциях составляет порядка 50 % плюс потери, связанные с необходимостью поддерживать источник в моменты «провалов» в системе – когда потребителям энергия не нужна). Далее идут потери на транспорте до потребителя, потери в двигателе, трансмиссии, насосе. Далее, потери на дросселирование и потери в трубопроводе. Итог – потребитель оплачивает 100 % энергетического эквивалента, потребляя менее 10 % исходной энергии.

Проектирование и оптимизация всей системы от потребителя, «снизу вверх», позволяет превратить потери в деньги за счет энергоэффективности. [3]. Небольшое снижение потерь «снизу» оборачивается значительно большим[1] эффектом на источнике. И чем ближе к потребителю, тем больше эффективность.

Сравним среднестатистический суточный график электропотребления города с графиком теплопотребления здания, приведенным в [4].

Отчетливо видно, что изменения графиков практически совпадают по времени, и это легко объяснимо. Ночью население спит и потребление минимальное. Далее утренний пик, когда люди умываются, готовят пищу. Повышенное потребление тепла (горячая вода), холодной воды провоцируют подключение насосного оборудования с соответствующим увеличением потребления электроэнергии. Вечером пик уже выше, после окончания программы «Время» люди идут принимать ванны, готовятся ко сну. Из графиков также можно увидеть, что при их «выравнивании» можно сократить необходимые мощности генерации минимум в 2 раза

[1] Заложнев Д. График электрической нагрузки. Часть 1.
URL: https://dzen.ru/a/YfpFj1vXohf8ZFUI (дата обращения: 18.03.2025).

по электроэнергии и значительно больше по тепловой энергии, с соответствующим снижением тарифов для населения.

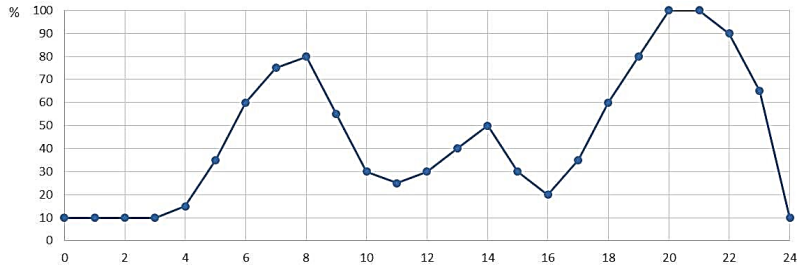


Рис. 2. Суточный график электропотребления

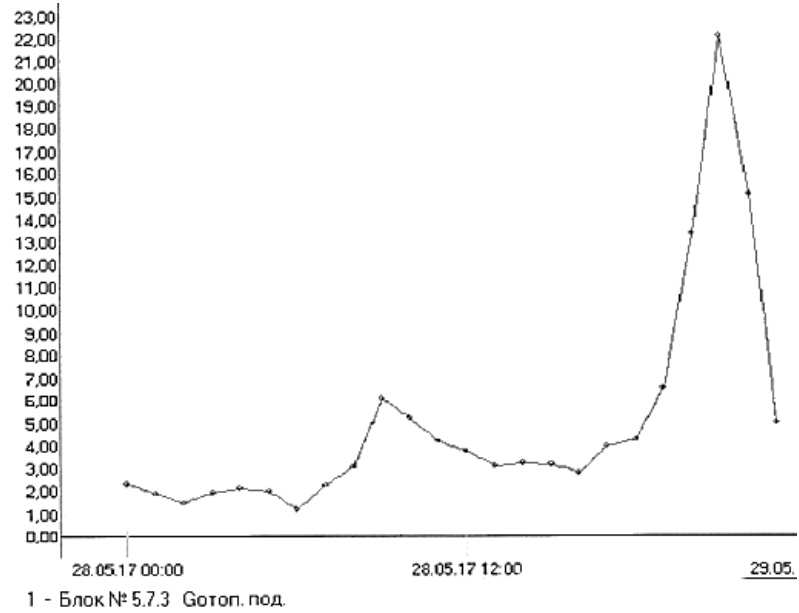


Рис. 3. Суточный график теплопотребления отдельного здания.
Район «Академический», г. Екатеринбург

Технологий «выравнивания» графика энергопотребления в здании достаточно много, одна из них указана в [4]. Проблема в том, что эти

технологии далеко не всегда окупаются в подсистеме непосредственно здания. Основной эффект получает генерирующая компания, и пока в России только один, и то далеко не отработанный, механизм возврата некоторых средств потребителям – программа управления спросом на электроэнергию.

Очевидно, что только городская администрация может, теоретически, стать «арбитром» между потребителями и энергогенерирующими организациями с целью достижения оптимального для всех субъектов результата. Теоретически потому, что в России пока отсутствуют условия для возможности подобного решения:

– В России Москва лидирует в разработке цифрового двойника города [5]. И дело не в финансовых возможностях Москвы, главное, что в свое время мэр Москвы Лужков не отдал городскую инженерную инфраструктуру в частную собственность. А вот недавно[1], губернатор Беглов рассказал, что он и его команда пришли к выводу, что жизненно важные сферы Петербурга должны управляться не частными, а городскими структурами. Инженерная инфраструктура городов по своей сути является монополией, а монополия не должна быть в частной собственности по определению.

– В администрациях городов отсутствуют команды «прорыва» – команды, обладающие навыками системного подхода, которые могут охватить в едином подходе огромное количество факторов, влияющих на заявленные в национальных проектах результаты. В данной статье, из-за определенных ограничений, разобрана только одна цепочка заявленной задачи. Но и для оптимального решения только этой цепочки требуются высококлассные специалисты самых разных специальностей.

– Многие страны безрезультатно пытались копировать опыт Сингапура. Основная ошибка в том, что Сингапур де-факто город, а не государство, и город не очень большой по мировым меркам. Попытка управлять страной «сверху» математическими методами, а цифровизация базируется на математике, бессмысленна – слишком много информации нужно переработать. Информация и так скоро выйдет на первое место по электропотреблению, что противоречит постулатам устойчивого развития. Решение вопроса в разделении систем на самоуправляемые подсистемы, относительно города это означает повышение его самоуправляемости, получение приоритета города над амбициями федеральных ведомств и структур. К примеру, сегодня каждое ведомство разрабатывает собственные

[1] Прямая линия. URL: https://yandex.ru/video/preview/7761035406147005916 (дата обращения: 18.03.2025).

программы цифровизации, но база данных для всех программ одна – население и территория городов. Налицо необоснованное распыление финансовых средств.

Стандартный подход к построению цифрового двойника предполагает обеспечение существующей инфраструктуры соответствующими датчиками с дальнейшей возможностью их обвязки. В презентации Минстроя[1] , на слайде № 4 «Экосистема цифрового двойника города», показан некий «центр управления». Ввиду того, что этот центр никак не выделен, его функции, скорее всего, ограничены только отслеживанием текущей ситуации. Другой подход предлагался при продвижении проекта «Умный город» в планировочном районе «Академический», г. Екатеринбург (девелопер ГК «Кортрос»). Планировалось создание двух структур – единой управляющей организации по строительству и эксплуатации наружных и внутренних инженерных сетей, сетей и объектов информационного обеспечения, видеонаблюдения, охраны и т. д. всех зданий района, и проектно-конструкторского бюро – «мозгового центра» района, разрабатывающего оптимально эффективные технологии обеспечения района всеми видами услуг. Развитие данного проекта как раз и остановилось из-за понимания, что данные структуры должны создаваться не у девелопера, а в администрации города.

Цифровые двойники городов нужны не для создания «красивой обертки» в целях привлечения туристов – это одна из второстепенных задач. Необходимы серьёзные преобразования в системе управления городом, чтобы с помощью цифровых технологий решать главную задачу – повышение благосостояния жителей этого города. Наиболее целесообразно реализовывать такие преобразования в виде демонстрационных зон на базе небольших депрессивных городков, расположенных недалеко от крупных областных центров.

Литература

1. *Стасинопулос П., Смит М.Х., Харгроувс К., Деша Ч.* Проектирование систем как единого целого. Интегральный подход к инжинирингу для устойчивого развития. М. : Эксмо, 2012. 288 с.

2. *Сигов Ю.* Сингапур: Восьмое чудо света. М. : Альпина, 2012. 334 с.

3. *Адам Л.А.* Цифровое моделирование как ключ к реформе ЖКХ и пересмотру подходов к формированию энергетических балансов территорий // Новые информационные технологии в архитектуре и строительстве: мат-лы Всеросс. науч. конф. с междунар. уч. Екатеринбург: УрГАХУ, 2018. С. 7. EDN: YMOYLR.

[1] URL: https://digitalr.ru/wp-content/uploads/2021/07/prezentacziya-skolkovo.pdf?ysclid=m8dyocfymt508326056 (дата обращения: 18.03.2025).

4. *Адам Л.А.* Независимая схема теплоснабжения // Энергосовет. 2018. № 2. С. 27.

5. *Захарова Г.Б.* Цифровой двойник города как инструмент эффективного управления // Новые информационные технологии в архитектуре и строительстве : мат-лы VII Междунар. научно-практ. конф. Под ред. Г.Б. Захаровой. Екатеринбург: УрГАХУ, 2024. С. 37. EDN: MOMAHQ.

УДК 69.05:69.07
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.006

Алпатов Вадим Юрьевич, канд. техн. наук, заведующий кафедрой
(Самарский государственный технический университет)
E-mail: avu75@mail.ru, ORCID: 0000-0003-2707-6104
Алпатов Артем Вадимович, студент
(Московский физико-технический институт)
E-mail: artemalpatov2@gmail.com, ORCID: 0000-0003-0356-615X
Алпатов Антон Вадимович, лицеист
(Лицей «Технический» имени С.П. Королева городского округа Самара)
E-mail: sir.avu@yandex.ru

Alpatov Vadim Yurievich, PhD in Sci. Tech., Head of Chair
(Samara State Technical University)
Alpatov Artem Vadimovich, student
(Moscow Institute of Physics and Technology)
Alpatov Anton Vadimovich, lyceum student
(Samara Technical Lyceum named after S.P. Korolev)

ПРИМЕНЕНИЕ BIM-ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ИНЖЕНЕРНОМ ОБСЛЕДОВАНИИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЗДАНИЯ ПОДЗЕМНОГО ПАРКИНГА

APPLICATION OF BIM TECHNOLOGIES IN ENGINEERING SURVEY TO SOLVE THE PROBLEM OF ASSESSING THE TECHNICAL CONDITION OF AN UNDERGROUND PARKING BUILDING

В статье представлены результаты обследования здания паркинга, имеющего один надземный и два подземных этажа. Обследование выполнялось на предмет установления возможности надстройки здания на один дополнительный этаж. При проведении обследования были использованы современные измерительные приборы и современные программные комплексы. С помощью специализированных программных комплексов информация, собранная при обследовании здания, была преобразована в информационную модель здания. Информационная модель здания была подвержена всестороннему анализу на предмет оценки прочности и устойчивости. В результате анализа информационной модели на воздействия нагрузок от дополнительного этажа были выданы рекомендации по усилению отдельных элементов здания.

Ключевые слова: информационная модель, BIM-технологии, техническое обследование, прочностной расчет, трубобетонная колонна.

The article presents the results of an inspection of a parking building, which has one above-ground and two underground floors. The survey was carried out to determine the possibility of adding one additional floor to the building. During the survey, modern measuring instruments and modern software systems were used. Using specialized software packages, the information collected during the building survey was converted into a building information model. The building information model was subject to comprehensive analysis to assess strength and stability. As a result of the analysis of the information model on the impact of loads from an additional floor, recommendations were issued for strengthening individual elements of the building.

Keywords: information model, BIM, technical survey, strength calculations.

Инженерно-техническое обследование зданий и сооружений выполняется в соответствии с действующими нормативными документами. Для большинства промышленных и гражданских объектов капитального строительства порядок и объем работ по техническому обследованию определяет ГОСТ 31937-2024[1]. Для исследований особых объектов кроме правил указанного документа могут быть предъявлены иные требования. Например, особые условия устанавливаются отдельными нормативными документами для транспортных сооружений[2], гидротехнических сооружений[3] и так далее. Согласно ГОСТ 31937-2024 объем работ по обследованию определяет заказчик в соответствии с целью проведения проверки здания по предложениям и обоснованиям специализированной организации, проводящей работы, сделанным на основании технического задания. Указанный ГОСТ устанавливает связь между объемом работ и их качеством, а именно: «При обследовании технического состояния здания (сооружения) получаемая информация должна быть достаточной для принятия обоснованного решения о возможности его дальнейшей эксплуатации». В зависимости от целей обследование может быть предварительным (визуальным) или детальным (инструментальным) [1, 2]. При проведении инструментального обследования решается множество разнообразных вопросов, которые зачастую нуждаются в использовании специальных методик, инструментов, оборудования, лабораторных условий и специального программного обеспечения [3, 4].

[1] ГОСТ 31937–2024. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния.

[2] ГОСТ Р 59618–2021. Дороги автомобильные общего пользования. Мостовые сооружения. Правила обследований и методы испытаний.

[3] ГОСТ Р 54523–2011. Портовые гидротехнические сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния.

Современный уровень развития техники и технологий значительно облегчает работы обследователей за счет применения современной роботизированной и автоматизированной техники (роботы, дроны, видеоэндоскопы, оптические приборы с многократным оптическим и цифровым увеличением и прочее), за счет новых возможностей измерительного оборудования (3D-сканеры, лазерные дальномеры, спутниковое оборудование и GNSS, и так далее), а также за счет новых возможностей программных комплексов [5, 6]. Современные программные комплексы, позволяющие строить информационную модель здания и производить прогнозный анализ его состояния на основе математического моделирования физических принципов, существенно повышают качество результатов технического обследования зданий и сооружений [7, 8].

Следует отметить, что сегодня получение информационной модели здания и прочностной расчет его цифровой модели в результате проведения технического обследования стали не только частым явлением, а уже выставляются некоторыми заказчиками в качестве обязательных требований в техническом задании и являются необходимыми при рассмотрении конкурсных заявок и проведении тендеров по поиску исполнителя работ [8, 9].

Применение инструментов BIM-технологии было реализовано авторами настоящей статьи при проведении инструментального технического обследования одноэтажного здания паркинга с двумя подземными этажами.

Цель работы по обследованию – выполнить оценку технического состояния существующего здания и определить возможность его надстройки на дополнительный этаж.

Постановка задачи. Задача настоящего исследования – получить максимально достоверную картину технического состояния здания и прогноз возможности его надстройки за счет создания цифрового двойника здания и анализа его напряженно-деформированного состояния.

Для достижения поставленной цели были выполнены следующие мероприятия:

– анализ имеющейся технической документации на здание;

– визуальное обследование здания;

– составление плана инструментального обследования;

– обмерные работы;

– составление дефектной ведомости;

– испытания материалов строительных конструкций неразрушающими методами;

– отбор проб материалов строительных конструкций для проведения лабораторных испытаний;

– вскрытия конструкций и исследования их в местах вскрытий;

– отрывка шурфов и исследования фундаментов в отрытых шурфах;

– отбор проб грунта из-под подошвы фундаментов;

– лабораторные исследования проб грунта;

– определение физико-механических свойств материалов строительных конструкций и грунтов оснований;

– построение информационной модели здания;

– расчет прогноза надежности и безопасности здания на основе анализа его информационной модели с учетом обнаруженных дефектов и уточненных геометрических и физико-механических характеристик материалов и грунтов оснований. Расчет выполнялся на новые нагрузки от проектируемой надстройки здания на дополнительный этаж.

Решение задачи. В результате инструментального обследования здания были собраны исходные данные в необходимом и достаточном объеме для построения информационной модели здания.

Общая геометрия здания была снята с объекта с применением современных цифровых приборов. Были использованы: лазерный нивелир, оптический теодолит, лазерный дальномер с расширенными вычислительными функциями. Для привязки объекта к местности и определения его высотных отметок применялся тахеометр и геодезический GNSS-приемник. Геометрические характеристики строительных конструкций здания замерялись при помощи лазерной и классической рулеток, цифрового штангенциркуля и лазерного угломера. Результатом этой части работ стало построение поэтажных планов, фасадов и разрезов здания (рис. 1). Обработка результатов измерений и получение чертежей выполнялась с применением программных комплексов AutoCAD, СПДС GraphiCS.

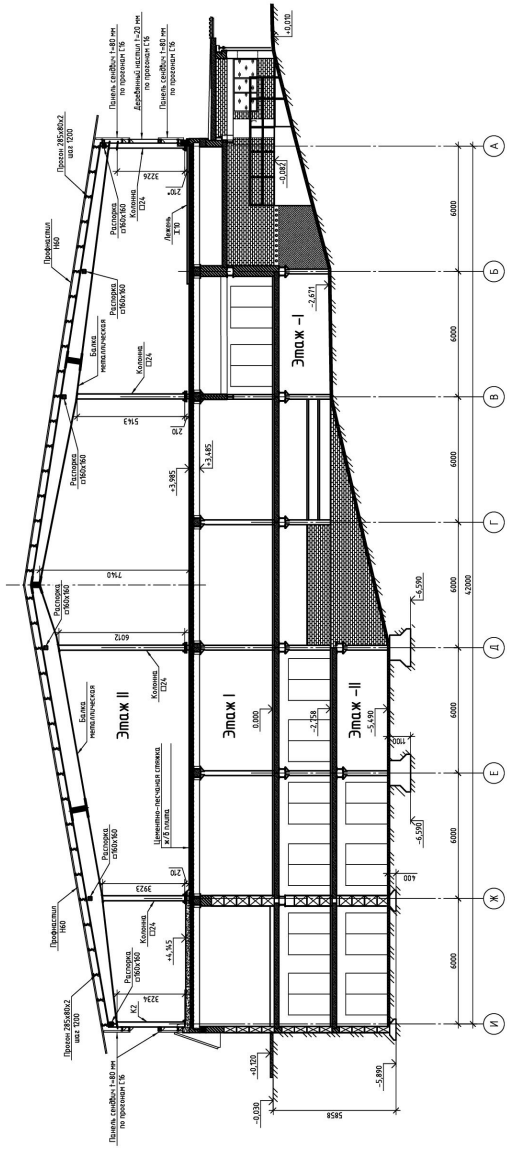


Рис. 1. Поперечный разрез здания (результат выполнения обмерных работ)

После проведения лабораторных и натурных исследований материалов строительных конструкций были определены физико-механические характеристики материалов всех несущих конструкций здания. Эта информация была применена при построении информационной модели здания в качестве ее параметров. Информационная модель здания создавалась средствами ПК «Лира» (рис. 2). Созданная информационная модель здания содержит не только геометрическую информацию в трехмерном пространстве, а еще прочностные и деформативные параметры ее элементов. Поверочный расчет здания на новые нагрузки был выполнен в ПК «Лира». Для этого информационная модель дополнилась информацией об нагрузках, действующих на здание, и особенностями взаимодействия фундаментов здания с грунтами основания. Последняя особенность была реализована с помощь специализированного расчетного модуля «Грунт» в ПК «Лира». Указанный модуль позволяет определять реакцию грунта на внешние воздействия и вычисляет осадки здания по методу линейно деформированного слоя.

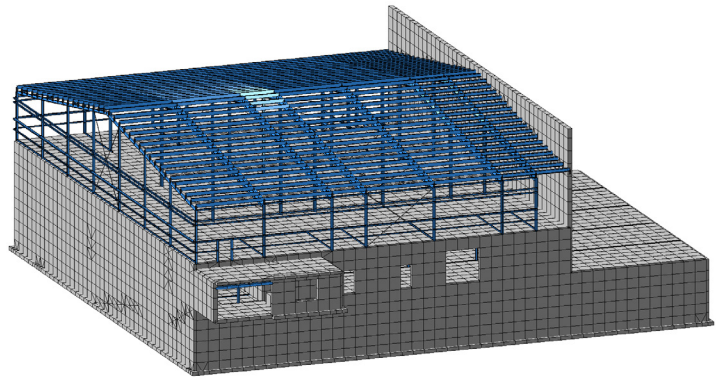


Рис. 2. 3D-модель здания (результат построения BIM)

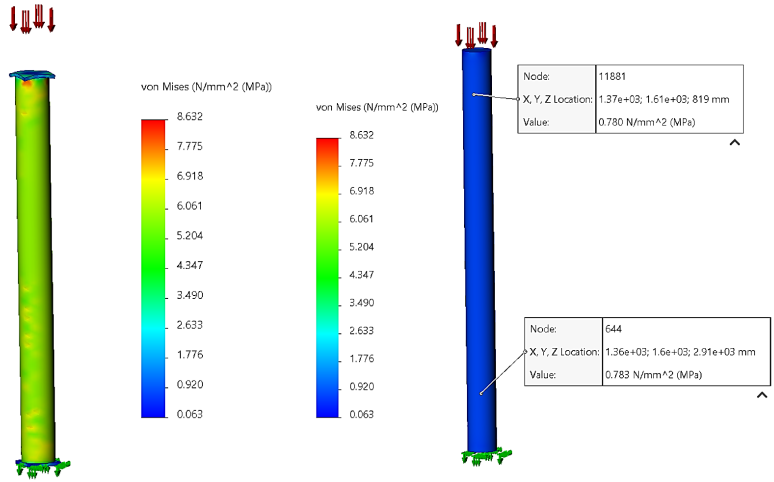
Отдельно следует рассказать о решении задачи оценки несущей способности комбинированной конструкции – трубобетонной колонны. При обследовании здания было установлено что колонны его подземной части выполнены трубобетонными. Трубобетонная конструкция изготавливается путем заполнения полости стальной трубы бетоном. Такая колонна способна выдерживать нагрузки большие чем те, которые воспринимают ее составляющие элементы отдельно. Преимущества механической работы такой колонны описаны далее.

Стальная оболочка на бетонной колонне выполняет роль косвенного армирования, препятствуя растрескиванию и расслаиванию бетона в поперечном направлении от действия продольной силы сжатия. Так как разрушение бетона сжатием происходит из-за появления продольных трещин и расслаивания твердой структуры в поперечном направлении по отношению к действующей силе, то повысить прочность бетона можно путем удержания целостности твердого тела в направлении расслаивания. Стальная оболочка успешно справляется с этой задачей и позволяет увеличить прочность бетона на сжатие.

В дополнение к сказанному стальная оболочка сама способна частично разгрузить бетонную часть комбинированной конструкции, воспринимая некоторую долю продольной сжимающей силы самостоятельно. В то же время главная причина потери несущей способности сжатого металлического элемента (которым является стальная туба) – потеря устойчивости, в значительной степени устранена. Устойчивость стальной трубы повышается за счет совместной работы с жесткой «сердцевиной», то есть с бетонной частью комбинированной конструкции. Бетонная часть оказывает поддержку стальной оболочке, раскрепляя ее от потери устойчивости. Расчет такой конструкции отличается от железобетонных конструкций и от стальных конструкций. Методика расчета таких конструкций изложена в СТО 36554501-025–2011[1].

Авторами настоящей статьи были выполнены расчеты трубобетонной колонны средствами программного комплекса CosmosWorks. Для этого была создана информационная модель трубобетонной колонны в ПК SolidWorks и выполнен ее расчет методом конечных элементов. Результаты этой работы представлены на рис. 3.

[1] СТО 36554501-025–2011 «Трубобетонные конструкции».



а) *б*)

Рис. 3. Вычисленные напряжения: *а* – в стальной оболочке трубобетонной колонны; *б* – в бетонной сердцевине трубобетонной колонны

Выводы по работе. Применение инструментов технологии BIM при выполнении технического обследования здания с подземным паркингом позволило:

1. Построить информационную модель здания.

2. Произвести проверку прочности, устойчивости и жесткости несущих конструкций модели здания с учетом совместной работы надземной части здания, его фундаментов и грунтов оснований.

3. Уточнить напряженно-деформированное состояние сложной композитной конструкции – трубобетонной колонны.

4. Выполнить анализ совместной работы стальной оболочки и бетонного сердечника трубобетонной колонны на восприятие внешних нагрузок.

5. Провести анализ несущей способности трубобетонных колонн без применения разрушающих методов исследований.

6. Проанализировать возможность надстройки существующего здания на один дополнительный этаж.

7. Разработать рекомендации по усилению отдельных конструкций здания.

8. Значительно повысить точность и обоснованность получаемых выводов.

Литература

1. *Алпатов В.Ю., Холопов И.С.* Оценка технического состояния кирпичной дымовой трубы высотой 47,5 м // Строительный вестник Российской инженерной академии: труды секции «Строительство». Вып. 7. М. : Изд-во Российской инженерной академии, 2006. С. 117–121.

2. *Леденёв В.В., Ярцев В.П.* Обследование и мониторинг строительных конструкций зданий и сооружений. Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017. 252 с.

3. *Хапин А.В., Махиев Б.Е., Ударцева А.Н.* Использование BIM-модели производственного здания при реконструкции // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : мат-лы VI Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб. : СПбГАСУ, 2023. С. 13–19. DOI: 10.23968/BIMAC.2023.002. EDN: MLESNU.

4. *Чигинский Д.С., Валеев Г.В.* Применение BIM-технологий при обследовании строительных конструкций зданий и сооружений // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : мат-лы IV Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб. : СПбГАСУ, 2021. С. 248–254. DOI: 10.23968/BIMAC.2021.032. EDN: ZNJHNB.

5. *Бачурина С.С.* Информационное моделирование: методология использования цифровых моделей в процессе перехода к цифровому проектированию и строительству. Ч. 3: Примеры лучших практик использования цифровых моделей в градостроительстве. М. : ДМК Пресс, 2022. 192 с.

6. *Бовтеев С.В., Евстифеева Е.С.* Применение 4D-моделей для визуализации возведения сборно-монолитного каркаса здания // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : мат-лы VI Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб. : СПбГАСУ, 2023. С. 20–25. DOI: 10.23968/BIMAC.2023.003. EDN: NJATCF.

7. *Алпатов В.Ю., Холопов И.С., Соловьев А.В., Петров С.М.* Анализ причин обрушения несущих конструкций ангара для стоянки локомотивов в г. Самара // Современные проблемы совершенствования и развития металлических, деревянных, пластмассовых конструкций в строительстве и на транспорте : сб. научн. тр. III Междунар. научно-техн. конф. Самара : СГАСУ, 2005. С. 328–331.

8. *Зарипова А.В., Хабибуллин А.Э.* Применение BIM-технологий в строительстве: Россия и зарубежный опыт // Экономика и предпринимательство. 2017. № 8-2 (85). С. 1151–1156. EDN: ZHBRVD.

9. *Грахов В.П., Мохначев С.А., Иштряков А.Х.* Развитие систем BIM проектирования как элемент конкурентоспособности // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1-1. С. 580. EDN: VIEEQB.

УДК 69.009.1
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.007

Белоусов Максим Юрьевич, аспирант
(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)
E-mail: maxim.8elousoff@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-1712-5171
Конюшков Владимир Викторович, канд. техн. наук, доцент
(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)
E-mail: konyushkov_vv@spbstu.ru, ORCID: 0000-0002-3561-8156

Belousov Maxim Yurievich, postgraduate student
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)
Konyushkov Vladimir Viktorovich, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ В ВИДЕ ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

PRESENTATION OF THE RESULTS OF ENGINEERING AND ENVIRONMENTAL SURVEYS IN THE FORM OF A DIGITAL INFORMATION MODEL

В представленной работе изучен раздел инженерных изысканий, в частности, инженерно-экологические изыскания. Автор обозначил существующие стандарты в форматах предоставления результатов инженерно-экологических изысканий. Изучены государственные постановления на развитие и внедрение технологий информационного моделирования, национальный проект «Экология», в рамках которого должен быть обеспечен мониторинг окружающей среды. На основании сравнения рынка отечественных программных комплексов по разработке цифровых моделей местности было предложено использование форматов dwg, dxf и ifc, как способ подачи результатов инженерных изысканий. В качестве примера были представлены некоторые возможности представления сведений и документов изысканий в Model Studio CS Генплан.

Ключевые слова: инженерные изыскания, инженерно-экологические изыскания, цифровая информационная модель, информационное моделирование, экспертиза, стандартизация.

The presented work studies the section of engineering surveys and environmental surveys. The author has outlined the existing standards in the formats of providing the results of engineering and environmental surveys. State decrees on the development and implementation of information modelling technologies, the national project “Ecology”, within the framework of which environmental monitoring should be provided. Based on

comparison of the market of domestic software complexes for development of digital terrain models it was proposed to use dwg, dxf and ifc formats as a way to submit the results of engineering surveys. As an example, some possibilities of presentation of information and documents of surveys in Model Studio CS Genplan were presented.

Keywords: engineering surveys, engineering and environmental surveys, digital information model, information modelling, expertise, standardization.

Инженерно-экологические изыскания представляют собой комплекс результатов исследований компонентов окружающей среды, антропогенного влияния, социально-экономических условий для подготовки документов территориального планирования, строительства или реконструкции. Одно из сегодняшних приоритетных направлений научно-технологического развития является обеспокоенность окружающей средой: адаптация к изменению климата, сохранение и рациональное использование имеющихся природных ресурсов[1]. В РФ внедрение информационного моделирования активно поддерживается законодательными инициативами. При некоторых условиях разработка и поддержание информационной модели (ИМ) на всех этапах жизненного цикла объектов капитального строительства должна обеспечиваться заказчиком. К таким случаям относятся проектирование, строительство и реконструкция, финансируемые за счет средств бюджетной системы РФ, а также проекты долевого строительства, начиная с 2024 года.

Требования к составу и содержанию ИМ предусматривают, что при ее разработке по запросу заказчика должна быть создана цифровая информационная модель (ЦИМ) [1]. Кроме того, Федеральный закон № 151-ФЗ устанавливает возможность использования региональной нормативной базы для регулирования правил формирования и ведения информационной модели. Это включает определение состава сведений, документов и материалов, которые должны быть включены в информационную модель[2]. На дальнем востоке России, точнее, в Приморском крае был разработан свод методических рекомендаций для подготовки информационной модели (ИМ) к государственной экспертизе по результатам инженерных изысканий [2].

[1] Указ Президента Российской Федерации от 18 июня 2024 г. № 529 «Об утверждении приоритетных направлений научно-технологического развития и перечня важнейших наукоемких технологий».

[2] Федеральный закон «О внесении изменений в Федеральный закон „Об участии в долевом строительстве многоквартирных домов и иных объектов недвижимости и о внесении изменений в некоторые законодательные акты Российской Федерации“ и отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 27.06.2019 № 151-ФЗ

Общий подход к разработке процесса перехода использования информационного моделирования на примере инженерно-экологических изысканий уже был описан в работе [3]. В данной работе предлагается реализовывать актуальные тенденции, связанные с применением инструментов технологии информационного моделирования (ТИМ), для консолидации результатов инженерно-экологических изысканий в виде трехмерной информационной модели. Ханты-Мансийский филиал Главгосэкспертизы уже инициировал вопрос о включении в состав отчетной документации по инженерным изысканиям цифровой модели местности, которая дублирует представленные данные в более привычном для восприятия формате. Так, не редкость, что сами эксперты запрашивают дополнительно ИЦММ (инженерно-цифровая модель местности) для осуществления своей работы [4].

Результаты инженерных изысканий предоставляются в виде текстовой и графической части[1]. В СП 47.13330.2016 не говорится о конкретных файловых расширениях электронных версий документов. Однако, Главгосэкспертиза принимает объем проверяемых документов, в основном, в формате xml, docx или pdf. В данных требованиях есть указания, что документация с графическими изображениями предоставляется в формате pdf[2]. О дополнительных форматах, которые могут помочь проверяющим экспертам, нет другой информации.

Для определения дополнительного формата представления графической информации исследуем существующий рынок программного обеспечения в России. Одним из приоритетных направлений научно-технического развития в нашей стране является безопасность хранения и передачи информации. Поэтому для сравнения программных продуктов будем использовать отечественные разработки программных комплексов для создания цифровой модели местности, но, в качестве исключения, добавим в этот список AutoCAD Civil 3D, так как в прилагаемом источнике данное решение фигурирует распространенным зарубежным аналогом.

---

[1] СП 47.13330.2016 «СНиП 11-02-96 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения» (Приказ Минстроя России от 30 декабря 2016 г. № 1033/пр).

[2] Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 12.05.2017 № 783/пр «Об утверждении требований к формату электронных документов, представляемых для проведения государственной экспертизы проектной документации и (или) результатов инженерных изысканий и проверки достоверности определения сметной стоимости строительства, реконструкции, капитального ремонта объектов капитального строительства» (зарегистрирован 25.08.2017 № 47947).

Таблица 1

Форматы представления цифровой модели местности, поддерживаемые программными комплексами[1]

Форматы представления цифровой модели местности, поддерживаемые программными комплексами	AutoCAD Civil 3D	Model Studio CS Генплан	КРЕДО Генплан	Топоматик Robur	nanoCAD GeoniCS	IndorCAD/ Topo
.dwg	+	+	+	+	+	+
.ifc	+	+	+	+	+	+
.dxf	+	+	+	+	+	+
.wmf	+	–	–	–	–	–
.sat	+	+	–	–	–	–
.stl	+	+	–	–	–	–
.eps	+	–	–	–	–	–
.dxx	+	–	–	–	–	–
.dgn	+	–	–	–	–	–
.iges/igs	+	+	–	–	–	–
.x_t	–	+	–	–	–	–
.x_b	–	+	–	–	–	–
.jt	–	+	–	–	–	–
.step/stp	–	+	–	–	–	–
.dae	–	+	–	–	–	–
.c3d	–	+	–	–	–	–
.gltf	–	+	–	–	–	–
.glb	–	+	–	–	–	–
.obx	–	–	+	–	–	–
.prx	–	–	+	–	–	–

[1] Перечень российского программного обеспечения для субъектов градостроительной деятельности в соответствии с данными Единого реестра российского программного обеспечения для ЭВМ.

Окончание табл. 1

Форматы представления цифровой модели местности, поддерживаемые программными комплексами	AutoCAD Civil 3D	Model Studio CS Генплан	КРЕДО Генплан	Топоматик Robur	nanoCAD GeoniCS	IndorCAD/ Topo
TopoXML	–	–	+	–	–	–
MIF/MID	–	–	+	–	–	–
.txf	–	–	+	–	–	–
.fbx	–	–	–	+	–	+
.mapx	–	–	–	+	–	+
.xpgx	–	–	–	+	–	+
.trn	–	–	–	+	–	+
LandXML	–	–	–	+	+	+
.obj	–	–	–	+	–	+
.3ds	–	–	–	+	–	+

Из табл. 1 видно, что для всех программных комплексов подходит представление данных в формате .dwg, .dxf и ifc. И это неудивительно, формат dwg один из самых распространённых форматов систем САПР, он использует векторную графику и хранит в себе не только линии и точки, но и метаданные: авторство, слои, дату создания, различные свойства объектов. Поэтому его использование широко распространено среди программных комплексов САПР. Формат dxf имеет ту же суть, отличие от формата dwg в способе кодирования, dxf использует текстовое описание, а dwg двоичный код. Формат IFC (Industry Foundation Classes) – это международный формат обмена данными для упрощенного взаимодействия в строительной сфере. Он использует открытую спецификацию и не принадлежит какой-либо группе компаний [5].

Для представления результатов инженерно-экологических изысканий в виде информационной цифровой модели местности (ИЦММ) будем использовать программный комплекс Model Studio CS Генплан. В тестовой модели отражены: вариант по отображению границ зон с особыми условиями использования территории (рис. 1), заполнение сведений об исследуемом объекте (рис. 2), а также указан способ прикрепления

документации в формате pdf (рис. 3). Алгоритм разработки цифровой модели местности (ЦММ) представлен в публикации С. А. Макаренко [6].

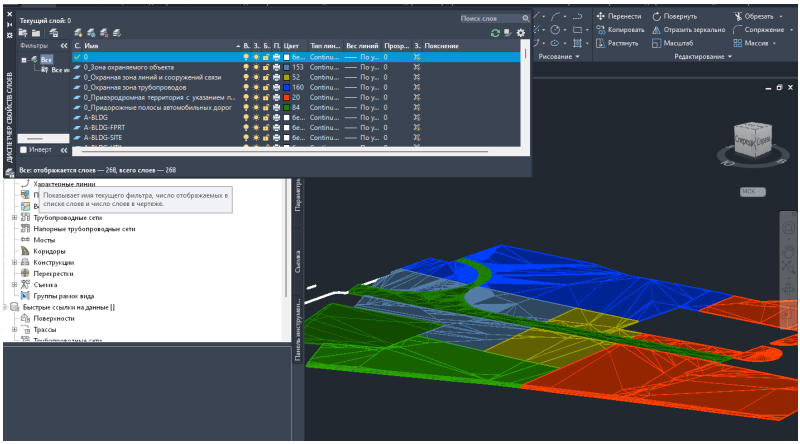


Рис. 1. Создание слоев с границами зон особого использования

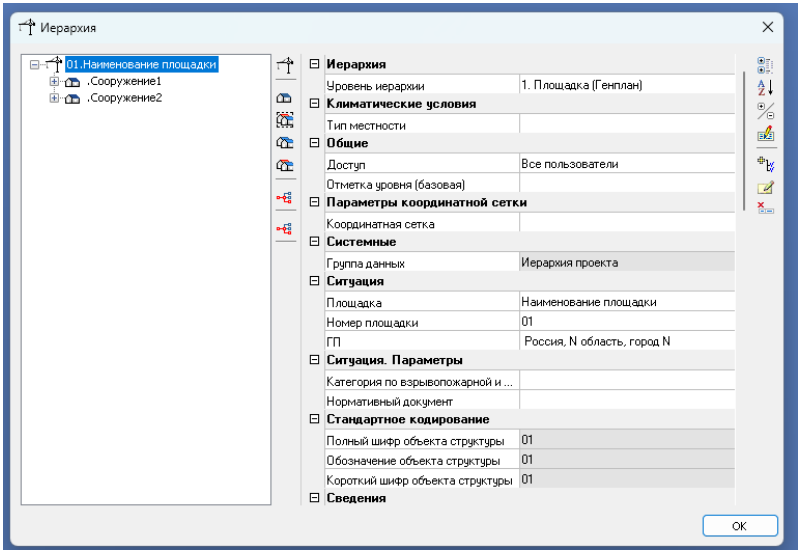


Рис. 2. Заполнение сведений об исследуемом объекте



Рис. 3. Возможность загрузки документации к объектам в модели и их просмотр

Таким образом, был осуществлен анализ существующей документации по теме представления инженерно-экологических изысканий. Государственный курс на развитие и использование ТИМ в строительстве и экологии дает понять, что изменения в сторону цифровизации представления результатов инженерных изысканий реальны. Выполнено сравнение отечественных программных комплексов по возможности использования различных форматов представления данных об цифровой модели местности. Существующего формата подачи документации для прохождения государственной экспертизы недостаточны, и автором предложено расширить список общепризнанными форматами dwg, dxf, и ifc. В конце статьи приведены возможности представления результатов цифровой модели местности в программном комплексе Model Studio CS Генплан.

Литература

1. *Сербин С.А., Архипович М.А., Серёгина Н.Ю.* Оценка возможности проведения экспертизы проектной документации без двумерных чертежей по цифровой информационной модели // Информационное моделирование в задачах строительства и архитектуры : мат-лы VII Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб. : СПбГАСУ, 2024. С. 226–236. DOI:10.23968/BIMAC.2024.031 EDN: OMEDSF.

2. Методические рекомендации по подготовке информационной модели объекта капитального строительства, представляемой на рассмотрение в КГАУ «Примгосэкспертиза» в связи с проведением государственной экспертизы результатов инженерных изысканий при использовании технологии информационного моделирования и оценки информационной модели объекта капитального строительства. URL: https://primgosexpert.ru/wp-content/uploads/2022/02/bim_metod_rekomend.pdf (дата обращения: 01.02.2025).

3. *Флеенко А.С., Демьяненко А.Ф.* Разработка методики перехода к технологиям информационного моделирования в инженерных изысканиях (на примере инженерно-экологических изысканий) // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2021. Т. 19, № 3. С. 70–82. DOI: 10.25205/1818-7900-2021-19-3-70-82. EDN: PJLVHW.

4. *Волегжанин Д.Н.* Проведение экспертизы результатов инженерно-геодезических изысканий в форме инженерных цифровых моделей // Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации. М. : Геомаркетинг, 2019. С. 88–92 EDN: TYZZYP.

5. *Осташев Р.В., Евтушенко С.И.* Разработка IFC маппинга для выгрузки информационных моделей архитектурных решений // Строительство и архитектура. 2022. № 2(10). С. 91–110. DOI:10.29039/2308-0191-2022-10-2-91-110. EDN: YADGFT.

6. *Макаренко С.А.* Создание поверхности в среде AutoCAD(Civil 3D) по результатам тахеометрической съемки // Модели и технологии природообустройства (региональный аспект). 2016. № 2(3). С. 50–57. EDN: XVARRL.

УДК 550.8.05+004.942
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.008

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

ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ГЕОТЕХНИКЕ

INFORMATION MODELING IN GEOTECHNICS

В статье рассмотрен общий подход к созданию трехмерной цифровой инженерно-геологической модели (ЦИГМ) на основе данных инженерных изысканий, включая инженерно-геодезические, инженерно-геологические исследования и полевые испытания грунтов методом статического зондирования. Предложена методология формирования ЦИГМ, используя данные рельефа местности, геометрии склона и свойств грунтов. Вся информация в цифровом виде, начиная с геодезических изысканий, проведения исследований свойств грунтов и последующем проектировании передается в едином цифровом потоке с открытым выходным форматом данных IFC4. В статье рассмотрен комплексный подход к формированию цифровых моделей, который сочетает количественную оценку неопределенности входных параметров с традиционными методами проектирования. В качестве примера рассмотрен случай формирования ЦИГМ природного склона с последующим расчетом его устойчивости в детерминированной и вероятностной постановке.

Ключевые слова: информационное моделирование, цифровая инженерно-геологическая модель, методология формирования цифровой модели, цифровая модель склона, вероятность отказа, коэффициент устойчивости.

The article discusses a general approach to creating a three-dimensional digital engineering and geological model (DEGM) based on engineering survey data, including engineering and geodetic, engineering and geological studies and field testing of soils by static penetration. A methodology for the formation of DEGM using terrain data, slope geometry, and soil properties is proposed. All information in digital form, starting with geodetic surveys, conducting studies of soil properties and subsequent design, is transmitted in a single digital stream with an open IFC4 data output format. The article considers an integrated approach to the formation of digital models, which combines a quantitative assessment of the uncertainty of input parameters with traditional design methods. As an example, the case of the formation of a DEGM of a natural slope is considered, followed by the calculation of its stability in a deterministic and probabilistic formulation.

Keywords: information modeling, digital engineering and geological model, methodology of digital model formation, digital slope model, probability of failure, stability coefficient.

Введение. В последние годы информационное моделирование стали чаще использовать при проведении инженерно-геологических изысканий и проектировании оснований зданий и сооружений [1–4]. В результате предложена методология построения цифровой инженерно-геологической модели площадки изысканий (ЦИГМ) и цифровой геотехнической модели (ЦГМ). ЦИГМ основаны на данных инженерных изысканий, включая инженерно-геологические, геофизические и геодезические изыскания[1]. ЦГМ основаны на ЦИГМ с включением различного вида фундаментов, дамб, туннелей и других сооружений. Расчеты в ЦГМ выполняются с использованием соответствующих сводов правил в РФ[2] или численных методов расчета [3, 4].

Последние исследования в этом направлении были сосредоточены на совместимости BIM и численного моделирования [3, 4]. Был разработан полностью автоматизированный рабочий процесс проектирования на основе анализа, который обеспечивает прямое представление об условиях безопасности с помощью цифровой модели [4].

Несмотря на значительный интерес к применению информационных технологий в строительной отрасли, их реализация при проведении инженерно-геологических изысканий пока еще незначительна как в РФ, так и в зарубежной практике. В то же время, за последние годы в РФ введены в действие несколько стандартов, регулирующие общие правила разработки и использования информационных технологий в строительстве[3]. К сожалению, до сих пор в РФ не разработан стандарт, регулирующий формат обмена данными, не формализованы процедуры создания и ведения информационных систем в области инженерных изысканий.

В данной статье мы попытались представить наш опыт разработки и внедрения цифровых технологий при проведении инженерно-геологических исследований и проектировании оснований зданий и сооружений

[1] СП 446.1325800.2019. Инженерно-геологические изыскания. Общие правила производства работ. М.: ФГУП ЦПП, 2019. 150 с.

[2] СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*. М.: ФГУП ЦПП, 2016. 228 с.

[3] СП 333.1325800.2020. Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла.

(ТИМГео). Более полную информацию о ТИМГео и программу Geotek Field можно найти на сайте http://www.geotek-bim.ru.

Методология ТИМГео. Общая процедура рассматриваемой методологии инженерно-геологических изысканий и проектирования оснований зданий и сооружений включает два подхода: детерминированный и стохастический. ТИМГео включает данные инженерно-геодезических, инженерно-гидрогеологических, инженерно-геологических изысканий и методы проектирования оснований зданий и сооружений. ТИМГео реализована в виде набора технических (приборы и устройства) и программных средств (программы Geotek Field и др.), разработанные компанией ООО «НПП Геотек» (см. сайт http://www.geotek-bim.ru).

Предлагаемая комплексная информационная технология объединяет в единый производственный процесс инженерные изыскания и проектирование оснований зданий и сооружений. Вся информация, начиная с геодезических изысканий, проведение исследований свойств грунтов и расчет оснований аналитическими и численными методами выполняются в едином цифровом потоке с открытым форматом передачи данных (IFC4). Результатом является сокращение сроков изысканий и проектирования. Подобный подход исключает этап передачи информации от геологов проектировщикам, что дополнительно сокращает время принятия решений. ТИМГео позволяет получить оценочное решение одного из вариантов фундаментов в течение нескольких рабочих дней в любых инженерно-геологических и климатических условиях.

Вероятностный подход к изысканиям. В настоящее время в РФ при проектировании оснований зданий и сооружений используется преимущественно детерминированный подход. Последний предполагает как постоянство свойств грунта в исследуемом массиве грунтов, так и неизменность внешней нагрузки на основания зданий и сооружений. Проектирование выполняется по предельным состояниям: деформации и несущей способности с использованием метода частных коэффициентов надежности. Например, коэффициенты надежности по нагрузке учитывают изменчивость нагрузок или воздействий; коэффициенты надежности по бетону и арматуре учитывают изменчивость бетона и арматуры, соответственно; коэффициенты надежности по грунту вводятся при определении расчетных значений прочностных характеристик и другие. Подобный подход используется и в зарубежной практике, например, в Еврокоде 7 [5] это частные коэффициенты безопасности, которые изменяются от 1,00 до 1,4 для различных характеристик грунтов.

В действительности существует значительная неопределенность как в свойствах грунтов, так и в начальном напряженном состоянии из-за

естественной изменчивости природных условий (случайная), а также из-за источников неопределенности, основанных на знаниях (эпистемологическая), включая ограниченную доступность информации о грунтовых условиях и допущенных ошибках на этапе инженерно-геологических изысканий. Эта неопределенность создает проблему при разработке надежной геологической модели участка изысканий и, следовательно, усложняет процесс проектирования. Кроме того, неопределенность входных параметров (свойства грунта и материала конструкций, нагрузки) распространяется на весь процесс проектирования. Например, неопределенность в свойствах грунта приводит к неопределенности внутренних усилий в конструкции фундаментов и надземных конструкций, а также к определенному риску во время строительства.

Хотя эта неопределенность часто количественно оценивается с использованием статистических методов на этапе инженерно-геологических исследований площадки строительства, существующие методы инженерного проектирования сложно применять для оценки влияния неопределенности на работоспособность системы «основание-фундамент». Обычно неопределенность рассматривается субъективно в процессе проектирования путем выбора консервативных входных параметров в детерминированном анализе. Например, можно использовать более низкое репрезентативное значение прочности или принять изотропный характер начального напряженного состояния, чтобы получить наименьший коэффициент безопасности. Подобный подход часто приводит к выбору более прочной конструкции. Использование чрезмерно прочной конструкции может иметь значительные последствия для проекта, поскольку, например, замена фундамента мелкого заложения фундаментом глубокого заложения увеличит как сроки строительства, так и стоимость.

Поэтому необходим комплексный подход к проектированию, который сочетает количественную оценку неопределенности входных параметров с традиционными методами проектирования, чтобы обеспечить выбор оптимальной системы «основание-фундамент» на основе как безопасности, так и стоимости. Комплексный подход включает детерминированный и вероятностные методы проектирования и рекомендован стандартами Евросоюза [5] и ГОСТ РФ[1]. Эти стандарты используются три частных подхода, которые предлагают оценку надежности конструкции. Это метод частных коэффициентов, экспериментальный метод и вероятностные методы.

[1] ГОСТ Р ИСО 2394–2016. Конструкции строительные. Основные принципы надежности. М. : Стандартинформ, 2016. 62 с.

Метод частных коэффициентов предназначен для выполнения расчетов в детерминированном подходе. Вероятностный метод предназначен в случае включения в анализ неопределенности как свойств грунтов основания, так и изменчивость внешней нагрузки. Рассмотренные детерминированные и вероятностный подходы реализованы в рамках технологии информационного моделирования (ТИМГео).

Основной проблемой детерминированных методов является невозможность оценить вероятность событий для случайных явлений, которые обусловлены пространственной неоднородностью грунтов. Детерминистские формулировки не могут учесть естественную изменчивость грунтов и присущую дисперсию параметров грунтов, поскольку эти свойства обычно определяются с помощью показателей нормального закона распределения или изменяются субъективно в соответствии с полевыми наблюдениями и инженерными критериями [6]. Неопределенности, вызванные случайным поведением свойств грунта, и гипотезы, сформулированные при интерпретации параметров, могут снизить точность анализа геотехнических решений: расчет несущей способности, расчет устойчивости склона и др. Внедрение вероятностных моделей, которые способны оценить неопределенности классических методологий, позволяют преодолеть недостаток точности детерминированных методов.

Инженерно-геологические условия обычно представляются как слои однородного материала, в которых предполагается, что каждый слой однороден и поэтому присваивается единый набор значений свойств. Это упрощение приводит к использованию средних значений свойств (или других единичных репрезентативных значений) для каждого слоя и позволяет проводить детерминированный анализ оснований и фундаментов, приводящий к единому коэффициенту безопасности. Однако полевые испытания, такие как статическое и динамическое зондирование показывают, что значения свойств грунта не одинаковы внутри слоя и отличаются в пространстве от одной точки к другой и, следовательно, слои грунта не являются однородными. Следовательно, для учета изменчивости свойств грунтов в пространстве, целесообразно использовать вероятностные методы анализа.

Это означает, что сначала генерируются случайные поля свойств грунтов, а затем поведение фундамента или всего здания последовательно анализируется для различных случайных полей как часть моделирования методом Монте-Карло [7]. Это приводит к «диапазону» результатов с различными коэффициентами безопасности в отличие от традиционного подхода, когда для однородного основания находится один коэффициент

безопасности. Затем результаты обрабатываются статистическими методами, с помощью которых может быть получена более значимая оценка, основанная на надежности (например, вероятность превышения нормативной осадки или несущей способности). Решение задачи в подобной постановке можно найти, используя один из вероятностных методов конечных элементов [8] или аналитические решения [9].

Следует отметить, что теория вероятностей и анализ надежности обеспечивают рациональную основу для оценки пространственной неоднородности свойств грунтов и ее влияния на поведение оснований зданий и сооружений, включая надземные конструкции. Вероятностный анализ может быть использован при проектировании, основанном на надежности. Этот подход полезен, поскольку он учитывают изменчивость грунта для оценки вероятности разрушения в зависимости от различных механизмов отклика поведения конструкции. Одним из преимуществ подхода, основанного на оценке надежности заключаются в том, что он может определить запас прочности для конструкций в соответствии с определенной вероятностью отказа (разрушения).

Рассмотрим данную процедуру на примере расчета устойчивости склона методом предельного равновесия. Процедура инженерно-геологических исследований и проектирования включает следующие этапы.

1. На ситуационном плане выделяется исследуемый массив грунта с его границами в плане. Методом статического зондирования определяются параметры грунтов на опорных выработках, необходимые для расчета устойчивости. В данном случае это девять СРТ выработок. Пример данных зондирования по одной из выработок показан на рис. 1.

2. Выполняется статистическая оценка параметров зондирования и выбранных параметров грунтов используя выборки на опорных выработках (рис. 2). Оценивается пространственная изменчивость свойств грунтов: среднее значение μ, стандартное отклонение σ, коэффициент вариации *Cov*. Пример функции распределения при нормальном и логнормальном законе показан на рис. 2 для сил удельного сцепления при размере выборки $n = 486$.

3. Начинается построение трехмерной цифровой инженерно-геологической модели (3D ЦИГМ). Для этого выделенный массив грунта разбивается на конечные элементы заданных размеров (рис. 3). Затем, определяются параметры грунтов в пространстве между опорными выработками. В данном случае применен метод кригинга со сферической вариограммой.

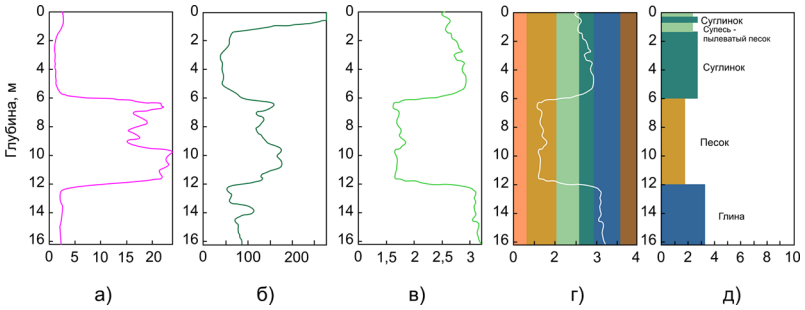


Рис. 1. Типовые CPT данные измерений: *а* – удельное сопротивление конуса; *б* – удельные силы трения; *в* – коэффициент трения; *г* – индекс типа поведения грунта; *д* – литологическая колонка

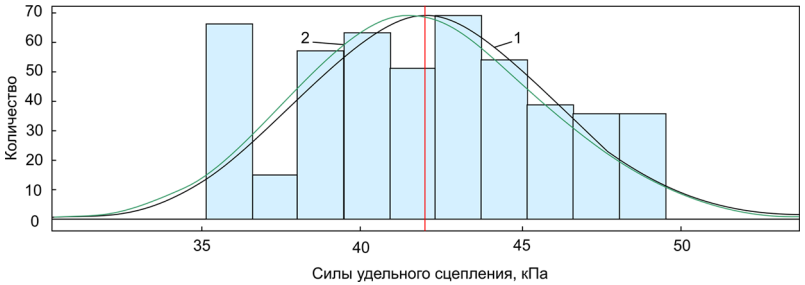


Рис. 2. Функции плотности вероятности сил удельного сцепления суглинка *c*, кПа: *1* – нормальное распределение; *2* – логнормальное распределение; μ = 42,004 кПа; σ = 3,859 кПа; Cov = 9,186 %

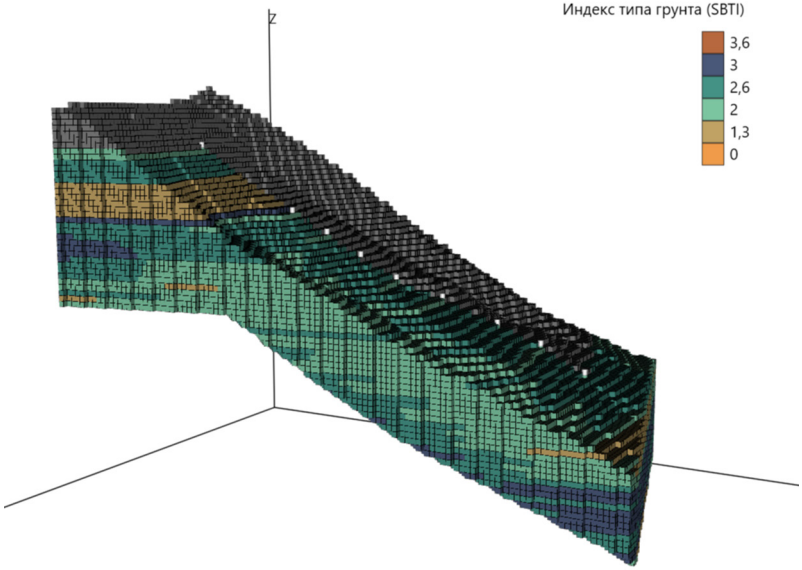


Рис. 3. Трехмерная модель склона. Элементы сетки размером 1×1×1 м

4. Выполняется статистическая оценка параметров грунтов используя значения на опорных выработках и найденные в пространстве между опорными выработками. Оценивается пространственная изменчивость свойств грунтов: среднее значение μ, стандартное отклонение σ, коэффициент вариации *Cov*.

5. Выполняется окончательное построение 3D ЦИГМ. Свойства грунтов определены в каждом конечном элементе исследуемого массива грунта.

6. Так как оценка устойчивости склона выполняется в 2D-постановке, то выбирается один из разрезов в 3D ЦИГМ и параметры грунтов в каждом из конечных элементов разреза (рис. 4).

7. Выполняется расчет коэффициента устойчивости склона одним из методов предельного равновесия, например, методом Бишопа [10] (рис. 5).

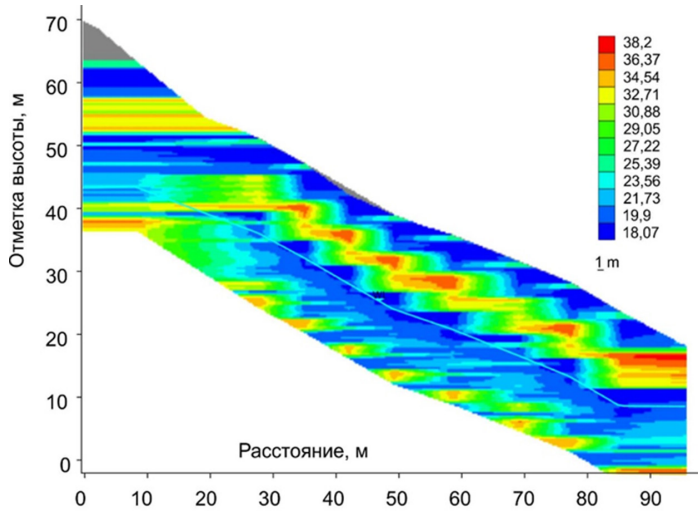


Рис. 4. Пример распределения угла внутреннего трения по разрезу через выработки на трехмерной модели

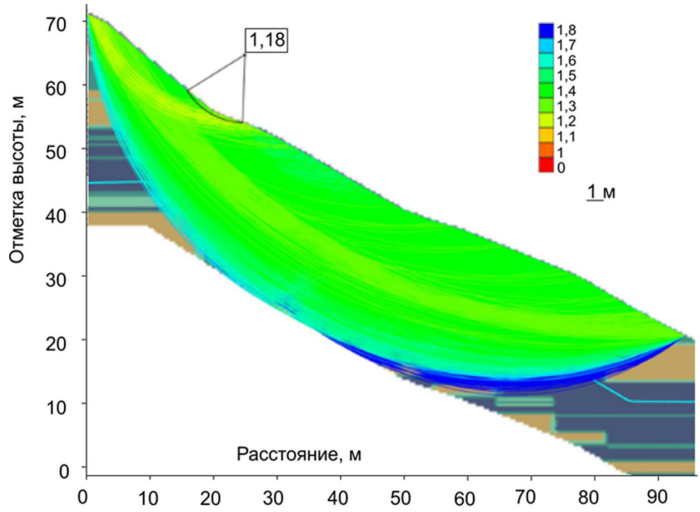


Рис. 5. Поверхности скольжения при различных значениях коэффициента устойчивости

8. Используя моделирование методом Монте-Карло, находится функция плотности вероятности распределения коэффициента устойчивости и вероятность отказа (рис. 6).

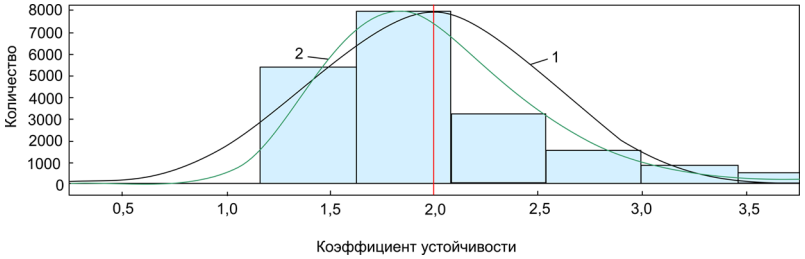


Рис. 6. Коэффициент устойчивости: *1* – нормальное распределение; *2* – логнормальное распределение; μ = 1,997, σ = 0,553, *Cov* = 27,7 %

На рис. 7 приведена зависимость вероятности отказа при различных значениях коэффициента устойчивости. Вероятность отказа найдена с учетом пространственной изменчивости параметров прочности и удельного веса грунта. Красным цветом выделена область опасного состояния, когда коэффициент устойчивости менее единицы. Индекс надежности β = 1,803 при вероятности отказа p_f = 0,0785. Используя эти параметры и классификацию безопасности [11], находим, что в рассматриваемом случае склон находится в состоянии с низким уровнем безопасности.

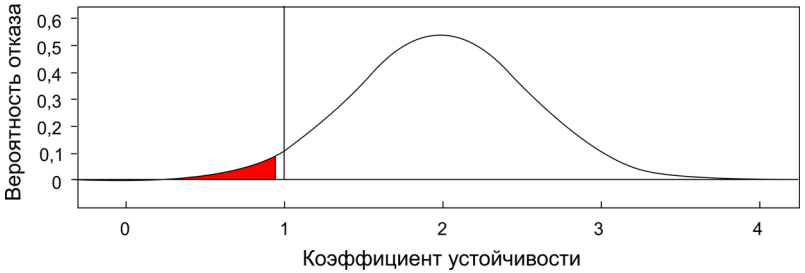


Рис. 7. Функция плотности вероятности отказа

9. Выполняется визуализация 3D ЦИГМ и формирование модели в формате IFC. Выводится геометрия 3D-модели с отображением конечных элементов и список в таблице Excel с номерами, узлами конечных элементов и параметрами грунтов.

Заключение. В данной статье рассмотрен общий подход к созданию трехмерной цифровой модели на основе данных статического зондирования. В качестве одной из задач геотехники рассмотрен случай вероятностной оценки устойчивости склона.

Уровень безопасности в геотехнических проектах, обычно выражаемый коэффициентом запаса прочности в строительных нормах, может быть лучше описан вероятностью отказа с использованием вероятностного анализа, который непосредственно учитывает пространственную изменчивость свойств грунтов.

Моделирование свойств грунтов в пространстве методом кригинга и вероятностный анализ методом Монте-Карло позволяют выполнить анализ различных задач геотехники достаточно просто, поскольку такой анализ не требует дополнительных данных, времени и усилий.

Литература

1. *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.

2. *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.

3. *Qiu Y., Wang J., Zhang C., Hua L., Zhou Z.* Numerical Simulation Study on the Impact of Excavation on isting Subway Stations Based on BIM-FEM Framework // Buildings. 2024. Vol. 14, No. 5. P. 1444. DOI: 10.3390/buildings14051444. EDN: GXMEQF.

4. *Ninic J., Alsahly A., Vonthron A., Bui H.G., Koch C., König M., Meschke G.* From digital models to numerical analysis for mechanised tunnelling: A fully automated design-through-analysis workflow // Tunnelling and Underground Space Technology. 2021. Vol. 107. P. 103622. DOI: 10.1016/j.tust.2020.103622. EDN: ADPFCX.

5. Eurocode 7, 2004: EN1997-1, Geotechnical Design – Part 1: General Rules. Bruxelles: CEN.

6. *Phoon K.-K., Kulhawy F.H.* Characterization of Geotechnical Variability // Canadian Geotechnical Journal. 1999. Vol. 36, No. 4. P. 612–624. DOI: 10.1139/t99-038.

7. *Zio E.* The Monte Carlo Simulation Method for System Reliability and Risk Analysis. Springer-Verlag London, 2013. 204 p.

8. *Ding Y.N., Qi Z.F., Hu M., Mao J.Z., Huang X.C.* Probabilistic Risk Assessment of Slope Failure in 3-D Spatially Variable Soils by Finite Element Method // Advances in Civil Engineering. 2022. Vol. 2022. P. 6191933. DOI: 10.1155/2022/6191933. EDN: WRHEUB.

9. *Sathish Kumar M., Raj Kumar M.* Evaluation of Dump Slope Stability Using Slide, Geoslope, and Phase 2 Software // Journal of Machine and Computing. 2022. Vol. 2, No. 1. P. 33–41. DOI: 10.53759/7669/jmc202202005. EDN: QQIWCL.

10. *Bishop A.W.* The use of the slip circle in the stability analysis of slopes // Geotechnique. 1955. Vol. 5. No. 1. P. 7–17. DOI: 10.1680/geot.1955.5.1.7.

11. US Army Corps of Engineers. Engineering and Design: Introduction to Probability and Reliability Methods for Use in Geotechnical Engineering // Engineer Technical Letter 1110-2-547, 1997. Department of the Army: Washington, DC, USA.

УДК 69.05+004.896
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.009

Воднев Богдан Сергеевич, аспирант, инженер ПТО
(Томский государственный архитектурно-строительный университет,
ООО «ЕВРОСТРОЙ ТСК»)
E-mail: bvodnev97@gmail.com, ORCID: 0000-0003-3544-3533
Воднева Вера Сергеевна, инженер-конструктор
(ООО «Сибирские Технологии Проектирования»)
E-mail: vodneva99@gmail.com
Гныря Алексей Игнатьевич, д-р техн. наук, профессор
(Томский государственный архитектурно-строительный университет)
E-mail: tsp_tgasu@mail.ru, ORCID: 0000-0001-5480-5961

Vodnev Bogdan Sergeevich, postgraduate student, engineer
(Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering,
LLC "EVROSTROY TSK")
Vodneva Vera Sergeevna, design engineer
(LLC "Siberian Design Technologies")
Gnyrya Alexey Ignatievich, Dr. Sci. Tech., Professor
(Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering)

УРОВНИ ЗРЕЛОСТИ BIM В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ: АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ

BIM MATURITY LEVELS IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY OF THE TOMSK REGION: ANALYSIS AND PROSPECTS

В статье проведен анализ текущего состояния применения технологий информационного моделирования (ТИМ) застройщиками в Томской области. Рассмотрены уровни зрелости BIM (уровни 0–3) среди ключевых участников строительной отрасли региона. Выявлены основные проблемы перехода строительных компаний на более высокие уровни зрелости. Раскрыты преимущества внедрения ТИМ для генподрядных организаций. Предложены дополнительные меры поддержки, способствующие внедрению цифровых технологий в строительные организации, включая разработку методики оценки влияния ТИМ на эффективность строительных процессов (сроки, экономичность, качество) и подготовку практических рекомендаций по внедрению с учётом региональных особенностей.

Ключевые слова: технология информационного моделирования, уровни зрелости BIM, среда общих данных, цифровая информационная модель, цифровизация, строительная отрасль.

The article analyzes the current state of applying building information modeling (BIM) in Tomsk regional construction companies. We examine BIM maturity levels

(0-3) among the key participants of the construction industry in the region and indicate the main problems of their transition to higher levels of maturity. The advantages of implementing BIM for general contractors are revealed. Additional support measures are proposed to promote the introduction of digital technologies in the construction organizations, including the development of methodology for assessing the impact of BIM on the effectiveness of construction processes (timing, efficiency, quality) and the preparation of practical recommendations for its implementation, taking into account regional specifics.

Keywords: information modeling technology, BIM maturity levels, shared data environment, digital information model, digitalization, construction company.

В последние годы технологии информационного моделирования (ТИМ) занимают всё более важное место в строительной отрасли России. Это обусловлено рядом факторов: возрастающей сложностью проектов, необходимостью снижения издержек на устранение коллизий, а также общими затратами на строительство [1, 2]. Внедрение ТИМ в строительную сферу нашей страны активно началось с 2014 года и продолжается по настоящее время.

Одним из ключевых аспектов успешного внедрения ТИМ является уровень зрелости BIM [3, 4]. В мировой практике принято выделять несколько уровней зрелости, отражающих степень интеграции цифровых технологий в строительные процессы (рис. 1) [5].

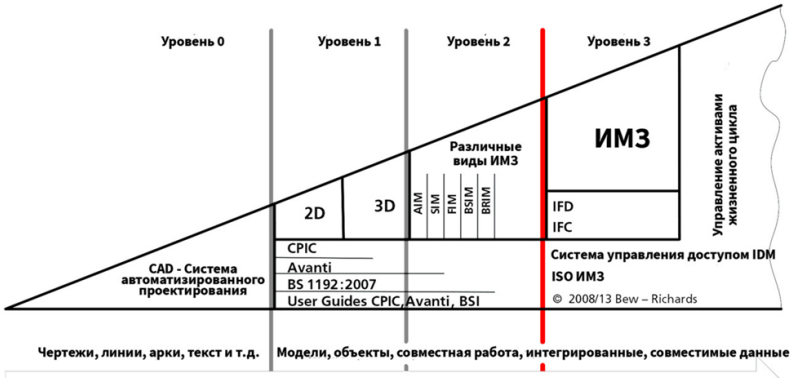


Рис. 1. Основные уровни зрелости BIM по диаграмме Бью-Ричардса[1]

[1] URL: https://www.researchgate.net/figure/The-Bew-and-Richards-BIM-Maturity-Levels-Model-Bew-and-Richards-2008_fig1_269405460

Диаграмма хорошо демонстрирует степень полноты внедрения ТИМ, показывает переход от классических 2D чертежей к комплексному BIM-решению [6]:

– 0 уровень (BIM 0) – работа ведётся в 2D чертежах без использования цифровых информационных моделей (ЦИМ);

– 1-й уровень (BIM 1) – частичное использование 3D-моделирования, но без единой среды общих данных (СОД);

– 2-й уровень (BIM 2) – полноценная работа с ЦИМ, интеграция данных, взаимодействие между участниками проекта;

– 3-й уровень (BIM 3) – полностью цифровое управление жизненным циклом объекта, использование облачных технологий и автоматизированного обмена данными.

В России, согласно действующим нормативным требованиям, строительные компании должны как минимум соответствовать первому уровню зрелости (BIM 1). В последние годы были приняты важные законодательные акты, регулирующие использование ТИМ. Так, с 1 июля 2024 года, в соответствии с постановлением Правительства РФ[1], застройщики многоквартирных домов, привлекающие средства граждан, а также подрядные организации, работающие по государственному заказу, обязаны использовать ТИМ на этапе проектирования.

В ближайшие годы планируется дальнейшая интеграция всех регионов в единый цифровой контур государственной информационной системы обеспечения градостроительной деятельности РФ (ГИСОГД РФ), разработка национальных стандартов передачи данных и полномасштабный переход на ТИМ с нормативным закреплением ответственности за соответствие ЦИМ реальному объекту. В связи с этим строительные компании должны развивать компетенции в сфере ТИМ, повышая уровень зрелости BIM.

Целью работы является анализ текущего уровня зрелости BIM среди строительных компаний Томской области и оценка его влияния на развитие строительного сектора региона.

В рамках данного исследования использован комплексный подход, который включает анализ нормативно-правовой базы, сравнительный анализ уровней зрелости BIM среди основных застройщиков региона, а также интервьюирование профильных специалистов.

[1] Постановление Правительства РФ 20.12.2022 № 2357 «О внесении изменений в постановление Правительства РФ от 05.03.2021 № 331». URL: http://government.ru/docs/47383/ (дата обращения: 18.01.2025).

В Томской области процесс цифровизации строительства набирает обороты. На сентябрь 2024 года регион занимает 15-е место среди 88 субъектов РФ в рейтинге введения Информационной системы управления проектами (ИСУП) государственного заказчика в сфере строительства. В конце 2024 года регион был включён в первую группу пилотного проекта Минстроя России по цифровизации строительства для обеспечения бесшовного взаимодействия между проектировщиками, застройщиками и экспертизой.

Однако, несмотря на положительные стороны, остаётся ряд проблем, замедляющих внедрение цифровых технологий.

На данный момент в регионе задействованы семь основных строительных компаний, большинство из которых пока находятся на нулевом или первом уровне зрелости BIM (табл. 1).

Таблица 1

Уровни зрелости BIM застройщиков Томской области

Застройщик	Уровень зрелости BIM (на 2024 г.)	Переход на следующий уровень
1. АО «ТДСК»	BIM 1	Нет
2. ООО «СЗ «Карьероуправление»	BIM 0	Переход на BIM 1
3. ГК SD GROUP	BIM 1	Нет
4. ООО «1&3 Концепт Девелопмент»	BIM 1	Нет
5. ГК Сибирские Звёзды	BIM 0	Переход на BIM 1
6. Группа Мета	BIM 1	Нет
7. ООО «СЗ «Вира»	BIM 0	Переход на BIM 1

Отдельные застройщики уже используют СОД (ЦУС, Адепт) при реализации своих проектов (ЖК «Михайловский парк-квартал», ЖК «Ботаника»), однако бесшовного взаимодействия между всеми участниками строительства практически не происходит.

Основными проблемами, мешающими повышению уровня зрелости BIM в регионе, являются:

– недостаток компетенций и осознания значимости ТИМ среди инженерно-технического состава;

– нежелание застройщиков инвестировать в программное обеспечение и обучение персонала;

– низкая вовлечённость субподрядчиков в ТИМ – 95 % компаний работают на уровне BIM 0.

В связи с указанными выше проблемами необходимо разработать меры, направленные на устойчивое развитие цифровых технологий в регионе и, как следствие, повышение уровней зрелости BIM.

На сегодняшний день известен ряд ключевых мер, способствующих внедрению ТИМ в строительные организации: обучение кадров, государственные субсидии и льготы, развитие нормативной базы, популяризация успешных кейсов и другие [7].

В дополнение к этим мерам авторы предлагают разработать методику оценки влияния ТИМ на ключевые параметры эффективности строительных процессов (сроки выполнения, экономичность и качество), а также подготовить практические рекомендации по внедрению ТИМ в строительные компании с учётом региональных особенностей.

Реализация этих мер требует комплексного подхода, включающего вовлечённость органов власти, создание открытых площадок для диалога с застройщиками, а также обмен опытом с соседними регионами.

Разработка методики оценки эффективности ТИМ и подготовка рекомендаций по его внедрению позволят обосновать необходимость цифровизации и упростят переход застройщиков на более высокий уровень зрелости BIM.

Таким образом, цифровизация строительства в Томской области является ключевым фактором устойчивого развития отрасли. При этом важную роль играет уровень зрелости BIM среди строительных компаний.

В ближайшие годы ожидается активное развитие нормативно-технической и научной базы по цифровым технологиям, усиление государственной поддержки застройщиков, а также повышение уровня компетенций специалистов в данной области.

Перечисленные факторы позволят значительно повысить уровень зрелости BIM в Томской области. Однако для этого необходимо активное вовлечение всех участников рынка и координация их действий.

Благодарности

Авторы выражают благодарность руководителю Главной инспекции государственного строительного надзора Томской области А. А. Пацукову за уделенное время и рекомендации по написанию статьи.

Литература

1. *Мельник А.А.* Вопросы и перспективы внедрения технологий информационного моделирования в проектирование и организацию строительства в группе компаний Бетотек // Информационное моделирование в задачах строительства

и архитектуры: мат-лы VII Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А. А. Семенова. СПб. : СПбГАСУ, 2024. С. 212–218. DOI: 10.23968/BIMAC.2024.029. EDN: HSULGE.

2. *Siebelink S., Voordijk H., Endedijk M., Adriaanse A.* Understanding barriers to BIM implementation: Their impact across organizational levels in relation to BIM maturity // Frontiers of Engineering Management. 2021. Vol. 8, No. 2. P. 236–257. DOI: 10.1007/s42524-019-0088-2. EDN: PDYQMD.

3. *Турешева Д.Т., Сокорева Е.В.* Текущий уровень зрелости BIM-технологии при строительстве в АПК России // Аграрный научный журнал. 2022. № 2. С. 88–91. DOI: 10.28983/asj.y2022i2pp88-91. EDN: BSOFGE.

4. *Kassem M., Succar B., Dawood N.* A Proposed approach to comparing the BIM maturity of countries. In: Proceedings of the CIB W78 2013: 30th International Conference. Beijing, China, 2013. DOI: 10.13140/2.1.2308.5766.

5. *Пацуков А.А.* Перспективы применения технологий информационного моделирования в строительстве // Инвестиции, градостроительство, недвижимость как драйверы социально-экономического развития территории и повышения качества жизни населения: мат-лы XII Междунар. научно-практ. конф. Ч. 1. Томск : ТГАСУ, 2022. С. 205–210. EDN: HBLTWV.

6. *Старцев Р.К.* Уровни внедрения BIM-технологий // Научный аспект. 2020. Т. 8, № 4. С. 1028–1032. EDN: CDPANM.

7. *Пацуков А.А.* Стратегические задачи и реалии применения технологий информационного моделирования в строительстве // Избранные доклады 68-й Университетской научно-техн. конф. студ. и мол. уч. Томск : ТГАСУ, 2022. С. 134–136. EDN: JCOFVI.

УДК 69:004.94
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.010

Заторский Савелий Павлович, аспирант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: saveliy_zatorskiy@mail.ru, ORCID: 0000-0003-4234-8454
Шумилов Константин Августович, канд. техн. наук, доцент
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: shkas@mail.ru, ORCID: 0000-0003-2079-6774

Zatorskiy Saveliy Pavlovich, postgraduate student
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)
Shumilov Konstantin Avgustovich, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСЧЕТНОЙ ПРОГНОСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРЕФАБ-МОДУЛЕЙ

USING A CALCULATED PREDICTIVE MODEL FOR DESIGNING PREFABRICATED MODULES

На сегодняшний день в строительстве как в масштабной отрасли экономики есть необходимость применения новых инструментов и технологий, увеличивающих эффективность строительно-монтажных работ и сокращающих сроки реализации строительных проектов. Одной из таких технологий является модульное строительство. На основе анализа данного направления был сделан вывод, что в научной литературе в малой степени изучен вопрос производства модульных конструкций по технологии префаб с применением ТИМ (технологий информационного моделирования) и прогностического моделирования для автоматизации процессов проектирования. В статье рассмотрен вопрос использования расчетной прогностической модели для расчета технико-экономических показателей заводских модулей в среде информационного моделирования. Данное исследование показало, что для типовых проектов модулей целесообразно использовать разработанную модель в связке с информационными моделями. Такая технология позволяет ускорить и уточнить реальные проектные данные, а также построить достаточно точные прогнозы будущих типовых модулей. Также были рассмотрены потенциальные направления доработки алгоритмов расчета и разработки методики проектирования на основе применения данной модели в прифабричном производстве модульных конструкций.

Ключевые слова: расчетное моделирование, прогностическая модель, автоматизация проектирования, алгоритм, технологии информационного моделирования.

Today, in construction as a large-scale sector of the economy, there is a need to use new tools and technologies that increase the efficiency of construction and installation works and reduce the time frame for the implementation of construction projects. One of such technologies is modular construction. Based on the analysis of this area, it was concluded that the issue of producing modular structures using prefab technology with the use of BIM (information modeling technologies) and predictive modeling for the automation of design processes has been little studied in the scientific literature. The article considers the issue of using a calculated predictive model to calculate the technical and economic indicators of factory modules in an information modeling environment. This study showed that for standard module projects, it is advisable to use the developed model in conjunction with information models. This technology allows you to speed up and clarify real design data, as well as build fairly accurate forecasts of future standard modules. Potential areas for improving the calculation algorithms and developing a design methodology based on the use of this model in the pre-factory production of modular structures were also considered.

Keywords: computational modeling, predictive model, design automation, algorithm, information modeling technologies.

Технологии информационного моделирования BIM/ТИМ – это технологии, позволяющие разработать цифровую копию объекта строительства, в которую проектировщики могут внести всю необходимую проектную информацию, тем самым получив достоверную основу для составления проектных документов, расчетов и принятия решений на всех этапах жизненного цикла зданий и сооружений [1]. Соответственно, информация об объекте представляется в виде наборов числовых и текстовых значений, что позволяет производить быстрые расчеты, калькуляцию и другие операции с данными в соответствующем ПО (программном обеспечении).

ТИМ используется для различных типов зданий и сооружений, в том числе в модульном строительстве.

Модульные объекты – это здания, построенные из унифицированных объемно-модульных элементов (блоков). Такой модуль (блок-бокс, блок-контейнер) – представляет собой конструкцию, изготовленную в заводских условиях (префаб-производство), имеющую несущий каркас и стены, обеспечивающие необходимые теплотехнические, механические параметры, устойчивость, прочность и неизменяемость геометрических размеров при транспортировании и монтаже (рис. 1).

Размеры модулей также имеют ограничения, так как модули должны быть удобны для транспортировки на стройплощадку и последующего монтажа. Согласно ПДД (правилам дорожного движения) в России на перевозку таких грузов установлены ограничения по размерам:

– для габаритных грузов длина не должна превышать 12 м, ширина 2,55 м, высота от проезжей части не более 4 м;

– для крупногабаритных грузов допускается увеличение размеров по ширине до 3,5 м и высоте до 4,5 м.

Максимальные размеры модульных блоков с учетом размеров транспортных средств:

– габаритные модули: ширина 2,55 м, длина 12 м, высота 3,4 м.

– крупногабаритные модули: ширина 3,5 м, длина 12 м, высота 3,9 м [2].

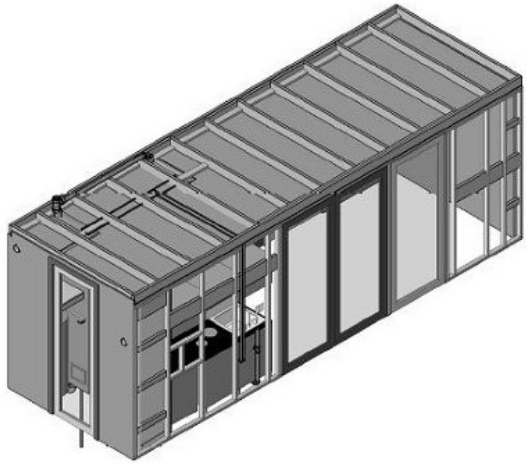


Рис. 1. Пример объемно-модульного элемента

Основными конструктивными материалами модульных элементов выступают сталь и дерево, в отличие от объемно-блочных, производящихся из железобетона.

Главным отличием модульного строительства является сборка объекта из изготовленных на заводе модульных конструкций, каждый из которых также является полноценным строительным объектом. Поэтому подход к проектированию таких элементов отличается от классического. В проектировании для заводского изготовления документация должна соответствовать технологии производства, принятой на заводе-изготовителе, обычно это различные вариации конвейера или станций изготовления.

В научной литературе малая доля исследований направлена на обзор или применение ТИМ именно в среде заводского производства. А в то же время на проектах, реализуемых непосредственно на строительных площадках, технологии информационного и математического моделирования применяются активно и показывают хорошие результаты в автоматизации процессов и уточнении проектных данных.

Подобный подход разработки комплексной информационной модели на основе типовых модульных элементов максимальной готовности рассматривался авторами статьи [3]. В этой работе моделирование модульных зданий выполнялось на базе алгоритма в среде визуального программирования, который включает в себя аспекты модульного метода строительства и технологий информационного моделирования. Но в данном исследовании модуль рассматривается как готовый блок без рассмотрения процессов заводского производства.

Также были изучены работы [4, 5]. Авторами подчеркивается, что ТИМ-проектировщики не обладают квалификацией инженера-сметчика или заводского технолога, а определение параметров материалов и элементов для оценки работ согласно действующим сметным нормам в большинстве случаев неочевидно для заводских работ. Также стоит учитывать, что у разных заводов различные технологии производства и проектирования. В итоге возрастает вероятность ошибки и переполнение проекта информацией, зачастую дублирующей друг друга. Таким образом, увеличивается частота перепроектирования, соответственно возрастает объем дополнительной работы сотрудника или нарушаются сроки.

В условиях заводского производства, где модульные элементы создаются по типовым проектам, точность расчёта объемов материалов и компонентов становится ключевым фактором. В данной среде унифицированный алгоритм расчета позволит не только обеспечить автоматизацию проектных процессов, но и сформировать обширную базу для экономической и технологической оценки проекта.

Поэтому было принято решение применить информационное моделирование с использованием расчетной прогностической модели для проектирования на этапе производства префаб-модулей.

Для разработки подхода к расчету были изучены ГОСТ Р 58535–2019 «Стоимостной инжиниринг. Термины и определения»[1] и процесс стоимостного моделирования в работе [7], в которых стоимостной

[1] ГОСТ Р 58535–2019. Стоимостной инжиниринг. Термины и определения (утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 12.09.2019 № 677-ст).

инжиниринг подразумевает поэтапное прогнозирование объёмов и стоимости ресурсов, необходимых для реализации проекта.

Предложен и опробован на практике новый стадийный подход расчета ТЭП производства модулей с использованием ТИМ на всех стадиях проектирования. Алгоритм показан на рис. 2.



Рис. 2. Блок-схема алгоритма работы расчетной прогностической модели

Основные шаги алгоритма:

1) определение параметров:

– присвоение количества из различных единиц измерения в общий параметр количества;

– присвоение индексов станций монтажа;

– соотношение данных из модели с информацией в базе данных.

2) определение зависимостей:

– построение зависимостей между параметрами модулей и объемом материалов;

– построение зависимостей между данными информационной модели и объемом материалов.

3) расчет материалов:

– расчет немоделируемых материалов;

– расчет фиксированных материалов;

– объединение с элементами модели.

4) вывод ТЭП:

– вывод количества наименований материалов в зависимости от станции;

– вывод всех объемов всех материалов модуля;

– расчет стоимости модуля по материалам.

В данном случае поиск и корректировка зависимостей происходили по трем условиям:

1) расход от производителя материала;

2) расход на основе габаритов проектируемого модуля;

3) расход на основе объектов-аналогов.

Для каждого расчетного материала зависимости имеют вид:

$$Y = f(X_1, X_2, \ldots, X_n), \quad (1)$$

где Y – объем материала или количество элементов, который нужно определить; f – функция зависимости, которая определяется на основе анализа данных; $X_1, X_2, \ldots, X_n$ – параметры модулей (площадь, высота, периметр, наличие и кол-во моделируемых элементов и т.д.).

На основе данных из объектов-аналогов было рассчитано среднее количество наименований элементов в зависимости от станции монтажа (151–166 наим.). Из них 97–107 наим. построены и рассчитаны в программе моделирования, 54–59 наим. прогнозируются при помощи модели. Пример в табл. 1.

Таблица 1

Пример данных из расчета модели

Проект	Реальное кол-во материала/прогнозное кол-во материала	Наименование, ед. изм.			
		Герметик серый, л	Грунт для гидроизоляции, л	…	Грунтовка, кг
Проект 1	Реальное	–	0,5	…	0,4
	Прогнозное	0,94	1,02	…	0,48
Проект 2	Реальное	–	0,5	…	0,4
	Прогнозное	0,94	0,93	…	0,48
Проект 3	Реальное	–	0,5	…	0,4
	Прогнозное	0,82	0,84	…	0,3

Окончание табл. 1

Проект	Реальное кол-во материала/прогнозное кол-во материала	Наименование, ед. изм.			
		Герметик серый, л	Грунт для гидро-изоляции, л	…	Грунтовка, кг
Проект 4	Реальное	–	0,5	…	0,54
	Прогнозное	0,96	1,1	…	0,5

Следующим шагом производится очистка от факторов уникальности информационных моделей (деиндексация). В результате в корректной прогнозируемой выборке остается 41 наименование элементов.

Объективность прогнозных объемов материала проверяется по следующим показателям: коэффициент детерминации (R^2), средняя абсолютная ошибка (MAE), средняя абсолютная процентная ошибка (MAPE). Пример показан в табл. 2.

Таблица 2

Пример проверки полученных результатов расчета материалов

Наименование материала, ед. изм.	Проект	Реал. кол-во материала	Прогноз. кол-во материала	R^2	MAE	MAPE
Герметик графитовый, л	проект 1	0,25	0,3	0,802	0,03	21,35
	проект 2	0,13	0,15			
	проект 3	0,1	0,15			
	проект 4	0,3	0,3			
Герметик серый, л	проект 1	0,15	0,15	0,835	0,015	13,54
	проект 2	0,05	0,05			
	проект 3	0,08	0,05			
	проект 4	0,18	0,15			
…	…	…	…	…	…	…
Клей-герметик, л	проект 1	0,05	0,05	1,000	0	0,00
	проект 2	0,05	0,05			
	проект 3	0,05	0,05			
	проект 4	0,07	0,07			

В результате анализа точности прогноза в модели для элементов, удовлетворяющих выборке, было рассчитано, что для 28 из 41 наименований элементов (материалов) модель рассчитала с точностью $R^2 = 0{,}905$, а средняя абсолютная процентная ошибка составила 4,7 %, что является достаточно высоким показателем точности, то есть эмпирические точки $(x_n; y_n)$ точно или приблизительно лежат на линии регрессии и между величинами Y и X существует функциональная зависимость. Остальные 13 наименований имеют большие отклонения, что говорит о неточности прогноза, либо о проектных ошибках.

Среднее время расчета при помощи прогностической модели с заполнением габаритов и вариации дизайна будущего модуля составило 10 минут, в то время как связка «расчет в информационной модели плюс ручной расчет» занимала от 1,5 до 3 дней в зависимости от технического задания на проектирование и габаритов модуля.

Работа ТИМ-специалистов сводится к правильному подбору элементов модели, определению необходимых конструктивных и программных зависимостей и задании параметров модели для получения достоверных расчетных данных.

Таким образом, был сделан вывод о том, что технология ТИМ и использование предложенной расчетной прогностической модели обеспечивают достижение высокой скорости и качества проектирования, соответственно ускоряя процесс производства модулей на заводе.

Точность и охват расчетов в дальнейшем можно увеличить корректировкой зависимостей между большим количеством элементов. Также есть целесообразность рассмотреть разработку методики проектирования на основе применения данной модели в производстве модульных конструкций по технологии префаб, так как это направление в научной литературе не изучено.

Литература

1. *Заторский С.П., Шумилов К.А.* Алгоритм получения расчетных параметров инженерных систем в среде информационного моделирования // Информационное моделирование в задачах строительства и архитектуры: мат-лы VII Междунар. науч.-практ. конф. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб. : СПбГАСУ, 2024. С. 188–195. DOI: 10.23968/BIMAC.2024.026. EDN: KCYXCZ.

2. *Широков В.С.* Конструктивные особенности модульных зданий // Вестник евразийской науки. 2022. Т. 14, № 3. DOI: 10.15862/03SAVN322. EDN: UASGWR.

3. *Рыбакова А.О.* Методика разработки информационной модели на основе модульных элементов максимальной готовности // Строительное производство. 2023. № 2(46). С. 99101. DOI: 10.54950/26585340_2023_2_99. EDN: UDIPTD.

4. *Беляков В.А., Сальников В.Б., Галиахметов Р.Т.* Особенности проектирования и расчета стоимости строительства объекта при внедрении технологии

BIM // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: мат-лы II Междунар. науч.-практ. конф. СПб. : СПбГАСУ, 2019. С. 107–112. DOI: 10.23968/BIMAC.2019.019. EDN: FWYHJE.

5. *Талапов В.В.* Технология BIM: единая модель и связанные с этим заблуждения // Технологии строительства. 2016. № 1–2(111–112). С. 76–83.

6. *Коломиец А.Г., Колесников А.И.* Методические подходы к повышению точности оценки стоимости инвестиционно-строительных проектов // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Экономика и право. 2023. № 10. С. 38–43. DOI: 10.37882/2223-2974.2023.10.14. EDN: VFNWMS.

УДК 004.94+004.8+725
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.011

Згода Юрий Николаевич, специалист II категории
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: yurii.zgoda@mail.ru, ORCID: 0000-0001-6714-500X

Zgoda Iurii Nikolaevich, 2nd category specialist
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ЧЕРЕЗ НАЛОЖЕНИЕ ОГРАНИЧЕНИЙ

PERSPECTIVES OF THE DEVELOPMENT OF BUILDING INFORMATION MODELING TEHNOLOGIES THROUGH THE ADDITION OF RESTRICTIONS

Технологии информационного моделирования зданий и сооружений стремительно развиваются, предоставляя пользователям самые разнообразные функциональные возможности компьютерного моделирования. В данной работе рассматривается возможное направление развития средств информационного моделирования через ограничение возможностей программного обеспечения. Приводится аргументация, связанная с применением данного подхода в архитектуре и строительстве, а также рассматриваются различные варианты подобных ограничений, в том числе сгенерированные с использованием средств искусственного интеллекта. Показано, что ограничение функциональных возможностей при компьютерном моделировании зданий и сооружений позволяет снизить количество типов ошибок, и как следствие, повысить эффективность работы специалистов архитектурно-строительной отрасли.

Ключевые слова: ТИМ-моделирование, ограничения, искусственный интеллект, САПР, компьютерное моделирование, проектирование.

Technologies of information modeling of buildings and structures are rapidly developing, providing users with a wide variety of functional capabilities of computer modeling. This paper considers a possible direction of information modeling tools development through limiting software capabilities. Arguments are given related to the use of this approach in architecture and construction, and various options for such restrictions are considered, including those generated using artificial intelligence. It is shown that limiting the functionality in building information modeling allows reducing the number of error types, and, as a result, increasing the efficiency of specialists in the architectural and construction industry.

Keywords: building information modeling, restrictions, artificial intelligence, CAD, computer modeling, design.

Информационные технологии привнесли много нового в самые разнообразные отрасли науки и техники, в том числе в архитектуру и строительство [1, 2]. С каждым годом их влияние на развитие различных сфер человеческой деятельности становится все более и более заметным. В то же время, развитие в области информационных технологий не всегда происходит за счет расширения функциональных возможностей программных решений. В некоторых случаях грамотное ограничение возможностей пользователя программного решения может также обеспечивать существенное повышение производительности его труда.

Целью данной работы является анализ средств информационного моделирования зданий и сооружений (ТИМ-моделирования) с точки зрения их развития через ограничения функциональности. В рамках данной цели, были выполнены такие задачи, как анализ эволюции проектирования в архитектуре и строительстве через призму ограничений, а также рассмотрены возможные ограничения в контексте повышения эффективности современного ПО информационного моделирования, в том числе с использованием средств искусственного интеллекта.

Концептуально, идея наложения ограничений как средства повышения эффективности не является новой. В области разработки программного обеспечения (ПО) отражение этой идеи можно найти в монографии Р. Мартина [3]. В ней показывается, что различные парадигмы программирования по своей сути не предлагают программистам новый инструментарий разработки, а наоборот – отнимают часть инструментов написания программ и делают некоторые подходы к программированию невозможными. Например, одна из популярных на данный момент парадигм – функциональное программирование – накладывает ограничение на операцию присваивания. В чисто функциональном языке программирования переменная (если данный термин еще остается для нее актуальным) не может быть изменена после присвоения ей некоторого значения.

В этом контексте смыслом всех подобных парадигм является то, что за счет ввода дополнительных ограничений существенно снижается сложность разрабатываемых программ. Если в программе не могут изменяться ранее полученные значения, то изучение подобного программного кода заметно упрощается. Если программа реализует параллельные вычисления, то минимизация изменяемых состояний позволяет избежать сложных в отладке ошибок, связанных с распараллеливанием.

Если рассмотреть черчение на бумаге, то в определенном смысле оно представляет собой наиболее «функциональный» подход к моделированию. Бумага позволяет передать линии любой формы, никак не ограничивает проектировщика в способах выражения идей. Однако на бумаге можно сделать помарку и забыть ее исправить, подготовить вид в перспективе с неестественным освещением и т. д. Данный подход не накладывает никаких ограничений на проектировщика, что существенно повышает количество возможных ошибок.

Если рассмотреть такие САПР, как AutoCAD или NanoCAD, то, в сравнении с черчением на бумаге, они гораздо более ограничены. Если по листу бумаги может растечься капля чернил, то на электронном чертеже аналогичный эффект потребует сложной проработки формы через полилинию, выполнение заливки и т. д. Нарисовать неровную линию в такой САПР гораздо сложнее, чем нарисовать идеально ровную линию. В то же время, NanoCAD не накладывает никаких ограничений на то, что именно изображают линии на чертеже.

Переходя к ТИМ-моделированию, специалист начинает оперировать более высокоуровневыми абстракциями, такими как стены, двери, окна, перекрытия и т. д. Для многих специалистов, привыкших работать в AutoCAD или NanoCAD, подобный подход поначалу ощущается как крайне неудобный. В то же время, большое количество типовых ошибок моделирования при подобном подходе становится невозможным. В рамках ТИМ-модели невозможно допустить несоответствие в местоположении одного и того же элемента на разных разрезах и планах этажа, сформировать визуализацию с некорректным размещением элементов и т. д.

Возвращаясь к предыдущей аналогии, введение абстракций в программировании – это один из основных инструментов понижения сложности программы [4]. Оперировать набором регистров процессора посредством машинного кода достаточно сложно, хотя этот подход, по сути, не накладывает никаких ограничений на форму программы. При создании специальных структур данных для объектов предметной области происходит снижение сложности программы. Через объединение структур данных и доступных для них операций (то есть через инкапсуляцию) достигается дополнительное повышение уровня абстракции. Ограничение доступных разработчику инструментов и выразительных средств также понижает сложность анализа программного кода. Вводя запрет на использование оператора goto и ограничивая программиста с точки зрения управления ходом выполнения программы, существенно снижается сложность анализа программного кода [5].

Таким образом, переход от «ручного» черчения к компьютерному, равно как и переход от классических САПР к ТИМ-моделированию, связан с повышением уровня абстракции и ограничению доступного пользователю инструментария. И хотя поначалу подобные ограничения могут восприниматься негативно, в долгосрочной перспективе они существенно упрощают разработку и снижают количество типовых ошибок моделирования.

Исходя из определенного ранее направления развития технологий проектирования через ограничение функциональных возможностей, можно рассмотреть несколько вариантов развития ТИМ-моделирования, позволяющих дополнительно упростить специалистам разработку проектов зданий и сооружений.

Например, возможно наложение дополнительных ограничений на информационную модель, связанных с удовлетворением требований технического задания, сводов правил и т. д. В определенном масштабе подобные проверки сейчас выполняются посредством проверок атрибутивного наполнения модели и проверок на коллизии, однако их эффективность была бы гораздо выше, если бы они выполнялись в реальном времени. Если архитектор переместил одну из стен в здании и после этого ограниченное этой стеной помещение не удовлетворяет указанным в задании требованиям к площади, то архитектор сразу получит соответствующее оповещение от САПР о нарушении технического задания.

Современные языковые модели обладают обширными энциклопедическими знаниями и способны решать широкий перечень научно-технических задач [6, 7], в связи с чем для более глубокого анализа возможностей применения описываемой в данной работе концепции были использованы средства искусственного интеллекта на базе языковых моделей, а именно ChatGPT и GigaChat от Сбера. Оба чат-бота получили одинаковый фрагмент текста с описанием рассмотренной ранее концепции, а также запрос на генерацию 3 наиболее перспективных вариантов ограничений для ПО ТИМ-моделирования. По результатам данного эксперимента были получены следующие результаты (ответы чат-ботов приведены со стилистической коррекцией и сокращением объема ответа).

Ответ ChatGPT:

1. Запрет на ручное создание и изменение строительных элементов без привязки к проверенным шаблонам и правилам. Алгоритмы проверяют совместимость конструктивных решений и предупреждают о нарушениях нормативов.

2. Пользователь не может изменять элементы, редактируя их геометрию вручную, а должен использовать только параметры и зависимости.

Вместо рисования и перемещения объектов все изменения выполняются через параметры (например, длина, ширина, материал), которые автоматически пересчитываются системой. Любая модификация приводит к автоматическому изменению всей модели с учетом нормативов и взаимосвязей.

3. Запрет на ручное оформление чертежей, спецификаций и ведомостей материалов. Чертежи формируются по стандартным шаблонам без возможности произвольного редактирования.

Ответ GigaChat:

1. Одним из ключевых направлений развития ТИМ-моделирования могло бы стать автоматическое выявление и исправление распространенных ошибок проектирования. Оно включает в себя проверку соответствия модели стандартам и нормативам, корректировку размеров элементов, контроль пересечений стен, перекрытий и других конструктивных элементов.

2. Хотя современные системы уже вводят ограничения на параметры отдельных компонентов, дальнейшее усиление контроля над геометрией конструкций могло бы привести к значительному повышению качества моделей. Например, внедрение строгих правил касательно толщины стен, высоты окон, размещения дверей и т.п., чтобы предотвратить создание физически невозможных или несоответствующих нормам объектов.

3. Эффективность ТИМ-модели во многом зависит от целостности данных, передаваемых между различными участниками проекта – архитекторами, инженерами, строителями и пр. Ограничение на внесение изменений в модель без согласования с остальными членами команды могло бы значительно улучшить качество совместной работы.

Стоит отметить, что первый ответ ChatGPT и второй ответ GigaChat в целом совпадают. Концептуально, ответы ChatGPT близки к переходу на декларативное программирование (разработка через описание, а не через последовательность утверждений). Третий ответ и у ChatGPT, и у GigaChat представляет собой описание подходов, которые уже существуют в современном ПО ТИМ-моделирования.

Таким образом, все поставленные в рамках данной работы задачи были выполнены. Был проведен анализ технологий архитектурно-строительного проектирования в контексте ограничений используемого специалистом инструментария. Исходя из этой парадигмы был проведен анализ наиболее перспективных сценариев развития современного ПО ТИМ-моделирования, в том числе с использованием технологий искусственного интеллекта. По результатам анализа было обнаружено, что

автоматизированная валидация ТИМ-моделей в реальном времени на основе требований к проектируемому зданию является наиболее перспективным направлением развития программных решений в области информационного моделирования зданий и сооружений.

Благодарности

Работа выполнена в рамках реализации Инновационного образовательного проекта «Инновационная методика формирования цифровых профессиональных компетенций обучающихся и специалистов строительной отрасли» на базе Федеральной инновационной площадки ФГБОУ ВО СПбГАСУ.

Литература

1. *Дымченко М.Е., Наумов А.А.* Технологии информационного моделирования BIM в строительстве и архитектуре: анализ мирового и отечественного опыта // Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий. 2023. Т. 2, № 3. С. 74–83. EDN: LKBCWZ.

2. *Захарова Г.Б.* Современные информационно-компьютерные технологии в магистерских программах по направлению «Архитектура» // Новые идеи нового века: мат-лы междунар. научн. конф. ФАД ТОГУ. 2020. Т. 2. С. 481–486. EDN: TSVIFQ.

3. *Мартин Р.* Чистая архитектура. Искусство разработки программного обеспечения. СПб. : Питер, 2022. 352 с.

4. *Dijkstra E.W.* Programming as a Discipline of Mathematical Nature // The American Mathematical Monthly. 1974. Vol. 81, No. 6. P. 608–612. DOI: 10.1080/00029890.1974.11993624.

5. *Dijkstra E.W.* Go To Statement Considered Harmful // Pioneers and Their Contributions to Software Engineering / eds. M. Broy, E. Denert. Springer Berlin Heidelberg. 2001. P. 297–300. DOI: 10.1080/00029890.1974.11993624.

6. *Сафронов А.А.* Языковые модели как инструмент анализа онтологических конструкций учебно-методических материалов // Вестник МГПУ. Серия: Информатика и информатизация образования. 2024. № 2(68). С. 166–177. DOI: 10.25688/2072-9014.2024.68.2.14. EDN: AYQVUC.

7. *Пешкова Г.Ю., Федоров К.Ф.* Роль генеративных моделей ИИ и явление нейронных языковых моделей типа GPT в детерминации цифровой экономики // Экономика Северо-Запада: проблемы и перспективы развития. 2023. № 2(73). С. 148–153. DOI: 10.52897/2411-4588-2023-2-148-153. EDN: IDTLRE.

УДК 004(72)
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.012

Золотова Мария Владимировна, магистрант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: zolotovamachadal@yandex.ru, ORCID: 0009-0005-5904-3384
Токунова Галина Федоровна, д-р экон. наук, декан
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: tokunova.g.f@lan.spbgasu.ru, ORCID: 0000-0002-8746-0098

Zolotova Maria Vladimirovna, Master's degree student
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)
Tokunova Galina Fedorovna, Dr. Sci. Ec., Dean
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ВНЕДРЕНИЮ ТЕХНОЛОГИЙ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В СИСТЕМУ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ И ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

STRATEGIC APPROACHES TO THE IMPLEMENTATION OF INFORMATION MODELING TECHNOLOGIES INTO THE SYSTEM OF CIVIL DEFENSE AND EMERGENCY SITUATIONS

Внедрение технологий информационного моделирования (ТИМ) в систему гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций (ГОЧС) представляет собой ключевой шаг к повышению эффективности управления в кризисных ситуациях. При этом, стратегический подход к управлению кризисными ситуациями позволяет значительно улучшить процесс планирования, координации и реализации мероприятий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций. Статья описывает важность установления четких стратегических целей и задач, способствующих успешному внедрению ТИМ в ГОЧС. Предложенные авторами подходы и рекомендации могут служить практическим руководством для организаций различных форм собственности, стремящихся к модернизации своих систем управления кризисными ситуациями с помощью инновационных технологий информационного моделирования в области гражданской обороны и обеспечения безопасности.

Ключевые слова: ТИМ, ГОЧС, инновация, стратегическая инициатива, государственная поддержка, разработка стратегии, эвакуация, безопасность.

The introduction of information modeling technologies into the civil defense and emergency management system is a key step towards improving the effectiveness of crisis management. At the same time, a strategic approach to crisis management can significantly improve the process of planning, coordinating and implementing measures to prevent and eliminate emergency situations. The article describes the importance of establishing clear strategic goals and objectives. The approaches and recommendations proposed by the authors can serve as a practical guide for organizations of various forms of ownership seeking to modernize their crisis management systems using innovative information modeling technologies in the field of civil defense and security.

Keywords: BIM, civil defense and emergency situations, innovation, strategic initiative, government support, strategy development, evacuation, security.

В условиях сложности управленческих процессов в сфере гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций (ГОЧС) необходимо внедрение современных технологий, которые позволяют повысить эффективность планирования, координации и реагирования на возникающие кризисные ситуации [1].

Одним из таких инновационных подходов являются технологии информационного моделирования (ТИМ), обеспечивающие создание интерактивных цифровых моделей объектов и процессов. Эти технологии помогают оценить риски, оптимизировать ресурсы и принимать обоснованные решения в сложных ситуациях. Интеграция ТИМ в систему мероприятий по подготовке к защите и по защите населения представляет собой новаторский подход к управлению безопасностью в случае чрезвычайных ситуаций [2]. *Главной целью данной интеграции* является создание более совершенной системы, которая позволяет оперативного реагировать на угрозы посредством актуализации данных из моделей.

Цель данной статьи: определение стратегических целей и задач, а также определение необходимых ресурсов для разработки методов и инструментов для успешного внедрения ТИМ. На рис. 1 представлены четко обозначенные цели обеспечения реализации технологий информационного моделирования в системе ГОЧС.

К числу стратегических инициатив относятся: интеграция ТИМ в существующие системы управления, создание образовательных программ для подготовки кадров, разработка эффективных методов анализа и визуализации данных, а также построение многоуровневой системы взаимодействия всех участников процесса.

Увеличение скорости реагирования на чрезвычайные ситуации является важным элементом в реализации заявленной стратегии [3].

Необходимость формирования ресурсного обеспечения, включая финансовые, человеческие и технологические ресурсы, также подчеркивается как ключевое условие успешного внедрения ТИМ [4].



Рис. 1. Цели и задачи реализации ТИМ в ГОЧС

Стратегия внедрения ТИМ – это прежде всего ключевые направления деятельности организации, направленные на оптимизацию процесса проектирования и согласования. Процесс внедрения должен быть структурированным и рассчитанным на долгосрочную перспективу. Одними из главных принципов данной стратегии (рис. 2) является согласованные этапы и операции между ответственными лицами.

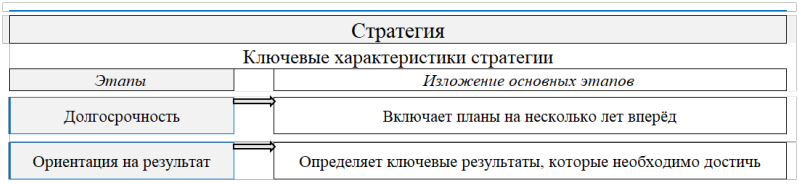


Рис. 2. Ключевые характеристики стратегии

При разработке стратегии внедрения ТИМ в сферу ГОЧС важно эффективно организовать подготовку и разработку детализированных планов реагирования на различные типы чрезвычайных ситуаций. Важно создать стратегию эвакуации, маршруты эвакуации и задать временные параметры эвакуации. Важно обеспечить население достоверной

и оперативной информацией о рисках, мерах предосторожности и действиях в чрезвычайных ситуациях через инструменты, направленные на повышение осведомленности. Одной из главных задач, направленных на реализацию стратегии, является разработка соответствующих образовательных программ и проведение регулярных учебных и тренировочных мероприятий для персонала организаций и граждан.

Основными элементами стратегии внедрения ТИМ являются: целеполагание, план действий, оценка рисков, обучение, поддержка и мониторинг (рис. 3).

Стратегия внедрения	
Ключевые характеристики стратегии внедрения	
Этапы	*Изложение основных этапов*
План действий	Разработка четкого плана, включающего этапы внедрения, ответственных лиц, ресурсы и сроки.
Оценка рисков	Идентификация и анализ потенциальных рисков, связанных с внедрением, и разработка мер по их минимизации
Обучение и поддержка	Обеспечение необходимого обучения для сотрудников и создание системы поддержки на этапе внедрения
Мониторинг	Установление механизмов для отслеживания прогресса внедрения и оценки его эффективности

Рис. 3. Ключевые характеристики стратегии внедрения

Операционными функциями, направленными на реализацию заявленной стратегии, являются это конкретные действия и процессы на уровне исполнения ежедневных задач (рис. 4).

Операционные функции	
Ключевые характеристики операционных функций	
Этапы	*Изложение основных этапов*
Ежедневные операции	Обеспечивают выполнение регулярных задач
Практическое применение	Сосредоточены на реализации тактических планов и включают управление ресурсами, производственными процессами и персоналом
Измеримость и оценка результатов	Оценка результатов проводится по конкретным количественным и качественным показателям

Рис. 4 Ключевые характеристики операционных функций

Централизация данных в единой модели, представленная на рис. 5, подчеркивает важность совместной работы различных специалистов в сфере ТИМ и ГОЧС. При этом эффективная реализация модели возможна лишь при соблюдении ряда принципов, которые позволяют

обеспечивать устойчивую и надежную систему управления, направленную на повышение безопасности и создание условий для готовности к реагированию на потенциальные угрозы.

Основные принципы модели	Централизация данных	Совместная работа	Динамичность и адаптивность
Описание	Все сведения о проекте хранятся в единой модели и доступны всем участникам процесса.	Использование моделей для сотрудничества разных специалистов и минимизация ошибок	Возможность внесения изменений в реальном времени и оперативное реагирование на запросы и изменения требований.

Рис. 5. Основные принципы функционирования единой модели

Таким образом, развитие ТИМ открывает возможности для процессов проектирования, согласования, строительства, эксплуатации и становится необходимым для снижения рисков, соблюдения требований к качеству и безопасности [5].

Литература

1. *Талалаева Г.В., Иванов И.В.* Актуальные вопросы создания баз данных о безопасном поведении людей в экстремальных условиях и чрезвычайных ситуациях. В кн.: Человек и современное общество в социальном, правовом, экономическом ракурсах. Петрозаводск : Международный центр научного партнерства «Новая Наука», 2022. С. 381–461. DOI: 10.46916/21012022-5-978-5-00174-447-4. EDN: OXVEXX.

2. *Золотова М.В., Токунова Г.Ф.* Использование технологии информационного моделирования в управлении чрезвычайными ситуациями на объектах повышенной опасности // Информационное моделирование в задачах строительства и архитектуры: мат-лы VII Междунар. научно-практ. конф. СПб. : СПбГАСУ, 2024. С. 79–86. DOI: 10.23968/BIMAC.2024.011. EDN: RXNIBB.

3. *Чумак С.П., Овчинников В.В., Климачева Н.Г.* Тренажерно-испытательный комплекс с автоматизированной системой моделирования, технологического проектирования и управления процессами аварийно-спасательных работ в разрушенных зданиях // Технологии гражданской безопасности. 2019. Т. 16, № 2(60). С. 24–31. DOI: 10.54234/CST.19968493.2019.16.2.60.4.24. EDN: XCAGLT.

4. *Вишняков Я.Д., Киселева С.П.* Развитие научных исследований по тематике управления рисками и обеспечения безопасности социально-экономических и социально-политических систем и природно-техногенных комплексов (вместо предисловия) // Россия в XXI веке в условиях глобальных вызовов: проблемы управления рисками и обеспечения безопасности социально-экономических и социально-политических систем и природно-техногенных комплексов: сб. мат-лов Всеросс. научно-практ. конф. Вып. 1. М. : ГУУ, 2022. С. 9–25. EDN: RZMJHN.

5. *Алымов А.В., Аюбов Э.Н., Буевич О.Е.* и др. Информирование населения в чрезвычайных ситуациях: основные аспекты, проблемы и особенности. М. : ВНИИ ГОЧС МЧС России, 2023. 108 с. EDN: URUWWV.

УДК 69.07
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.013

Исупов Никита Сергеевич, аспирант
(Уральский федеральный университет
им. первого президента России Б.Н. Ельцина)
E-mail: isupovn98@gmail.com
Фомин Никита Игоревич, канд. техн. наук, заведующий кафедрой
(Уральский федеральный университет
им. первого президента России Б.Н. Ельцина)
E-mail: ni.fomin@urfu.ru

Isupov Nikita Sergeevich, postgraduate student
(Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin)
Fomin Nikita Igorevich, PhD in Sci. Tech., Head of Chair
(Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin)

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ В РАБОТЕ С ФАЙЛАМИ ФОРМАТА STL ПРИ ПОДСЧЕТЕ ОБЪЕМА МАТЕРИАЛА ПО ОБЛАКУ ТОЧЕК

THE MAIN PROBLEMS IN WORKING WITH STL FILES WHEN CALCULATING THE VOLUME OF MATERIAL FROM A POINT CLOUD

В предыдущих исследованиях авторов был выполнен сравнительный анализ способов определения объемов, выполненных на строительной площадке работ (на примере монолитных конструкций) по облаку точек, на примере несущей железобетонной стены. Основным расширением файла для реализации данной работы стал широко используемый формат stl. В настоящем исследовании в результате компьютерного моделирования были обобщены основные проблемы, которые возникают при обработке облаков точек и работе с файлами формата stl: моделирование тесселяционной сетки (TIN); перевод полученной поверхности в твердотельную геометрию и ее экспорт в специальные программы для корректировки и доработки; верификация посчитанных количественных характеристик анализируемых элементов (объем и площадь).

Ключевые слова: формат stl, проблемы экспорта данных, тесселяционная сетка, твердотельная геометрия, облако точек.

In previous studies by the authors, a comparative analysis of methods for determining the volume of work performed on a construction site (using monolithic structures as an example) using a cloud of points, using the example of a load-bearing reinforced concrete wall. The main file extension for the implementation of this work has become

the widely used stl format. In this study, as a result of computer modeling, the main problems that arise when processing point clouds and working with stl files were summarized: modeling a tessellation grid (TIN); conversion of the resulting surface to solid geometry and its export to special programs for correction and refinement; verification of the calculated quantitative characteristics of the analyzed elements (volume and area).

Keywords: stl format, export difficulties, tessellation mesh, solid geometry, point cloud.

На строительных площадках все чаще начинают использовать технологию лазерного сканирования для сравнительного анализа проектного и фактического расположения конструкций. Однако, дальнейшая работа с облаком точек после выявления планово-высотных и иных отклонений прекращается.

В нормативных документах[1] содержатся требования к разработке цифровой информационной модели строительного объекта с фактическими дефектами конструкций, которая предусматривает для этого использование облаков точек, но пока весьма немногочисленные отечественные специалисты тестируют и реализуют на практике формирование таких моделей. Это обусловлено рядом объективных проблем. Например, одна из них заключается в необходимости применения специализированного программного обеспечения (ПО) для профессионального анализа и трансформации облака точек, что требует от специалиста достаточно высокой квалификации, сформированной на накопленном опыте. При этом наблюдается дефицит исследований, обобщающих: проблемы работы с облаками, ограничения и недостатки функционала данного ПО и способах их практического преодоления.

Цель настоящего исследования заключается в обобщении основных проблем, возникающих при работе с файлами формата stl при подсчете объема материала по облаку точек. Для достижения цели был обобщен опыт авторов по созданию объемной геометрии несущей монолитной железобетонной стены по облаку точек для подсчета ее фактических характеристик: площади и объема с учетом выявленных дефектов.

Последовательность реализации объемной геометрии с последующим вычислением характеристик стены была определена, с учетом опыта подсчета материалов для печати моделей на 3D принтере, для этих задач основным форматом является stl, а также опыта реинжиниринга (реверсивного инжиниринга) деталей в машиностроении [1–3]. Таким образом,

[1] СП 333.1325800.2020. Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла.

была поставлена задача: из формата rcp (облако точек) привести модель к формату stl (твердотельная геометрия).

Кратко обобщим проблемы, выявленные в ходе описанной работы.

Первая проблема – отсутствие апробированных методик не только по вычислению объемов фактически выполненных конструкций в построечных условиях на основе облака точек, но, в целом, по работе с облаком точек, обеспечивающей возможность полного использования преимуществ данной технологии.

Вторая проблема – весьма ограниченное количество отечественного доступного ПО, в основном, специализация такого ПО – линейные объекты с реализованным функционалом подсчета объема плоскостных фигур, относительно реперной («нулевой») плоскости, сформированных по облаку точек. Для решения задачи по переводу формата rcp в формат stl с вычислением количественных характеристик выполненных конструкций возможностей одной программы недостаточно. Поэтому в качестве основной программы авторы использовали ПО «Nanocad Облако точек 24.0», в котором на основе точек облака создали 3D сетку несущей стены в виде четырех граней, ограничили ее по границам рабочих швов бетонирования (РШБ) и преобразовали в твердотельную геометрию (см. рис. 1). Полученную геометрию экспортировали в формат stl для последующей доработки (формирование недостающих граней, зазоров; редактирование полученной сетки от вырожденной геометрии) и вычисления количественных характеристик в ПО «Blender 3.4».

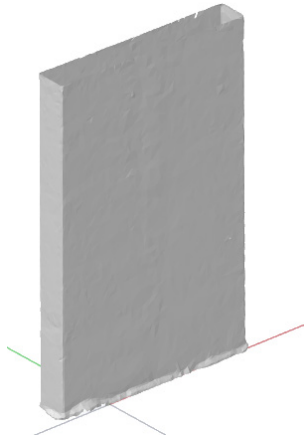


Рис. 1. Твердотельная геометрия до экспорта в ПО «Blender»

Третья проблема – ситуация в модели, когда РШБ находится непосредственно в теле плиты перекрытия (фактическая отметка верха плиты выше проектной). В таком случае необходимо вручную, функционалом ПО «Blender 3.4», ортогонально «дотянуть» вершины на сопряжении плиты и стены до плоскости (РШБ) и вырезать часть плиты перекрытия. В месте сопряжения в перекрытии будет сформировано углубление, площадь которого будет соответствовать поперечному сечению стены. «Потерянный» объем перекрытия необходимо учитывать при определении объемов работ по перекрытию для исключения дублирования объемов. Как видно такой способ не отличается технологичностью, но в настоящее время альтернативы ему для верификации объемов конструкций пока не разработано.

Четвертая проблема – ошибки создания и редактирования сетки, влияющие на корректный экспорт без искажения геометрии. Правила создания конечноэлементной модели конструктивных расчетов достаточно схожи с правилами создания корректной для экспорта поверхности, которые необходимо учитывать:

– несогласованные нормали. Файл формата stl представляет из себя набор данных в виде координат вершин треугольников и нормалей от этих треугольников. Для корректной загрузки и считывания файла в ПО нормали должны быть направлены «из тела» (наружу). Таким образом, необходимо следить за нормалями и при необходимости переориентировать их;

– незамкнутость TIN сетки. При создании поверхности по облаку точек необходимо произвести ее оптимизацию для снижения нагрузки на компьютерный процессор и ускорению расчета при экспорте. В таком процессе могут возникнуть разрывы в сетке, которые вызывают ошибки экспорта и ошибки подсчета объема [4], они могут быть исправлены в ПО «Blender 3.4»;

– вырожденная геометрия сетки (совпадающие вершины или грани ячейки, неполные поверхности), которую необходимо удалить/скорректировать путем объединения ячеек [5].

Пятая проблема – проверка полученного объема и площади. Ввиду сложности проверки и недостаточно масштабной апробации расчета, авторы предлагают на начальном этапе верифицировать полученные количественные характеристики в ПО «Blender 3.4» путем загрузки stl файла в доступный онлайн-калькулятор[1], нейросеть «ChatGPT 4». Например,

[1] URL: https://printing-3d.online/3dcalculator

для стены с проектными размерами 1650×250×2650 мм были полученные следующие фактические геометрические величины (см. рис. 2).

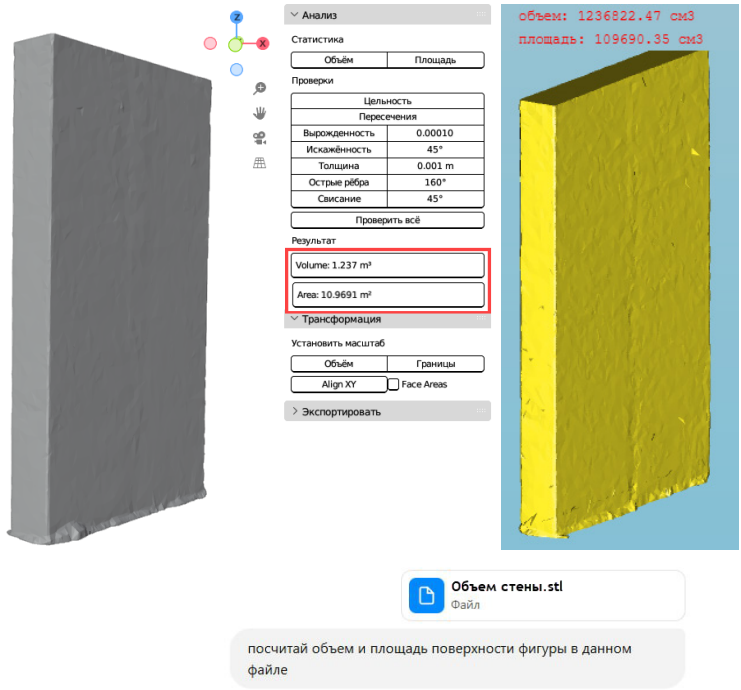


Рис. 2. Результаты проверки количественных характеристик элементов в различных программах: *вверху слева* – ПО «Blender 3.4», *вверху справа* – онлайн калькулятор, *снизу* – нейросеть

Как видно из рис. 2, в результате верификации значительных расхождений между полученными значениями не выявлено. Единицы измерения в каждой программе разные, но после их конвертации к единому

значению объемы и площади совпали в точности до сотых долей. Разница между проектным объемом стены (1,093 м^3) и фактическим (1,237 м^3) составила 13 %.

Вывод: в настоящем исследовании были определены возможности практического применения облаков точек в строительстве после визуализации отклонений, а именно: подсчете (на основе полученных результатов) объема и площади конструкций, выполненных (смонтированных) в построечных условиях для расчета по ним смет, корректировки ведомости отделочных материалов, выявления и устранения сверхнормативных дефектов и т. п. Выявлены и обобщены основные проблемы, возникающих при работе с файлами формата stl при подсчете объема материала по облаку точек. Показаны возможности для верификации полученных объемов с использованием современных вычислительных комплексов и сервисов.

Авторы планируют продолжить исследования в данном направлении. Следующим этапом станет вычисление фактического объема на основании соответствующих моделей горизонтально ориентированных конструкций.

Литература

1. *Саса Д.А., Тараховский А.Ю.* Создание методики повышения производительности процесса создания твердотельной 3D-модели из реального объекта с помощью оптического сканера // Современные технологии: проблемы и перспективы : сб. статей Всеросс. научно-практ. конф. для аспирантов, студентов и молодых ученых. Севастополь : Севастопольский государственный университет, 2021. С. 49–55. EDN: NLHFGJ.

2. *Дамдинова Т.Ц., Абатнин А.А.* Геометрическое моделирование объектов по облаку точек // VIII междунар. конф. Проблемы механики современных машин: Сб. статей. Улан-Удэ : Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, 2022. С. 380–386. DOI: 10.53980/9785907599055_380. EDN: DJBPOT.

3. *Китаев М.В., Суров О.Э., Соловьева Е.Е., Новосельцев И.А.* Применение средств и методов реверс-инжиниринга в судостроении и судоремонте // Судостроение. 2023. № 3(868). С. 26–33. EDN: KJDXYY.

4. *Горелов А.О.* Математический аппарат анализа моделей для 3D-печати // Научное приборостроение. 2022. Т. 32, № 3. С. 104–116. EDN: SGLYMR.

5. *Абдурайимов Л.Н., Бекиров Р.А.* Особенности работы с 3D-моделями изделий в формате STL-файлов на программном уровне // Информационно-компьютерные технологии в экономике, образовании и социальной сфере. 2017. № 2(16). С. 18–28. EDN: YTVYSD.

УДК 004.896
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.014

Кабайлов Денис Дмитриевич, аспирант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: denis2000kab@gmail.com, ORCID: 0009-0006-5738-8837
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

Kabailov Denis Dmitrievich, postgraduate student
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)
Namestnikov Alexey Michailovich, Dr. Sci. Tech., Professor
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

ПОДГОТОВКА И АНАЛИЗ ДАННЫХ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ ЦИФРОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ

DATA PREPARATION AND ANALYSIS FOR ELEMENTS CLASSIFICATION IN BUILDING INFORMATION MODELS

В представленной работе описана структура сформированных данных об элементах тестовых цифровых информационных моделей, необходимых для выявления зависимостей между элементами в моделях с целью решения задачи классификации элементов по отображению на определенных видах в модели. Кратко описана работа с данными в контексте нейросетевых алгоритмов, использующих графовые структуры для обучения и предсказания. Описаны основные особенности работы алгоритма Node2Vec в контексте поставленной задачи. Подведены итоги проделанной работы, а также сформированы следующие этапы решения задачи классификации элементов по отображению на определенных видах в модели.

Ключевые слова: Node2Vec, графовые нейронные сети, классификация элементов, графовое представление информационных моделей, автоматизация проектирования зданий, ТИМ.

The presented article describes the generated data structure on the elements of test building information models, necessary to identify the dependencies between the elements in the models in order to solve the problem of classifying elements by displaying them on certain views in the model. Working with data in the context of neural network algorithms using graph structures for learning and prediction is briefly described. The main features of the Node2Vec algorithm in the task context are described. The results

of the work done are summarized, and the following stages of solving the problem of classifying elements by displaying them on certain views in the model are formed.

Keywords: Node2Vec, graph neural networks, element classification, graph-based information models data representation, building design automation, BIM.

Формирование чертежей зданий и сооружений с использованием цифровых информационных моделей (BIM) является одним из самых трудоемких процессов в проектировании. Зачастую этот процесс единообразен, однако зависит от сложности здания, количества конструкций в нем, атрибутивного наполнения элементов, присутствия существующих видов, плотности расположения элементов и т.п, поэтому автоматизация данной задачи необходима для повышения эффективности проектирования с точки зрения трудозатрат на анализ конфигурации здания, человеческие ошибки и многое другое [1]. Прежде чем создавать виды, необходимо определить, какие конструкции должны быть отображены на видах. Так как с использованием стандартных алгоритмов очень трудоемко либо почти невозможно найти взаимосвязь всех элементов и их атрибутов внутри модели для корректной классификации элементов по отображению на видах в модели, то принято решение использовать нейросетевые алгоритмы, способные учитывать большой массив данных и строить связи между этими данными.

Цифровые информационные модели зданий представляют собой структуру, состоящую как из связанных между собой, так и из отдельных объектов, содержащих определенные атрибуты. Например, информационная модель, созданная в ПО Revit, представляет собой древовидную структуру, которую можно в общем виде описать в виде графа (рис. 1) [2].

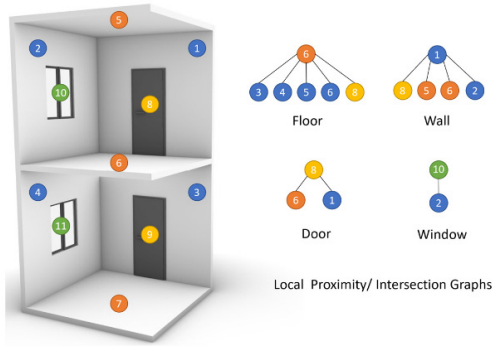


Рис. 1. Диаграмма взаимосвязей элементов в виде графа [2]

Именно связи между элементами являются ключевыми данными в представлении цифровой информационно модели, так как без связей две разные модели могут интерпретироваться нейросетью одинаково. В связи с чем возникает необходимость в учете связей между элементами в процессе обучения нейросети. Для начала были подготовлены несколько информационных моделей и, с использованием специально разработанного инструмента, выгружена основная информация об элементах и их связях. В качестве основной информации об элементах были выгружены следующие данные (рис. 2):

1. Уникальный идентификатор элемента.
2. Категория элемента в числовом виде.
3. Координаты минимальной и максимальной точки элемента.

```
[ [
        [1751;-2000240;0;0;-9,84251968503937;0;0;-9,84251968503937],
        [24612;-2000240;0;0;0;0;0;0], ] ]
```

Рис. 2. Пример выгруженных данных элементов

В качестве основной информации о видах были выгружены уникальные идентификаторы вида, его категория и уникальные идентификаторы элементов, отображенных на видах (рис. 3). Такая структура обусловлена тем, что совокупность элементов позволяет определить расположение вида, а его категория – тип вида.

```
[ [
        [1752;1;509347;509461;509466;509471;509476],
        [24631;2;509347;509466;509471;509476;509599;509709],] ]
```

Рис. 3. Пример выгруженных данных видов

Связи между элементами выгружены в виде отдельного файла, структура данных которого схожа со структурой данных о видах, за исключением категории (рис. 4). Хочется отметить, что связью является как нахождение одного элемента внутри другого, например, окна в стене, так и примыкание одного элемента к другому.

```
[[
        [509108;510268;510473;510588;510753;522444;522446;522448],
        [510268;510473;510753;515184;521567],] ]
```

Рис. 4. Пример выгруженных данных связей элементов

Построенный на основе сформированных данных граф будет включать в виде узлов элементы и виды, а в виде ребер – связи этих элементов. Связи между конструктивными элементами будут представлять собой примыкание одной конструкции к другой, а связи между элементами и видами – отображение данного элемента на виде.

При создании графовой нейронной сети подразумевается создание векторов данных у узлов и ребер, при учете которых во время обучения можно предоставить модели больше информации для агрегации [3]. Но такие алгоритмы, как GNN, GCN и GAN на этапе исследования могут усложнить путь к анализу проблемы и принятию решения об актуальности данного пути, хоть и являются более эффективными при обучении моделей на графовых структурах данных [4].

В качестве альтернативного и менее ресурсоемкого подхода предлагается использовать алгоритм Node2Vec, с целью изучения информационных моделей в виде графовых структур. Использование данного алгоритма позволит предварительно понять, насколько эффективно изучать модель в виде графов, как хорошо агрегируется информация об элементах и видах путем применения случайных блужданий по графу [5].

В начале необходимо создать экземпляр графа. Для этого используется пакет networkx[1]. Получившийся граф и тестовая модель представлены на рис. 5. Хочется отметить, что визуально граф очень напоминает структуру здания: узлы, находящиеся на одном уровне, – конструкции или элементы на этаже; почти все они сходятся на одном узле – перекрытии или крыше.

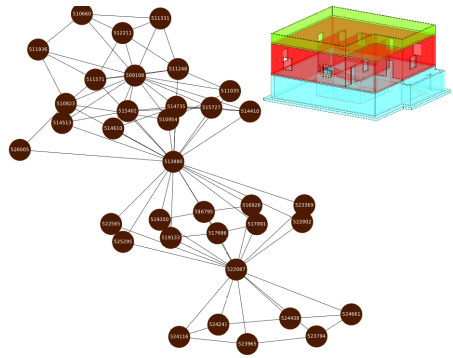


Рис. 5. Объемный 3D-вид тестовой модели и ее графового представления

[1] URL: https://networkx.org

Однако при дальнейшем изучении данного алгоритма было выявлено, что модель Node2Vec может обучаться только на одном графе, поэтому для начала предлагается создать единый несвязный граф, в котором будут находиться все модели обучающей выборки, но для этого необходимо всем идентификаторам элементов и видов присвоить какой-либо префикс, например, наименование здание или число от 0 до 1 млн.

По окончанию проделанной работы можно сформировать следующие выводы:

1. Задача классификации элементов модели по отображению на видах является трудоемкой и обязывает учитывать множество факторов информационного моделирования, поэтому решено использовать нейросетевые алгоритмы.

2. Сформирована структура обучающих данных, а также проанализировано представление информационных моделей в виде графов.

3. Для начального решения задачи классификации элементов предлагается использовать алгоритм Node2Vec, а также в виде графа для обучения будет выступать несвязный граф, состоящий из всех тестовых моделей.

Литература

1. *Kim Y., Chin S., Choo S.* Rule-based automation algorithm for generating 2D deliverables from BIM // Journal of Building Engineering. 2024. Vol. 97. P. 111033. DOI: 10.1016/j.jobe.2024.111033. EDN: HEPPAQ.

2. *Austern G., Bloch T., Abulafia Y.* Incorporating Context into BIM-Derived Data – Leveraging Graph Neural Networks for Building Element Classification // Buildings. 2024. Vol. 14, No. 2. P. 527. DOI: 10.3390/buildings14020527. EDN: FDCQCS.

3. *Simon J.D.* Prince Understanding Deep Learning. MIT Press, 2023. 544 p.

4. *Wu Z., Pan S., Chen F., Long G., Zhang C., Yu P.* A Comprehensive Survey on Graph Neural Networks. 2019. DOI: 10.48550/arXiv.1901.00596.

5. *Labonne M.* Hands-On Graph Neural Networks Using Python. Packt Publishing, 2023. 365 p.

УДК 69.002.5+519.876.5
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.015

Каракозова Ирина Викторовна, канд. техн. наук, доцент
(Национальный исследовательский Московский
государственный строительный университет)
E-mail: i.kar@inbox.ru, ORCID: 0000-0002-7913-919X

Karakozova Irina Viktorovna, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Moscow State University of Civil Engineering (National Research University))

ЭЛЕКТРОННАЯ БИБЛИОТЕКА СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

ELECTRONIC LIBRARY OF PROPERTIES OF CONSTRUCTION MACHINES AND MECHANISMS

Создание и применение электронной библиотеки свойств актуально для последующего использования при формировании оптимального состава строительных машин и механизмов. С помощью такого инструмента возможно планирование сроков выполнения отдельных видов строительных работ, а также времени работы строительных машин и механизмов. Цель настоящего исследования заключается в обосновании необходимости разработки электронной библиотеки свойств строительных машин и механизмов, способствующей качественному и полному наполнению цифровой информационной модели. Для планирования сроков выполнения работ предлагается использовать действующие сборники Государственных элементных сметных норм, в которых содержится перечень строительных машин и механизмов, а также усредненные значения времени их использования. Предложен примерный перечень физических и атрибутивных данных строительных машин и механизмов для включения в электронную библиотеку свойств (технических, организационных, сметных и др.). Пользователями такой библиотеки должны стать все участники, включая проектную организацию и поставщика ресурсов. Такой инструмент позволит моделировать различные сценарии использования строительных машин и механизмов, а также управлять процессами и сроками производства работ.

Ключевые слова: технологии информационного моделирования, цифровая информационная модель, сметная норма, строительные машины и механизмы, библиотека свойств.

The creation and application of an electronic library of properties is relevant for subsequent use in the formation of an optimal composition of construction machinery and mechanisms. With the help of such a tool, it is possible to plan the deadlines for certain types of construction work, as well as the operating time of construction machinery

and mechanisms. The purpose of this study is to substantiate the need to develop an electronic library of properties of construction machines and mechanisms, contributing to the high-quality and complete content of the digital information model. To plan the deadlines for the work, it is proposed to use the current collections of State Element Estimates, which contain a list of construction machinery and mechanisms, as well as the average time of their use. An approximate list of physical and attribute data of construction machines and mechanisms is proposed for inclusion in the electronic library of properties (technical, organizational, estimated, etc.). Users of such a library should be all participants, including the project organization and the resource provider. This tool will allow you to simulate various scenarios for the use of construction machinery and mechanisms, as well as manage processes and deadlines for work.

Keywords: building information modeling, digital information model, estimated rate, construction machines and mechanisms, property library.

Результатом внедрения технологий информационного моделирования (ТИМ) при строительстве объекта должна стать полная автоматизация процесса обмена информацией между всеми участниками строительного процесса, что будет способствовать получению объективных данных обо всех затратах, сопровождающих процесс возведения объекта, предусмотренных при подготовки проектной документации и возникающих в период строительства.

Однако внедрение ТИМ сопровождается рядом проблем, с которыми сталкиваются организации инвестиционно-строительной сферы. Согласно полученным результатам отдельных исследователей, к таким проблемам относятся необходимость проведения обязательного активного обучения специалистов всех уровней и структур [1], обновление технического оснащения организаций [1], отсутствие полного понимания о возможности получения экономического эффекта по результатам внедрения ТИМ [2], высокая стоимость внедрения [2, 3], недостаток квалифицированных кадров [2–4] и др. Зарубежный опыт внедрения ТИМ подтверждает как наличие аналогичных проблем, так и то, что возможность внедрения таких технологий под силу крупным строительным организациям, которые, имея значительные финансовые средства, могут вложить их в новые технологии [5]. Кроме того, отсутствие полноценной информационной базы данных о ресурсах (материальных, технических, трудовых), процессах, работах и т.д., отвечающей требованиям ТИМ, также усложняет их применение как на этапе проектирования, так и на последующих этапах жизненного цикла объекта строительства. Анализ действующих в настоящее время классификаторов для информационного

моделирования[1,2] подтвердил также отсутствие информации о прямой взаимосвязи между используемыми строительными машинами и теми работами, процессами, в которых они задействованы.

В настоящее время сметная стоимость работ в строительстве определяется ресурсно-индексным методом, представляющим собой расчет стоимости посредством использования требуемой в соответствии с проектным решением номенклатуры строительных ресурсов, их потребности в физических единицах, базисных/текущих цен на ресурсы и индексов изменения сметной стоимости в случае применения базисных цен по состоянию на 01.01.2022. При этом основным источником получения информации об используемых ресурсах являются сборники государственных элементных сметных норм на различные виды строительных, монтажных и других видов работ (далее – ГЭСН).

Методикой применения сметных норм, утвержденной приказом Минстроя России от 14.07.2022 № 571/пр[3] установлено, что сметные нормы в составе ГЭСН разработаны на основе принципов усреднения и не подлежат корректировке при их применении в процессе расчета сметной стоимости работ, в том числе, когда проектной документацией предусмотрены отличные условия их применения. Например, использование не учтенных в сметных нормах строительных машин и механизмов, не меняющих принципиально технологические и организационные схемы производства работ; замена механизированных процессов, учтенных сметными нормами, на выполнение работ вручную и наоборот; использование в соответствии с проектной документацией строительных машин и механизмов с характеристиками, отличающимися от принятых в сметных нормах, которые при этом не оказывают влияние на принятые схемы производства работ.

Для полноценного наполнения информационной модели потребуется создание для всех участников процесса общей электронной библиотеки свойств строительных машин и механизмов (рис. 1).

---

[1] Приказ Комитета города Москвы по ценовой политике в строительстве и государственной экспертизе проектов от 26.06.2019 № МКЭ-ОД/19-39 «Об утверждении требований к информационным моделям объектов капитального строительства, а также классификаторов для информационного моделирования».

[2] Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 06.08.2020 № 430/пр «Об утверждении структуры и состава классификатора строительной информации».

[3] Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 14.07.2022 № 571/пр «Об утверждении Методики применения сметных норм».

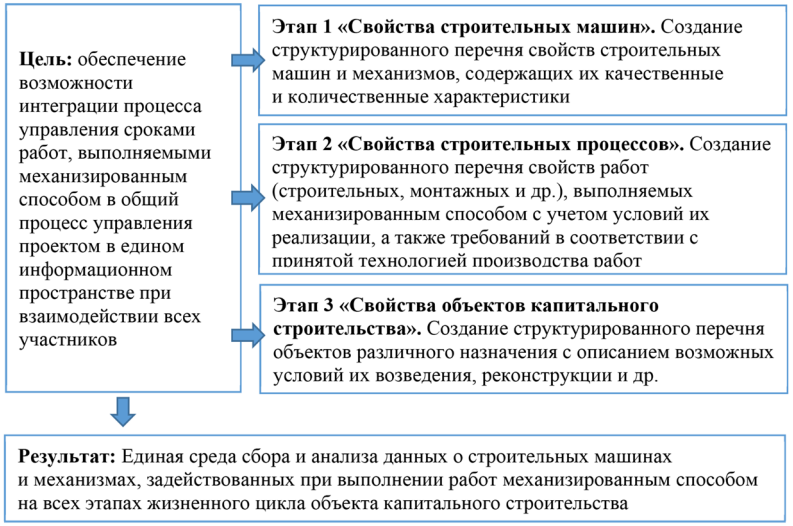


Рис. 1. Цель, этапы и результат создания электронной библиотеки свойств строительных машин и механизмов

Получению полной и достоверной информации об объекте строительства, в том числе при формировании сметной стоимости работ, для разных уровней проработки цифровой информационной модели (далее – ЦИМ) будет способствовать электронная библиотека свойств (технических, технологических, организационных, сметных и др.), содержащая физические и атрибутивные данные, а также объем требуемой информации в зависимости от уровня проработки [3, 6].

В процессе строительства наличие полной информации о принятой организации и технологии производства работ, а также рекомендуемых строительных машинах и механизмах в сметных нормах, позволит ускорить процесс формирования их состава с учетом оптимизации времени их использования.

Согласно СП 333.1325800.2020[1], на этапе строительства ЦИМ должна содержать графические и атрибутивные данные, обеспечивающие выполнение строительных работ с применением конкретного

[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.

материально-технического обеспечения, что невозможно в случае отсутствия требуемой информации в электронной библиотеке свойств в составе используемых программных продуктов.

Качество наполнения информационной модели зависит от полноты информации о строительных машинах и механизмах, участвующих в процессе производства строительных работ. В качестве физических и атрибутивных данных строительных машин и механизмов при описании отдельно взятого процесса (бетонирование, армирование, уплотнение, разработка, погрузка, перевозка и др.) в этом случае будет выступать следующая информация:

– шифр и наименование сметной нормы;

– статус применения (прямое, применительное);

– шифр строительной машины/механизма по сметной норме;

– наименование строительной машины/механизма по сметной норме;

– наименование строительной машины/механизма фактическое;

– время работы строительной машины/механизма по сметной норме;

– время работы строительной машины/механизма фактическое;

– статус (ведущая, вспомогательная и др.);

– тип организационно-технологической схемы работы (последовательный, параллельный, совместный);

– назначение (грузоподъемные, землеройные, дорожные и др.);

– производственная характеристика строительной машины/механизма* (грузоподъемность, мощность, объем ковша, длина стрелы, давление и др.);

– тип базовой машины* (автомобиль, трактор и др.);

– тип управления* (ручное, автоматическое, полуавтоматическое);

– тип ходового устройства* (фронтальные, поворотные и др.);

– способ передвижения* (самоходные, прицепные и др.);

– тип по числу рабочего оборудования* (универсальные, специальные);

– вид привода* (пневматический, гидравлический);

– поставщик (информация приводится в случае аренды);

– фактический срок службы по данным поставщика.

Информация, указанная с символом «*», может приводиться как на основе сметных норм, так и на основе фактических данных.

В предлагаемой к разработке электронной библиотеке свойств будет накапливаться информация о принятых проектных решениях, об используемых сметных нормах, задействованных строительных машинах и механизмах, их характеристиках, а также нормативном и фактическом времени их работы. Пользователями такой библиотеки на этапе

строительства помимо заказчика и проектной организации должны стать организации, осуществляющие строительство по договору строительного подряда, а также поставщики строительных машин и механизмов. При этом должны быть разработаны требования к информационной модели в части использования строительных машин и механизмов, составу участников и их взаимодействия.

Таким образом, расширение электронной библиотеки свойств за счет наполнения ее информацией о строительных машинах и механизмах, участвующих в реализации отдельных строительных процессов, позволит на этапе проектирования моделировать различные сценарии использования строительных машин и механизмов за счет допустимого изменения параметров, а на этапе строительства управлять процессами и сроками производства работ.

Литература

1. *Окладникова Е.В.* Анализ основных факторов внедрения технологии информационного моделирования в строительную отрасль Дальнего Востока // Региональная архитектура и строительство. 2023. № 2(55). С. 134–141. DOI: 10.54734/20722958_2023_2_134. EDN: CQCGIZ.

2. *Хрусталев Б.Б., Каргин А.А.* Основные вопросы внедрения технологии информационного моделирования в деятельности предприятий инвестиционно-строительного комплекса // Друкеровский вестник. 2022. № 3(47). С. 104–112. DOI: 10.17213/2312-6469-2022-3-104-112. EDN: PIELQG.

3. *Рашев В.С., Астафьева Н.С., Рогожкин Л.С., Григорьев В.Ю.* Анализ внедрения технологии информационного моделирования в российских строительных компаниях по проектированию и строительству инженерных систем // Вестник евразийской науки. 2020. Т. 12, № 3. С. 11. EDN: LWIIUW.

4. *Семенов А.А., Цветков Ю.А.* Систематизация проблем внедрения технологий информационного моделирования в строительной сфере Российской Федерации // Экономика и предпринимательство. 2022. № 6(143). С. 291–296. DOI: 10.34925/EIP.2022.143.6.054. EDN: OGEFVP.

5. *Гевленко А.В.* Анализ внедрения, распространения и использования технологий информационного моделирования строительной отрасли США, Великобритании, Малайзии и Гонконга // Тенденции развития науки и образования. 2024. № 110-19. С. 103–109. DOI: 10.18411/trnio-06-2024-1047. EDN: APGFGC.

6. *Бородин С.И., Гусев Е.В., Коровин А.М., Некрасов С.Г.* Исследование вопроса связи информационной модели строительства объекта (BIM) и сметной стоимости объекта // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2024. Т. 24, № 4. С. 113–122. DOI: 10.14529/ctcr240410. EDN: UPMIHJ.

УДК 004.052+004.046+712.00
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.016

Карелин Дмитрий Викторович, канд. архит., заведующий кафедрой
(Новосибирский государственный
архитектурно-строительный университет (Сибстрин))
E-mail: d.karelin@sibstrin.ru, ORCID: 0009-0002-7275-6889
Тырышкина Мария Сергеевна, магистрант
(Новосибирский государственный
архитектурно-строительный университет (Сибстрин))
E-mail: ma.tyryshkina@yandex.ru, ORCID: 0009-0004-0736-5069

Karelin Dmitry Viktorovich, PhD in Arch., Head of Chair
(Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin))
Tyryshkina Maria Sergeevna, Master's degree student
(Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin))

ОБЗОР ЦИФРОВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ АНАЛИЗА И РАЗРАБОТКИ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ БЛАГОУСТРОЙСТВА

AN OVERVIEW OF DIGITAL TOOLS FOR ANALYZING AND DEVELOPING LANDSCAPING DESIGN SOLUTIONS

В связи с быстрым темпом развития технологий проектирования и потребностей в качественном управлении городскими территориями становится важным внедрение цифровых инструментов в строительную деятельность. В статье рассмотрены основные этапы проектирования благоустройства и инструменты, используемые на каждом этапе жизненного цикла объекта (в данном случае, территории). Определены основные программные обеспечения, востребованные в настоящее время. Проведен анализ требований, выдвигаемых к цифровой информационной модели планировки земельного участка, рассмотрены атрибутивные параметры каждого из элементов благоустройства. Сделан вывод о взаимосвязи цифровых инструментов, проектной группы и заказчика.

Ключевые слова: благоустройство, цифровые инструменты, проектная документация, технологии информационного моделирования, требования к модели, цифровая информационная модель планировки земельного участка.

Due to the rapid pace of development of design technologies and the need for high-quality urban management, it is becoming important to introduce digital tools into construction activities. The article discusses the main stages of landscaping design and the tools used at each stage of the object's life cycle (in this case, the territory). The main software currently in demand has been identified. The analysis of the requirements for

the digital information model of land plot planning is carried out, the attributive parameters of each of the landscaping elements are considered. The conclusion is made about the relationship between digital tools, the project team and the customer.

Keywords: landscaping, digital tools, project documentation, information modeling technologies, model requirements, digital information model of land plot planning.

В условиях динамичного развития территории, технических систем и их ресурсоэффективного управления, необходимым является использование цифровых инструментов при формировании проектов комплексного благоустройства. Вместе с этим стоит отметить, что под благоустройством понимается комплекс мероприятий [1], направленный на формирование комфортной городской среды, в том числе в развитие основных результатов национальных проектов, и включает в себя архитектурно-планировочное преобразование, прокладку коммуникаций (водопроводов, бытовой и ливневой канализации, газопроводов, сетей электроснабжения), строительство и ремонт автомобильных дорог и парковок, тротуаров, установку уличного освещения, озеленение территорий, установку малых архитектурных форм, а также организацию рельефа территории.

Проектирование благоустройства городских территорий состоит из нескольких этапов: предпроектного (подготовительного), инженерных изысканий и оценки потенциала инженерной инфраструктуры из открытых источников, разработки концептуального проекта (дизайн-проекта, эскизирования), технико-экономического обоснования и разработки проектно-сметной документации (рис. 1).

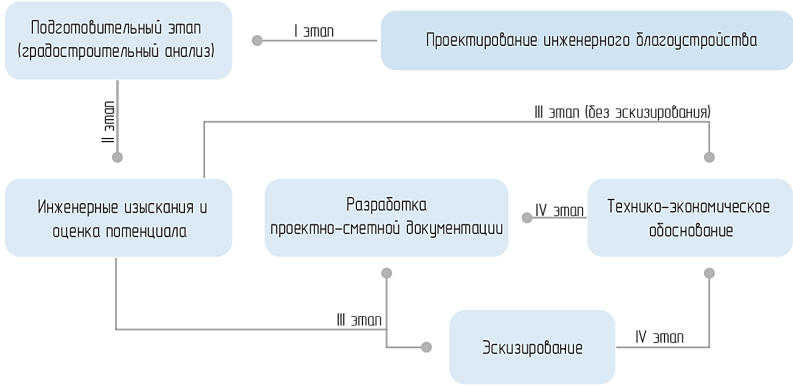


Рис. 1. Этапы проектирования инженерного благоустройства

На каждом из этих этапов используются разные цифровые инструменты, которые также можно классифицировать в зависимости от функциональных возможностей на следующие типы, объединяемые PLM-системой (рис. 2): географические информационные системы (ГИС), системы автоматизации проектных работ (САПР), программы для ТИМ-проектирования, программы рендеринга 3D, программы для совместной работы (среда общих данных), расчетные программы инженерных решений генплана.

Каждый из инструментов имеет свой набор уникальных возможностей и является взаимодополняемой частью в системе проектирования.

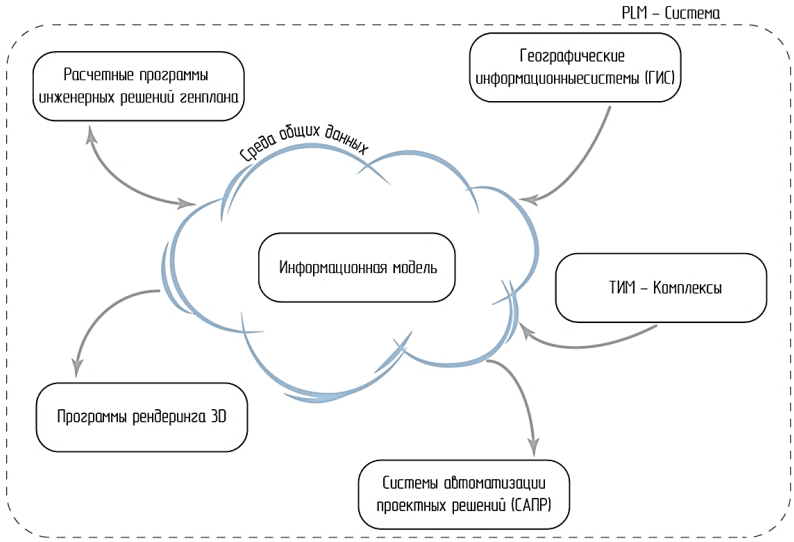


Рис. 2. Цифровые инструменты для анализа и разработки проектных решений благоустройства

При проведении предпроектного этапа, который включает в себя градостроительный анализ территории, активно используются географические информационные системы (ГИС). ГИС-комплексы имеют ключевое значение при анализе объемно-пространственных и плоскостных данных, позволяющих наглядно выделить транспортные и пешеходные потоки в структуре города, определить функциональное зонирование территории, рассчитать укрупненные площади покрытий и т. д. В настоящее

время к наибольшей интероперабельности относятся QGIS, ГИС Панорама, ZuluGIS, ГИС Аксиома и т. п.

На основе предпроектного этапа формируется концептуальный проект, который содержит графическое представление будущей территории застройки. Такой вид документа включает в себя необходимое количество визуализаций, архитектурно-планировочных, функционально-технологических, конструктивных и инженерно-технических решений в текстовой и графической материалах. Документация эскизного проекта зачастую содержит ситуационный план, схему функционального зонирования, план благоустройства (размещение малых архитектурных форм), разбивочный план, план покрытий, план озеленения участка, план освещения, укрупненную сметную стоимость. При формировании концептуального проекта используются симбиоз программных продуктов САПР: nanoCAD, КОМПАС-3D, T-FLEX CAD, инструментально позволяющие создать геометрическую модель с параметрическим наполнением, и программы рендеринга 3D, такие как Blender, Lumion, Twinmotion.

После разработки концептуального проекта формируется пакет необходимой проектной документации, основанием для которой является задание на проектирование. В начале XXI века эволюционным шагом являются технологии информационного моделирования (ТИМ), при этом нормативная база регулирования и стандартизации ТИМ в проектировании активно пополняется с выходом СП 333.1325800.2020, ПНСТ 505-2022, ПНСТ 909-2024, которые регламентируют процесс формирования информационной модели объекта на разных этапах его жизненного цикла [2, 3]. Стоит отметить, что в большинстве проектов, выполняемых в рамках благоустройства территории, используются расчетные программы инженерных решений генплана [4]. С помощью такого ПО возможно создавать, редактировать и анализировать цифровые модели рельефа (ЦМР), выполнять расчеты по объемам земляных масс, проектировать внешние инженерные коммуникации подземного (наземного) типа и линейные объекты с подготовкой генплана, профилей и поперечных сечений, конструировать искусственные сооружения. В настоящее время наиболее востребованными программами являются nanoCAD GeoniCS, ТИМ КРЕДО, Топоматик Robur и т. п. При формировании инженерных расчетов для обоснования корректности расчетных моделей производится верификация модели, то есть установление соответствия ЦИМ требованиям в части атрибутивных и геометрических данных.

Благоустройство состоит из нескольких элементов, к каждому из которых выдвигаются определенные требования на этапе формирования

цифровой информационной модели планировки земельного участка (ЦИМ ПЗУ), которая относится к цифровой информационной модели объекта капитального строительства в иерархии схемы разделения ЦИМ и является вторым разделом проектной документации. Цифровая информационная модель представляет собой объектно-ориентированную 3D-модель с характерными атрибутивными и геометрическими параметрами [5]. ЦИМ ПЗУ допускается делить на рельеф, конструктивные элементы участка (искусственные сооружения), внешние инженерные сети, благоустройство, озеленение и малые архитектурные формы.

Рельеф. Цифровая модель рельефа (ЦМР) – это существующие водоразделы и градостроительная оценка уклонов, дорожное, тротуарное или иное покрытие, смоделированное в виде поверхности [6]. Особенность моделирования проектного рельефа заключается в том, что он формируется на основе инженерно-геодезических изысканий с существующими отметками. Основными требованиями, выдвигаемыми к ЦМР, являются точность установленных данных, содержательность модели, моделирование антропогенных и естественных изменений рельефа, возможность проведения пространственного анализа, совместимость, доступность использования, верификация данных.

Конструктивные элементы участка (искусственные сооружения). К конструктивным элементам участка относятся бортовой камень проездов, тротуаров, водоотводные лотки ливневой канализации. Данные конструкции моделируются отдельными элементами и имеют следующие атрибутивные данные: длина, объем, марка и материал. При этом моделировать части элементов допустимо твердотельными.

Малые архитектурные формы. Малые архитектурные формы допустимо классифицировать на декоративные (скульптуры, арки, фонтаны и т. п.) и утилитарные (урны, скамьи, ограждения и т. п.) сооружения. К атрибутивным данным малых архитектурных форм относятся: длина, ширина, высота, наименование и обозначение, моделирование части элементов твердотельное.

Озеленение. При моделировании ЦИМ допускается делить элементы озеленения на три категории: деревья, кустарники и цветы. К каждому из элементов выдвигаются определенные требования: деревья – высота, наименование и объем земляного кома; кустарники – высота, длина, наименование, количество (если кустарники высаживаются в ряд) и объем земляного кома. При этом ряды кустарников допустимо моделировать единым элементом высотой и шириной равной высоте и ширине кустарника и длиной равной длине ряда с указанием количества кустарников;

цветы – высота, количество, наименование. При моделировании элементов озеленения также необходимо учитывать расположение подземных коммуникаций, морозостойкость, декоративность растений и характеристики почвы (структура, состав, уровень pH).

Внешние инженерные сети. Внешние сети на этапе моделирования допускается делить по системам водоснабжения, бытовой и ливневой канализации, теплоснабжения, электроснабжения, газоснабжения и слаботочные сети. При этом самотечные канализационные трубопроводы необходимо моделировать с учетом требуемых нормативных уклонов, а тепловые сети – с учетом изоляции.

К атрибутивным данным сетей относятся длина, уклон и диаметр условного прохода, тип системы, материал, имя системы, наименование, обозначение и способ соединения.

При этом ЦИМ ПЗУ должна соответствовать следующим требованиям: наличие и полнота атрибутивных данных (информационных и геометрических); классификация и идентификация элементов; соответствие единой системе координат; отсутствие коллизий между элементами; масштабность модели (1:1).

К выводам можно отнести, что процесс цифровой трансформации в области строительства и разработки проектно-сметной документации затрагивает не только производимый продукт (объект или документацию), но и требует институциональных изменений компании через внедрение цифровых инструментов. При этом цифровая среда, используемая заказчиком, опциональна. Данный процесс связан с несколькими причинами:

1. Цифровые инструменты для анализа решений по благоустройству территорий допустимо разделить на иерархические уровни, объединяемые PLM-системой: сбор и систематизация пространственных данных, геоинформационный мониторинг, элементы искусственной генерации, прикладные программные комплексы САПР и ЦИМ (рис. 3).

2. Улучшение взаимодействия. Инструменты, настроенные под нужды компании, оптимизируют совместную работу участников проекта. Используя принцип интеграции (см. рис. 1) и среды общих данных, допустимо снижать общую нагрузку на разработчиков разделов проектной документации.

3. Цифровая интеграция. Зачастую проектные решения необходимо интегрировать в другие системы, используемые компанией и внешними участниками. Настройка позволяет обеспечить совместимость и непротиворечивость данных, а также их «бесшовный» обмен.



Рис. 3. Компоненты PLM-Системы

Литература

1. *Бакутис В.Э., Горохов В.А., Лунц Л.Б., Расторгуев О.С.* Инженерное благоустройство городских территорий. М. : Стройиздат, 1979. 239 с.

2. *Батова А.В., Дубровская Т.Н., Пищугин Д.А.* Внедрение цифровых технологий в строительство // Цифровая и отраслевая экономика. 2020. № 1(18). С. 108–113. EDN: JYFRAQ.

3. *Абакумов Р.Г., Наумов А.Е., Зобова А.Г.* Преимущества, инструменты и эффективность внедрения технологий информационного моделирования в строительстве // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. № 5. С. 171–181. EDN: YNBNWB.

4. *Сальников В.Г., Горобцов С.Р., Кирилов Н.А.* Современные методы и средства сбора и обработки геопространственных данных при ведении генерального плана промышленных площадок // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). 2024. Т. 29, № 1. С. 30–44. DOI: 10.33764/2411-1759-2024-29-1-30-44. EDN: AMUCDQ.

5. *Ильинова В.В., Мицевич В.Д.* Международный опыт использования BIM-технологий в строительстве // Российский внешнеэкономический вестник. 2021. № 6. С. 79–93. EDN: XWHWUJ.

6. *Данилова Л.О., Рашевский Н.М., Рекунов С.С., Трудов Я.А., Гуртяков А.С.* Классификация плотного облака точек при моделировании рельефа // Academia. Архитектура и строительство. 2024. № 3. С. 76–81. DOI: 10.22337/2077-9038-2024-3-76-81. EDN: MJLRKQ.

УДК 004.9+72.025.4
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.017

Комарова Мария Николаевна, PhD
(Союз архитекторов России)
E-mail: zvukizdania@gmail.com, ORCID: 0000-0003-1035-9335

Komarova Mariya Nikolaevna, PhD in Architectural and Landscape Heritage
(Union of Architects of Russia)

3D-СКАНИРОВАНИЕ И 3D-ПЕЧАТЬ КАК ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АРХИТЕКТУРНОЙ РЕСТАВРАЦИИ

3D SCANNING AND 3D PRINTING AS INFORMATION TECHNOLOGIES IN ARCHITECTURAL RESTORATION

Информационные технологии, такие как 3D-сканирование и 3D-печать, постепенно интегрируются в процесс реставрации архитектурного наследия. Целью настоящего исследования является комплексный анализ их применения на практике: от сбора данных 3D-сканерами до финального монтажа деталей, созданных 3D-принтерами. В статье описаны различные типы цифровых инструментов с программным обеспечением и принципы их функционирования, используемые в восстановлении и документировании исторических объектов. Представлены примеры успешно реализованных международных реставрационных проектов. Современные 3D-технологии позволяют повысить точность воссоздания архитектурных элементов, сокращают сроки их изготовления и расход материалов, обеспечивая лучшую сохранность культурного наследия.

Ключевые слова: информационные технологии, 3D-сканирование, 3D-моделирование, 3D-печать, инновационные материалы, архитектурная реставрация.

Information technologies, such as 3D scanning and 3D printing, are gradually integrating into the process of architectural heritage restoration. The aim of the present study is to conduct a comprehensive analysis of their practical application: from data acquisition with 3D scanners to the final assembly of details produced by 3D printers. The article examines different types of digital tools with software and the principles of their operation in the restoration and documentation of historical objects. Examples of successfully implemented international restoration projects are presented. Modern 3D technologies enhance the accuracy of architectural element reproduction, reduce production time and material consumption, and ensure better preservation of cultural heritage.

Keywords: information technologies, 3D scanning, 3D modeling, 3D printing, innovative materials, architectural restoration.

Введение. Архитектурная реставрация включает комплекс мероприятий, направленных на сохранение, восстановление и защиту исторически значимых зданий и сооружений, являющихся частью культурного наследия общества. Воссоздание утраченных конструктивных или декоративных элементов продлевает срок службы памятника, возвращает ему эстетическую привлекательность и функциональность.

Целью данного исследования является анализ современных методов, инструментов и материалов, применяемых в реставрации архитектурных объектов. В статье повествуется о процессах сбора и обработки цифровых данных, создании 3D-моделей на основе облаков точек, представлены проекты с примерами применения 3D-печати для воссоздания архитектурных элементов и интеграцией их в историческую среду. Информационные технологии 3D-сканирования и 3D-печати обеспечивают высокую точность построений деталей и, в комплексе с традиционными инструментами, существенно оптимизируют процесс реставрационных работ.

Методы и результаты. Информация о геометрических параметрах архитектурного объекта с целью его реставрации может быть получена одним или несколькими способами трёхмерного сканирования:

– лазерное сканирование (LiDAR);

– проецирование структурированного света;

– фотограмметрические системы [1].

Сканеры делятся на стационарные, ручные и мобильные (устанавливаемые на беспилотные летательные аппараты). Точность и диапазон измерений зависят от типа и характеристик используемого устройства. Исследования показывают, что комбинация LiDAR и фотограмметрии обеспечивает наилучшую детализацию 3D-моделей [2].

В области лазерных технологий представлен широкий выбор ручных 3D-сканеров, удобных для работы с деталями в труднодоступных местах. Например, сканер Scanform L5 российского производства, весом 950 граммов, проецирует пять параллельных лазерных линий красного спектра. Это позволяет сканировать сложные поверхности, включая глянцевые и тёмные материалы, без необходимости нанесения матирующего спрея. Инструмент FreeScan Trio, представленный китайской компанией SHINING 3D в январе 2025 года, сочетает лазерное сканирование и фотограмметрию. Он оснащен тремя фотокамерами с разрешением 5 МП, достигает точности до 0,02 мм и скорости измерений до 3 010 000 точек в секунду [3]. В 2022 году канадская компания KIRI Engine разработала

приложение для смартфонов (Android и iOS), использующее LiDAR (для некоторых моделей iOS) и фотограмметрию для создания редактируемых 3D-моделей в формате .obj из фотографий реальных объектов, снятых на камеру смартфона [4].

Лазерный 3D-сканер – это измерительный прибор с оптической системой, основанной на лазерном луче, и встроенным программным обеспечением, которое анализирует форму, материал и цвет исследуемого объекта или пространства. В результате создаётся трёхмерное облако точек с координатами x, y, z, включающее от тысяч до миллиардов измеренных единиц. Объект обычно сканируется с нескольких пунктов обзора согласно заранее разработанному плану. Пользователь может настроить на сканере такие параметры, как границы поля измерения, плотность и расстояние между соседними точками.

Процесс обработки информации о геометрических параметрах объекта, полученной после его 3D-сканирования, и подготовка модели для 3D-печати включает несколько этапов:

– загрузка облака точек, сборка сканов, устранение помех и разрежений;

– создание 3D-модели на основе трансформированных точек: определение контуров для построения чертежа или создание трёхмерной модели объекта;

– редактирование и оптимизация готовой модели для улучшения её качества.

Для преобразования результатов сканирования в завершённую 3D-модель используются такие программы, как Blender, AutoCAD, ZBrush, MeshLab, Fusion 360 и Rhinoceros, которая является удобным инструментом для конвертации файлов. После создания 3D-модели файл обычно экспортируется в формат .stl – наиболее распространённый и поддерживаемый 3D-принтерами. Каждый из них имеет собственное программное обеспечение для управления печатью. При подготовке модели к печати можно настроить толщину слоя, степень заполнения, скорость печати и другие параметры, влияющие на качество изготавливаемого изделия.

В 2021-2023 годах исследовательская группа из Университета Кассино и Южного Лацио, итальянского научного центра ENEA и 3-го Римского университета разработала проект H-S3D, направленный на внедрение инновационного подхода к восстановлению архитектурных памятников. Идея проекта заключается в использовании 3D-печати для создания строительных и декоративных элементов, которые будут заполнять архитектурные и/или структурные утраты объекта, необходимые для

его сохранения и функциональности, с учетом принципов обратимости, долговечности и отличимости материалов. В качестве объекта исследования была выбрана одна из самых значимых крепостей X века – Рокка Янула, расположенная в муниципалитете Кассино в Италии (рис. 1).



Рис. 1. Цифровое представление крепости Рокка Янула: *слева* – в ее текущем состоянии с утратами (выполнена обработка фотограмметрической съемки с дрона); *справа* – в возможном состоянии после реконструкции с добавлением 3D-печатных элементов (текстурированная модель) [5]

Первая область применения проекта H-S3D рассматривает элементы для частичной реконструкции стен из регулярной кладки, которые могут быть использованы для восстановления полной или частичной функциональности древнего сооружения. Следующий уровень связан с реконструкцией декоративных элементов, таких как карнизы, орнаменты исторических зданий или зубцы на крепостных стенах. При необходимости 3D-элементы могут быть оснащены датчиками для постоянного мониторинга состояния памятников после реставрации [5].

Восстановление исторических фасадов часто требует нестандартных решений. Реставрация часовни Энни Пфайффер, построенной в 1941 году во Флориде по проекту Фрэнка Ллойда Райта, была реализована с применением 3D-печати под руководством архитектора Джеффа Бейкера из бюро Mesick Cohen Wilson Baker Architects в 2009 году. Износившиеся оригинальные текстурные блоки с разноцветными стеклянными вставками на западном фасаде удалось заменить идентичными копиями. Принтеры Rostock Max V2 и Makerbot Replicator 2 были задействованы для создания форм с узорами и перфорацией из АБС-пластика. Традиционный бетон с добавлением ракушечного известняка заливался в напечатанные пластиковые опалубки и затвердевал в них, принимая нужную

конфигурацию и текстуру. Все 6 000 декоративных блоков с 46 уникальными орнаментами были изготовлены и собраны в цельную конструкцию фасада. Перед отливкой в формы укладывались заранее подготовленные стеклянные плитки разных цветов, чтобы они закрепились в монолите. В результате свет, проходя через эти вставки, создаёт эффект игры оттенков и усиливает художественную выразительность фасада, задуманного Фрэнком Ллойдом Райтом [6, 7].

Осенью 2018 года итальянская компания Sismaitalia успешно применила технологию 3D-печати для реставрации фасада Дворца Спада в Ферраре, построенного в 1800 году (рис. 2).

а)



б)



в)



Рис. 2. Дворец Спада в Ферраре: *а* – оригинальные капители; *б* – пять капителей, созданные в натуральную величину с использованием 3D-принтера Massivit 1800; *в* – фрагмент отреставрированного фасада с новыми капителями [8]

Фасадные капители, составляющие важную часть французского балкона и пришедшие в негодность, были заменены на точные копии, напечатанные на 3D-принтере Massivit 1800. Принтер использует специальный

акриловый гель Dimengel – фотополимер, который затвердевает под воздействием ультрафиолетового излучения. 3D-модели для печати разрабатывались с использованием фотограмметрии, основанной на анализе изображений оригинальных элементов. Пять капителей были изготовлены за 20 часов в двух размерах: две – высотой 480 мм, длиной 430 мм и толщиной 215 мм, и три – высотой 790 мм, длиной 790 мм и толщиной 215 мм. Новые капители представляют собой лёгкие пустотелые структуры, усиленные пенополиуретаном для поддержания веса балкона. После заполнения каждая капитель была отделана штукатуркой и окрашена в цвет оригинала, что обеспечило максимальное сходство с историческими деталями [8].

Заключение. Сочетание традиционных технологий и современных цифровых инструментов оптимизирует процесс архитектурной реставрации, повышая точность воссоздаваемых элементов, сокращая сроки работ и снижая трудозатраты. Успешные примеры применения 3D-сканирования и 3D-печати подтверждают их эффективность и перспективность для восстановления архитектурного наследия.

Литература

1. *Романов А.С., Захарова Г.Б.* Методы и средства разработки цифровых двойников исторических зданий // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: мат-лы VII Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб. : СПбГАСУ, 2024. С. 144–152. DOI: 10.23968/BIMAC.2024.020. EDN: QPXVAD.

2. *Nex F., Rinaudo F.* LiDAR or Photogrammetry? Integration is the answer // Italian Journal of Remote Sensing. 2011. Vol. 43. P. 107–121. DOI: 10.5721/ItJRS20114328.

3. Shining 3D. FreeScan Trio – Handheld 3D Laser Scanner. URL: https://www.shining3d.com/metrology-solutions/laser-handheld-3d-scanner/freescan-trio (дата обращения: 06.02.2025).

4. KIRI Engine. Photo Scan Mode. URL: https://kiriengine.app/blog/explained/photo-scan-mode (дата обращения: 06.02.2025).

5. *Caponero M., Imbimbo M., Pelliccio A., Graziani A., Marfia S.* Il progetto H-S3D: elementi intelligenti in stampa 3D // ENEA Magazine. 2022. No. 1. P. 104–106. DOI: 10.12910/EAI2022-030.

6. *Han G.* 3D printing rescues Frank Lloyd Wright's Annie Pfeiffer Chapel. 2014. URL: https://design-milk.com/3d-printing-rescuing-frank-lloyd-wrights-annie-pfeiffer-chapel/ (дата обращения: 06.02.2025).

7. *Komarova M.* Integrazione della scansione 3D e della stampa 3D nel restauro dei beni architettonici // Workshop "3D Modeling & BIM. Applicazioni e possibili futuri sviluppi". Roma: Tipografia del Genio Civile, 2016. P. 469–480.

8. *Wooten J.* History brought to life: nineteenth century Palace restored using Massivit 3D printing. 2018. URL: https://www.signshop.com/dimensional/architectural/history-restored-massivit-3d-printing (дата обращения: 06.02.2025).

УДК 004.925.8
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.018

Конопацкий Евгений Викторович, д-р техн. наук, директор института
(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
Чучмар Никита Дмитриевич, ассистент
(Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет)
E-mail: ntchuchmar@yandex.ru

Konopatskiy Evgeniy Viktorovich, Dr. Sci. Tech., Institute Director
(Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering)
Bezsolnov Maxim Vladimirovich, assistant lecturer
(Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering)
Chuchmar Nikita Dmitrievich, assistant lecturer
(Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering)

ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ФОРМАТЕ IFC

GEOMETRIC REPRESENTATION OF ELEMENTS OF BUILDING STRUCTURES IN IFC FORMAT

Выполнен анализ существующих геометрических представлений элементов строительных конструкций в формате IFC, в результате которого установлено, что несмотря на эволюцию формата IFC, неизменным остаётся взятый за основу формат твердотельного моделирования STEP, включающий следующие геометрические представления: CSG primitive, Extruded solid, BRep model, Surface model и Tessellated item. Выполнено сравнение геометрических представлений BRep и SweptSolid по количеству операторов и строк кода, необходимых для представления прямоугольной призмы в формате IFC. Для сокращения их количества предложено использовать новый подход, основанный на использовании точечных уравнений твердотельных моделей геометрических объектов в виде выделенной части трёхмерного пространства, который позволяет в компактной векторной форме и с минимальным количеством геометрических параметров определять положение, форму и внутреннюю структуру пространства.

Ключевые слова: геометрическая модель, геометрическое представление, твердотельная модель, точечное уравнение, элемент конструкции.

The analysis of existing geometrical representations of building structures elements in IFC format is performed, as a result of which it is established that despite the

evolution of IFC format the STEP solid modeling format, which includes the following geometrical representations: CSG primitive, Extruded solid, BRep model, Surface model and Tessellated item, remains unchanged. The comparison of BRep and SweptSolid geometrical representations by the number of operators and code lines required to represent a rectangular prism in IFC format has been performed. To reduce their number, it is proposed to use a new approach based on the use of point equations of solid models of geometric objects in the form of a selected part of three-dimensional space, which allows to determine the position, shape and internal structure of space in a compact vector form and with a minimum number of geometric parameters.

Keywords: geometric model, geometric representation, solid model, point equation, construction element.

Наиболее популярным среди форматов передачи данных между различными BIM-системами является международный формат IFC (Industry Foundation Classes). Его основной задачей было решение проблемы функциональной совместимости (интероперабельности), которая уже много лет существует в САПР. Вместе с тем, несмотря на 30-летнюю историю существования формата IFC [1] эта проблема по-прежнему является актуальной, что подтверждается значительным массивом отечественных и зарубежных исследований, примерами которых могут служить работы [2–4]. Другая проблема заключается в том, что для представления крупного проекта, к примеру цифрового двойника района города, требуются значительные вычислительные мощности [5]. На наш взгляд, поиск решения подобных проблем стоит искать в геометрическом представлении элементов строительных конструкций и его аналитическом описании в различных системах автоматизированного проектирования и информационного моделирования.

История становления и развития формата IFC началась в 1995 году, когда был сформирован International Alliance for Interoperability [1], с целью разработки обменного формата для различных САПР. Основная задача заключалась в том, чтобы разрабатываемый формат был открытым и доступным, отсюда и появилась организация с открытым членством, позже, в 2008 году переименованная в buildingSMART. Из-за ограниченных сроков разработки первой версии за основу был взят формат STEP (Standard for the Exchange of Product model data). На сегодняшний день в разработке находится уже 5-е поколение IFC стандарта[1]. Но основными изменениями при генерации новых версий стандартов являлось расширение охватываемой индустрии, внедрение новых семантических

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

показателей, классифицирование и стандартизация процессов дерева IFC (табл. 1).

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
2x3	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

Как видно из табл. 1, с каждой новой версией добавляются новые геометрические представления и совершенствуются существующие, но один ключевой фактор остается неизменным – это взятый за основу формат твердотельного моделирования STEP.

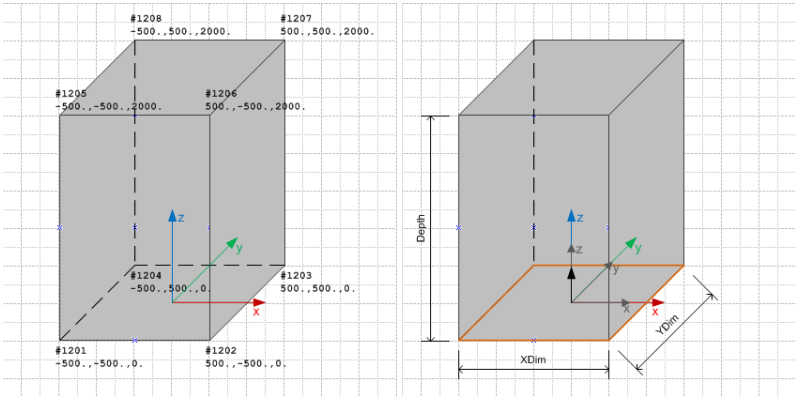
В соответствии с документацией buildingSMART[1], IFC формат поддерживает следующие геометрические представления: CSG primitive, Extruded solid, BRep model, Surface model и Tessellated item. Наибольшее распространение получили Extruded и BRep, благодаря своей простоте, точности и возможностям интероперабельности.

Параметрическим является только SweptSolid, который позволяет не только передавать информацию, но и получать и редактировать данные, что является приоритетным в вопросе интероперабельности между различными САПР. Но из-за отсутствия возможностей представить в параметрическом виде твердотельные модели сложной формы (сложнее, чем выдавленный профиль по траектории) самым популярным геометрическим представлением в сфере BIM-моделирования был и остаётся BRep.

Рассмотрим пример описания геометрии прямоугольной призмы в формате BRep в формате IFC. На рис. 1, *а* представлена визуализация

[1] IFC Specifications Database. URL: https://standards.buildingsmart.org/IFC/DEV/IFC4_2/FINAL/HTML/link/annex-e.htm/ (дата обращения: 20.01.2025).

модели, а также подписаны координаты вершин, ниже – порядок описания этой геометрии в файле IFC версии 4x3.



а) *б*)

Рис. 1. Описываемый объект в формате IFC4x3:
а – в представлении BRep; *б* – в представлении SweptSolid

```
#1010= IFCPRODUCTDEFINITIONSHAPE($,$,(#1020));
#1020= IFCSHAPEREPRESENTATION(#202,'Body','Brep',(#1021));
#1021= IFCFACETEDBREP (#1022);
#1022= IFCCLOSEDSHELL ((#1110, #1120, #1130, #1140, #1150,
#1160));
#1110= IFCFACE((#1111));
#1111= IFCFACEOUTERBOUND(#1112,.T.);
#1112= IFCPOLYLOOP((#1201,#1202,#1206,#1205));
#1120= IFCFACE((#1121));
#1121= IFCFACEOUTERBOUND(#1122,.T.);
#1122= IFCPOLYLOOP((#1206,#1202,#1203,#1207));
#1130= IFCFACE((#1131));
#1131= IFCFACEOUTERBOUND(#1132,.T.);
#1132= IFCPOLYLOOP((#1207,#1203,#1204,#1208));
#1140= IFCFACE((#1141));
#1141= IFCFACEOUTERBOUND(#1142,.T.);
#1142= IFCPOLYLOOP((#1208,#1204,#1201,#1205));
#1150= IFCFACE((#1151));
#1151= IFCFACEOUTERBOUND(#1152,.T.);
#1152= IFCPOLYLOOP((#1201,#1204,#1203,#1202));
#1160= IFCFACE((#1161));
#1161= IFCFACEOUTERBOUND(#1162,.T.);
#1162= IFCPOLYLOOP((#1206,#1207,#1208,#1205));
```

```
#1201= IFCCARTESIANPOINT((-500.,-500.,0.));
#1202= IFCCARTESIANPOINT((500.,-500.,0.));
#1203= IFCCARTESIANPOINT((500.,500.,0.));
#1204= IFCCARTESIANPOINT((-500.,500.,0.));
#1205= IFCCARTESIANPOINT((-500.,-500.,2000.));
#1206= IFCCARTESIANPOINT((500.,-500.,2000.));
#1207= IFCCARTESIANPOINT((500.,500.,2000.));
#1208= IFCCARTESIANPOINT((-500.,500.,2000.));
```

Как видно из кода, для описания такого простого геометрического тела необходимо знать координаты каждой вершины. Далее эти вершины необходимо объединить в полилинии, из которых впоследствии будут организованы поверхности. После чего эти поверхности нужно объединить в замкнутую оболочку. Таким образом, для описания такого тела понадобится 30 строк кода или 8 точек, 6 полилиний, 6 поверхностей 1 замкнутая оболочка, итого 21 параметр.

Теперь рассмотрим это же тело, но уже в геометрическом представлении SweptSolid (рис. 1, *б*):

```
#1020=
IFCSHAPEREPRESENTATION(#202,'Body','SweptSolid',(#1021));
#1021= IFCEXTRUDEDAREASOLID(#1022,$,#1034,2000.);
#1022= IFCRECTANGLEPROFILEDEF(.AREA.,'1m x 1m
rectangle',$,1000.,1000.);
#1034= IFCDIRECTION((0.,0.,1.));
```

Для описания такого объекта понадобилось в 5 раз меньше строчек кода, или же 3 параметра: длина, ширина и высота. Начиная с версий 2x, в IFC добавлялись операторы профилей, наиболее используемых в проектировании, исключая необходимость описывать координаты точек и образование замкнутой полилинии (профиля) выдавливаемой фигуры. Это применимо в случае типового профиля. Если же рассматривать данную фигуру как общий объект выдавливания, то появятся ещё дополнительные параметры в виде координат 4 точек вершин основания и 1 полилиния, необходимые для сохранения параметризации, тем самым мы сможем передать данное тело в другую САПР и продолжить работу с ним, что невозможно в случае с BRep.

Альтернативой описанным методам служит предложенный в работах [6, 7] подход к твердотельному моделированию геометрических объектов в виде выделенной части трёхмерного пространства. При таком подходе параметризованные геометрические объекты описываются точечными уравнениями с помощью координатных векторов, которые содержат в наиболее компактной форме информацию о форме, положении и внутренней структуре пространства объекта.

Например, точечное уравнение тела рассматриваемой призмы описывается в трехмерном пространстве с помощью 4-координатных векторов A, B, C, D:

$$M = Au + Bv + Cw + D(1 - u - v - w), \quad (1)$$

где M – текущая точка, которая своим движением заполняет трехмерное пространство формируя твердотельную модель призмы; u, v, w – текущие параметры, которые изменяются от 0 до 1.

При таком подходе твердотельная модель призмы может быть описана с помощью одного оператора, соответствующего точечному уравнению (1), и 12 координат точек – вершин призмы $ABCD$. При этом не составляет труда вычислительно перейти к представлениям BRep и SweptSolid, которые являются частным случаем предложенного подхода. Исходя из этого, предложенный математический аппарат можно использовать для разработки нового формата хранения и передачи геометрической информации в САПР.

Благодарности

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

Литература

1. *Laakso M., Kiviniemi A.* The IFC Standard – A Review of History, Development, and Standardization // Journal of Information Technology in Construction. 2012. Vol. 17. P. 134-161.

2. *Семенов В.А., Аришин С.В.* Новый файловый формат для обеспечения интероперабельности BIM-приложений на основе журнализации транзакций с IFC данными // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: мат-лы IV Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб. : СПбГАСУ, 2021. С. 377–384. DOI: 10.23968/BIMAC.2021.047. EDN: HSOROQ.

3. *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. научно-практ. конф. СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023. С. 678–682. DOI: 10.18720/IEP/2023.4/202. EDN: HINXRM.

4. *Yu Y., Kim S., Jeon H., Koo B.* A Systematic Review of the Trends and Advances in IFC Schema Extensions for BIM Interoperability // Applied Sciences (Switzerland). 2023. Vol. 13, No. 23. P. 12560. DOI: 10.3390/app132312560. EDN: CNTUKY.

5. *Noardo F., Krijnen T., Arroyo Ohori K. et al.* Reference study of IFC software support: The GeoBIM benchmark 2019–Part I // Transactions in GIS. 2021. Vol. 25, No. 2. P. 805–841. DOI: 10.1111/tgis.12709. EDN: UYNGSL.

6. *Конопацкий Е.В.* Концепция разработки высокопроизводительных отечественных ТИМ нового поколения // Информационное моделирование в задачах строительства и архитектуры: мат-лы VII Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб. : 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 твердотельному 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 72.017.4
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.019

Максимова Светлана Валентиновна, д-р техн. наук, профессор
(Пермский национальный исследовательский политехнический университет)
E-mail: svetlana-maximova@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-3216-8732
Райзих Екатерина Викторовна, аспирант
(Пермский национальный исследовательский политехнический университет)
E-mail: 34hotter@mail.ru, ORCID: 0009-0008-6017-907X
Семина Анастасия Евгеньевна, канд. архит., доцент
(Пермский национальный исследовательский политехнический университет)
E-mail: semina.ae@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-7786-5526

Maximova Svetlana Valentinovna, Dr. Sci. Tech., Professor
(Perm National Research Polytechnic University)
Raizikh Ekaterina Viktorovna, postgraduate student
(Perm National Research Polytechnic University)
Semina Anastasia Evgenievna, PhD in Arch., Associate Professor
(Perm National Research Polytechnic University)

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСНОВНОГО ЦВЕТА ФАСАДА ЗДАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

METHOD FOR DETERMINING THE PRIMARY COLOR OF A BUILDING FACADE USING NEURAL NETWORKS

Определение колористики архитектурно-градостроительной среды способствует созданию комфортной городской среды. В статье предложен общий подход к цветовому анализу города, основанный на определении основного цвета фасада и использовании методов глубокого обучения. Предложенный подход позволит автоматизировать процесс, повышая точность и скорость анализа, а также позволит расширить территорию исследования от отдельных зданий и кварталов до масштаба всего города. Результат работы предложенных алгоритмов – цветовые карты городов, полезные для планирования, реставрации и определения общей цветовой схемы. Применение такого подхода показано в статье на примере тематического исследования территории города Перми по картографированию цвета города, состоящего из натурных наблюдений и обработки изображений. Обработка включала выделение фасадов с помощью модели Segment Anything Model и определение основных цветов с помощью gradients.app.

Ключевые слова: городское цветовое планирование, цвет городского фасада, колористика, нейронные сети, методы глубокого обучения, Пермь.

Determining the coloristics of architectural and urban environment contributes to the creation of a comfortable urban environment. The article proposes a general approach

to the color analysis of the city, based on the definition of the main color of the facade and the use of deep learning methods. The proposed approach will automate the process, increasing the accuracy and speed of analysis, and will allow to expand the territory of the study from individual buildings and neighborhoods to the scale of the entire city. The result of the proposed algorithms are color maps of cities, useful for planning, restoration and determining the overall color scheme. The application of this approach is shown in the article on the example of a case study of the territory of the city of Perm on mapping the city color, consisting of field observations and image processing. The processing included the selection of facades using the Segment Anything Model and the definition of primary colors using gradients.app.

Keywords: urban color planning, color of urban facade, coloristics, neural networks, deep learning methods, Perm.

С ростом требований к качеству городской среды возрастает и потребность в масштабных и актуальных исследованиях архитектурного пространства города. Одной из ключевых целей национального проекта «Жилье и городская среда»[1] является улучшение качества городской среды. Являясь важнейшей составляющей пространства для жизни, цвет создает гармоничное художественно-эстетическое восприятия среды, что влияет на эмоции и поведение жителей [1].

Анализ визуальных характеристик среды способствует качественному планированию и проектированию городского пространства [2]. Традиционное определение цвета городских фасадов в основном осуществляется путем полевых исследований с использованием цветовых карт или спектрофотометрических приборов. Цветовое планирование может быть эффективно осуществлено на уровне квартала, в рамках одного проекта, но его трудно реализовать на уровне города. Решение вопросов колористики архитектурной среды в масштабе города – трудоемкий, требующий значительных затрат по времени процесс обработки большого количества разнородной информации о состоянии фасадов застройки.

Нейронные сети – эффективный инструмент для решения задач, касающихся обработки больших данных, в том числе и графических. Предобученные нейронные сети позволяют решать комплексные задачи архитектуры и строительства. С помощью глубокого обучения и нейросетей решаются многие задачи компьютерного зрения: обнаружение объектов, классификация, распознавание, генерация изображений, сегментация.

В ряде работ исследователей из Китая предложен метод глубокого обучения для обработки снимков улиц в целях определения цвета

[1] Жилье и городская среда. URL: https://национальныепроекты.рф/projects/zhile-i-gorodskaya-sreda/

городских фасадов [3, 4]. Результаты показали, что предложенный метод обладает высокой точностью при выделении доминирующего цвета фасада здания, что доказывает эффективность использования методов глубокого обучения при анализе колористики города при необходимости получать точные данные о цвете.

Цель данной работы – разработка метода для цветового анализа города с применением методов глубокого обучения. На примере архитектурно-градостроительной среды города Перми представлена часть тематического исследования по картографированию цвета города.

На рис. 1 представлена структура исследования, отображающая подход к изучению городской колористики с применением методов глубокого обучения и нейронных сетей. Процесс получения основного цвета фасада состоит из нескольких этапов. Первый этап – сбор данных, а именно получение изображений улиц. Источники изображений включают аэрофотосъемку дронами, спутниковые снимки, данные городских камер видеонаблюдения и панорамы из сервисов, таких как Яндекс.Карты.

Второй шаг – предварительная обработка изображения. Для улучшения качества снимка и удаления нежелательных элементов в этап предварительной обработки фасадов входит привязка изображения к географическим координатам, устранение перспективных искажений, повышение чистоты изображения, разделение изображения на отдельные объекты, приведение изображения к стандартному размеру и ориентации, извлечение фасада здания.



Рис. 1. Блок-схема определения основного цвета фасада

Извлечение области изображения, соответствующей фасаду здания, из фотографии города – это задача сегментации изображений, решаемая методами компьютерного зрения. Сегодня уже существуют разные нейронные сети с открытым кодом, позволяющие быстро сегментировать

изображение: Segment Anything Model, Sefexa, SegNet, и др. Сложность задачи зависит от качества фотографии, архитектуры здания, наличия препятствий (деревья, другие здания) и освещения.

Третий этап – выделение основного цвета фасада здания. Для определения основного цвета применяется метод k-средних – наиболее популярный алгоритм кластеризации, который заключается в группировке пикселей изображения в k-кластеры. Применение этого метода позволяет учитывать распределение цветов и нивелирует шум на изображениях с недостаточным разрешением. Полученные цветовые гистограммы представляют собой графическое отображение частоты появления каждого цвета или диапазона цветов в изображении.

Далее представлена часть тематического исследования территории Перми по картографированию цвета города. На первом этапе работы с помощью нейронных сетей выделен основной цвет фасада здания. На рис. 2, *а* представлена схема, иллюстрирующая процесс выделения основного цвета фасада здания из фотоснимков города. Схема состоит из трех частей, включая натурные исследования (рис. 2, *б*), выделение изображений по группам (рис. 2, *в*), выделение фасада здания с помощью модели Segment Anything Model (рис. 2, *г*) и выделение основных цветов фасада здания (рис. 2, *д*).

Фотоснимки городских улиц подбирались по результатам натурных исследований. Изображения получены цифровым зеркальным фотоаппаратом Canon EOS 550D. Пример фотографии показан на рис. 2, *б*. При выборе изображений важно учитывать факторы, которые затрудняют точное определение цвета: плохое освещение и наличие облачности при фотофиксации, низкое разрешение изображения, сложные архитектурные детали фасада здания, неоднородные текстуры и тени.

Для отделения фасада здания от фона изображения применена нейронная сеть Segment Anything Model (SAM), позволяющая сегментировать изображение в один клик. SAM – универсальная базовая модель для сегментации различных объектов и областей на изображениях, способна на одном изображении сегментировать сразу множество объектов [5]. SAM обучена на датасете SA-1B, содержащем 11 миллионов картинок и более одного миллиарда масок (рис. 3).

Семантическая модель сегментации изображения разделила фото на несколько сегментов (рис. 2, *в*). Затем изображение фасада здания извлечено с помощью сегментированной границы (рис. 2, *г*). Далее извлеченные изображения фасадов загружены в программный продукт gradients.app для получения основных цветов снимка, используя цветовую систему отображения цветов RGB.

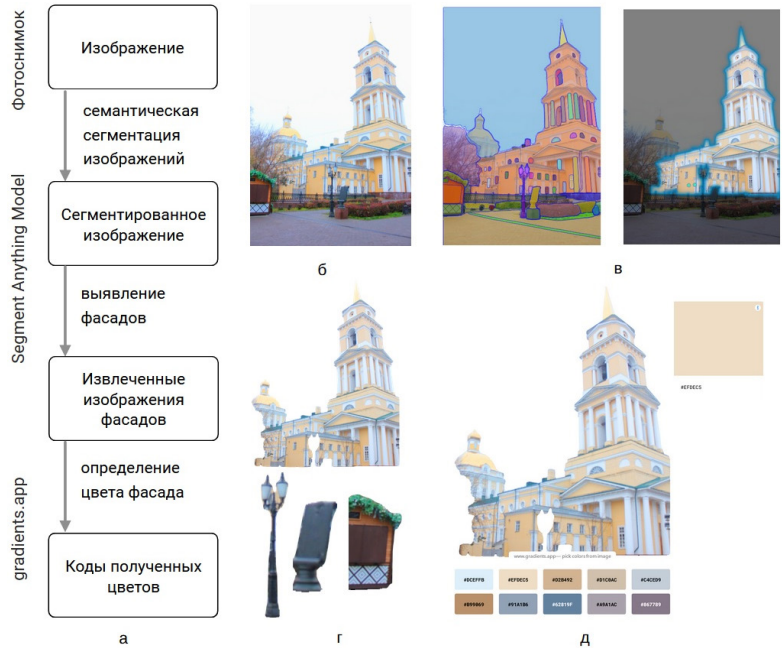


Рис. 2. Иллюстрация выделения основного цвета фасада из фотоснимков с помощью нейронных сетей: *а* – схема процесса выделения основного цвета фасада здания из фотоснимков города; *б* – пример изображения; *в* – результаты семантической сегментации изображения; *г* – результаты извлечения изображения элементов; *д* – результат получения основного цвета фасада здания



а) *б*)

Рис. 3. *а* – изображения из базы данных датасет SA-1B; *б* – сегментированные изображения[1]

[1] URL: https://segment-anything.com/dataset/index.html

Полученный цвет фасада здания в дальнейшем можно использовать для создания цветовой карты города, для планирования городских пространств, для реставрации и реконструкции здания, для определения цветовой схемы города.

Технологии искусственного интеллекта и глубокое обучение значительно повысили точность и скорость определения цвета фасадов по сравнению с традиционными методами. Кроме того, появляется возможность масштабирования территории исследования до размеров большого города. Использование нейронных сетей позволяет достичь высокой точности определения цвета и исключает субъективность, присущую ручным методам оценки.

Представленный метод определения основного цвета фасада здания с применением нейронных сетей представляет собой значительный шаг вперед в области автоматизированного анализа городской среды.

Литература

1. *Ахметова А.Ш., Гончарова Н.В.* Колористические решения городской среды. Функциональное и эстетическое значение // Новые идеи нового века : мат-лы Междунар. научной конф. ФАД ТОГУ. Хабаровск : ТОГУ, 2020. Т. 3. С. 13–18. EDN: XTDWSE.

2. *Мельник У.В.* Цвет в дизайне городской среды // Вестник славянских культур. 2013. № 4(30). С. 86–90. EDN RPVBYV.

3. *Zhong T., Ye C., Wang Z., Tang G., Zhang W., Ye Y.* City-Scale Mapping of Urban Façade Color Using Street-View Imagery // Remote Sensing. 2021. Vol. 13, No. 8. P. 1591. DOI: 10.3390/rs13081591. EDN: XWYNAA.

4. *Zhuang Y., Guo C.* City Architectural Color Recognition Based on Deep Learning and Pattern Recognition // Applied Sciences (Switzerland). 2023. Vol. 13, No. 20. P. 11575. DOI: 10.3390/app132011575. EDN: PCVBMT.

5. *Chang Y., Mukai N.* Color Feature Based Dominant Color Extraction // IEEE Access. 2022. Vol. 10. P. 93055–93061. DOI: 10.1109/access.2022.3202632. EDN: GBSTPO.

УДК 004.6
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.020

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
Шуткин Василий Николаевич, научный сотрудник
(Институт системного программирования им. В.П. Иванникова РАН)
E-mail: v451ly@ispras.ru, ORCID: 0000-0002-9238-5029
Гринченко Александр Иванович, аспирант
(Институт системного программирования им. В.П. Иванникова РАН)
E-mail: mr.algrin@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9475-5177

Morozov Sergey Vyacheslavovich, PhD in Sci. Phys.-Math., leading research worker
(Ivannikov Institute for System Programming of the Russian Academy of Sciences,
M.V. Lomonosov Moscow State University,
Moscow Institute of Physics and Technology)
Shutkin Vasily Nikolaevich, research worker
(Ivannikov Institute for System Programming of the Russian Academy of Sciences)
Grinchenko Alexander Ivanovich, postgraduate student
(Ivannikov Institute for System Programming of the Russian Academy of Sciences)

ОТКРЫТЫЕ СЕРВИСЫ ВЕРИФИКАЦИИ И ВАЛИДАЦИИ ЦИФРОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ В АРХИТЕКТУРЕ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ

OPEN SERVICES FOR VERIFICATION AND VALIDATION OF DIGITAL INFORMATION MODELS IN ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION

Объявленный переход к машиночитаемым и машинно-интерпретируемым форматам в архитектурно-строительном комплексе РФ имеет целью повышение качества проектной документации за счет формализации, автоматизации и интеллектуализации процедур проверок цифровых информационных моделей зданий и сооружений. Предпринимаемые отдельными организациями и компаниями попытки создания каталогов требований и соответствующих программных инструментов для их ведения и использования, как правило, носят частный, несистемный характер и не отвечают важнейшим и общепринятым принципам системной инженерии и инженерии требований. В статье рассматриваются разработанные в ИСП РАН открытые web-сервисы для комплексного решения задач цифровизации требований, которые отвечают всем вышеупомянутым принципам инженерии

требований и обеспечивают необходимую строгость спецификаций требований и достоверность результатов проверки ЦИМ за счет применения формальных методов.

Ключевые слова: IFC, IDS, BCF, управление требованиями, управление замечаниями.

The declared transition to machine-readable and machine-interpretable formats in the architectural and construction complex of the Russian Federation is aimed at improving the quality of design documentation through formalization, automation and intellectualization of procedures for checking digital information models of buildings and constructions. Attempts undertaken by individual organizations and companies to create catalogs of requirements and corresponding software tools for their maintenance and use usually have a private, non-systemic nature and do not meet the most important and generally acknowledged principles of systems engineering and requirements engineering. The paper discusses open web services developed at the ISP RAS for a comprehensive solution of the problems of requirement digitalization, which meet all the mentioned above principles of requirements engineering and ensure the necessary strictness of requirement specifications and the trustworthiness of the digital information models' verification results using formal methods.

Keywords: IFC, IDS, BCF, requirements management, issue management.

Объявленный переход к машиночитаемым и машинно-интерпретируемым форматам в архитектурно-строительном комплексе РФ имеет целью повышение качества проектной документации за счет формализации, автоматизации и интеллектуализации процедур проверок цифровых информационных моделей зданий и сооружений (ЦИМ). Однако его практическое воплощение сталкивается с серьезными методологическими проблемами, связанными с отсутствием единой общепринятой концепции ЦИМ и неопределенностью с переводом норм и сводов правил строительной отрасли в представление, которое бы допускало возможность непосредственной интерпретации и исполнения проверок ЦИМ [1]. Предпринимаемые отдельными организациями и компаниями попытки создания каталогов требований и соответствующих программных инструментов для их ведения и использования, как правило, носят частный, несистемный характер и не отвечают важнейшим и общепринятым принципам системной инженерии и инженерии требований [2]. Ключевыми из них являются принципы полноты, абстрактности, согласованности и взаимосвязанности спецификаций требований, а также однозначности, достоверности и прослеживаемости результатов проверок.

На наш взгляд, цифровизация требований в архитектурно-строительном комплексе РФ в соответствии с вышеперечисленными принципами невозможна без использования открытых стандартов информационного

моделирования и формальных методов спецификации и верификации [3]. Наиболее перспективным, в связи с этим, видится применение открытых международных стандартов openBIM [4], ключевыми из которых являются спецификация схемы ЦИМ Industry Foundation Classes (IFC), стандарт описания требований к ЦИМ Information Delivery Specification (IDS), формат и интерфейс журналов замечаний BIM Collaboration Format (BCF), словарь терминов и сервис buidlingSMART Data Dictionary (bSDD). Процесс верификации и валидации ЦИМ с использованием данных стандартов показан на рис. 1.

Поддержка открытых международных стандартов и реализация реальной, а не декларируемой функциональной совместимости (интероперабельности) программных приложений способствуют развитию национальной экосистемы программного обеспечения (ПО) ТИМ и ее формированию как неотъемлемой части международной. Для конечных пользователей использование открытых стандартов означает, прежде всего, свободу выбора и возможность применения наилучших программных инструментов от разных производителей, как российских, так и зарубежных. В настоящий момент экосистема ПО openBIM довольно развита. Согласно реестру buildingSMART она охватывает более 340 программных приложений самой разной функциональности [5]. Тем самым, реализация открытых стандартов в российском ПО ТИМ не только обеспечивает технологический суверенитет, но и препятствует технологической изоляции. Для российских компаний это еще и возможности экономии огромных средств на интеграцию ПО, а также выхода на международные рынки.

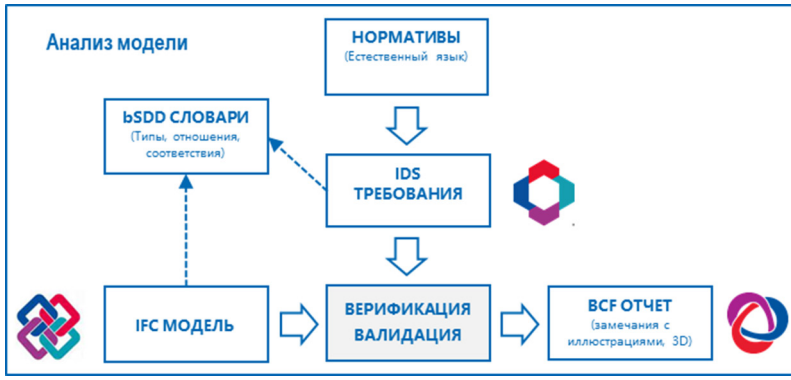


Рис. 1. Верификация и валидация ЦИМ с использованием стандартов openBIM

Проект создания открытых, общедоступных для российского ТИМ сообщества web-сервисов, реализуемый в Институте системного программирования РАН (ИСП РАН), направлен на комплексное решение проблем цифровизации в архитектурно-строительном комплексе РФ на основе применения открытых информационных стандартов. Разработанные на сегодняшний день сервисы предназначены для комплексного решения задач цифровизации требований, включая спецификацию требований с использованием стандарта IDS, верификацию и валидацию ЦИМ, определяемых стандартом IFC, а также управление замечаниями, представленными в соответствии со стандартом BCF. В настоящее время поддерживаются актуальные версии стандартов IFC 2x3, IFC 4, IFC 4.3, IDS 1.0 и BCF 3.0.

Разработанные сервисы отвечают всем вышеупомянутым принципам инженерии требований и обеспечивают необходимую строгость спецификаций требований и достоверность результатов проверки ЦИМ за счет применения формальных методов. Поддержка открытых стандартов openBIM имеет решающее значение, поскольку позволяет снизить риски, присущие закрытым разработкам и программным продуктам, и консолидировать ТИМ сообщество в результате применения единого стека стандартов и технологий.

Сервис редактирования машинно-интерпретируемых требований[1] [6] предназначен для просмотра, модификации и документирования формализованных требований, представленных в соответствии с открытыми стандартами IFC и IDS. Графический интерфейс Web-редактора с наглядной текстовой нотацией и справочной системой обеспечивает полнофункциональную поддержку актуальных версий стандартов IDS и IFC, просмотр, добавление, удаление и редактирование спецификаций требований, их проверку на соответствие стандарту IDS и заданным IFC схемам при загрузке и в процессе редактирования (рис. 2).

Поскольку составление формализованных правил предполагает наличие глубоких знаний схемы IFC, усвоение которых обычно вызывает трудности даже у квалифицированных специалистов, важным свойством редактора требований и его неоспоримым преимуществом является поддержка развитой контекстной помощи по применяемым схемам IFC. В редакторе предусматривается выбор названий типов данных, определенных схемой IFC, а также предопределенных типов элементов, атрибутов, стандартных материалов и наборов свойств из предлагаемого списка или

[1] Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024669861.

иерархии. Средства редактирования с контекстной помощью не только обеспечивают быстрый ввод верных названий и простоту использования для широкого круга пользователей, но и гарантируют корректность спецификации требований и ее согласованность со схемой IFC. Еще одним из важных преимуществ сервиса редактирования требований является обеспечение увязки требований с рядом отечественных систем классификации, включая КСИ [7].

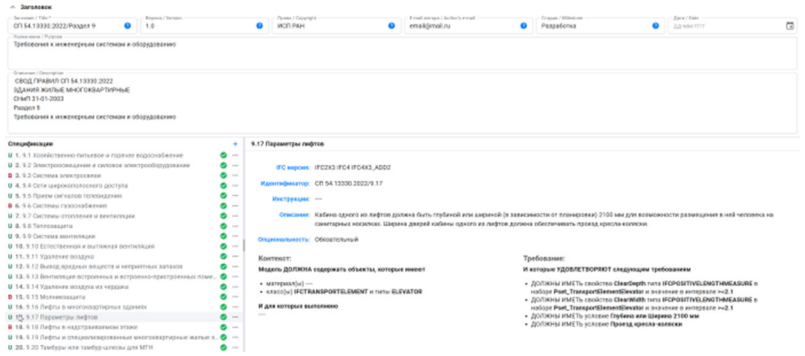


Рис. 2. Снимок главного окна редактора требований

Сервис верификации[1] предназначен для проверки ЦИМ, представленных стандартом IFC, на соответствие синтаксису файлового формата SPF (STEP Physical File – ISO 10303-21:2016) и семантике формальной схемы IFC, специфицированной на языке объектно-ориентированного моделирования EXPRESS (ISO 10303-11:2004). Сервис выполняет полную и математически строгую проверку ссылочной целостности файловых данных модели и обеспечивает контроль типов объектов, количества и типов атрибутов объекта, обязательных и опциональных атрибутов, ограничений длин символьных и бинарных строк, размеров коллекций, обязательных и опциональных элементов коллекций, уникальности элементов коллекций, являющихся множествами, размеров и состава коллекций, являющихся обратными атрибутами, правил для областей значений простых типов данных, правил согласованности атрибутов объектов, правил уникальности атрибутов объектов, глобальных правил согласованности объектных экстентов. Выявленные ошибки журнализируются и отправляются на электронную почту зарегистрированного пользователя в виде

[1] Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023667675.

HTML отчета с гиперссылками на соответствующие разделы документации IFC стандарта, что способствует пониманию их причины и ускоряет их исправление (рис. 3).

Сервис верификации является доступным инструментом контроля корректности IFC файлов со стороны российских пользователей и разработчиков ПО ТИМ с целью обеспечения реальной, а не декларируемой технической, синтаксической и семантической интероперабельности приложений на уровне BIM Level 3 согласно модели технологической зрелости Бью-Ричардса [8]. Его активное использование будет способствовать формированию единой национальной экосистемы ПО ТИМ.

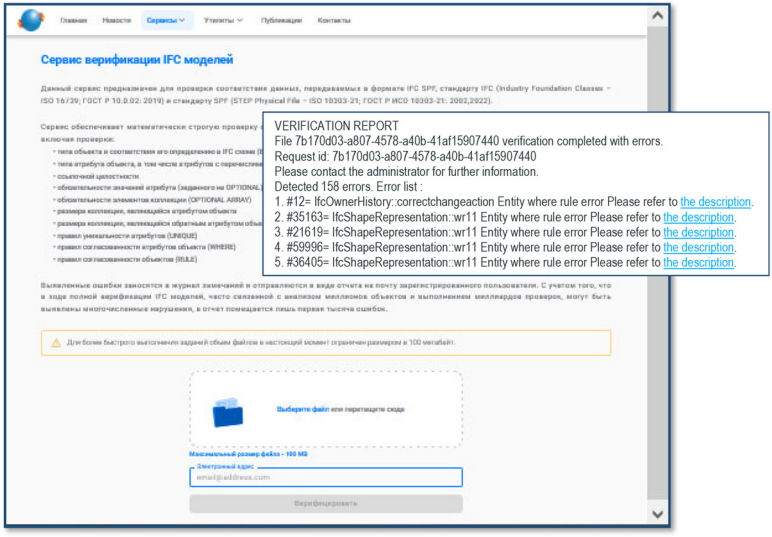


Рис. 3. Снимок окна сервиса верификации с фрагментом выданного отчета

Сервис валидации предназначен для проверки ЦИМ, представленных стандартом IFC, на соответствие требованиям участников проектной деятельности, спецификации которых подготовлены на основе стандарта IDS. Сервис позволяет проконтролировать полноту объектного и атрибутного состава ЦИМ, согласованность элементов ЦИМ, правил именования объектов, наличие отношений композиции между объектами, назначенных свойств, классификаторов и материалов, ожидаемые области значений для атрибутов и свойств. Выявленные сервисом ошибки заносятся

в журнал и отправляются пользователю в виде HTML документа или BCF файла для дальнейшего анализа и просмотра в графических интерактивных инструментах (рис. 4).

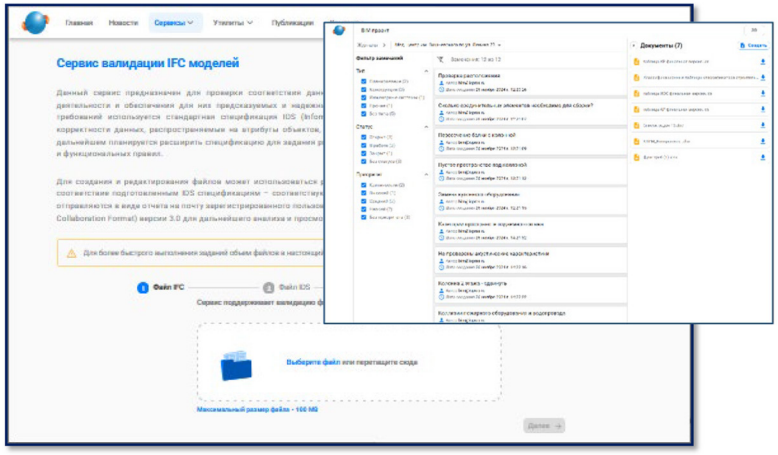


Рис. 4. Снимок окна сервиса валидации с фрагментом выданного отчета

Сервис управления замечаниями предназначен для просмотра и редактирования журналов замечаний, представленных в соответствии с актуальной версией формата BCF 3.0, сгенерированных сервисом валидации ЦИМ или подготовленных в ПО ТИМ третьих сторон. Сервис позволяет просмотреть общий список замечаний, найти требуемое замечание по ключевым словам, типам, статусам, назначенным пользователям. Для выбранного замечания доступна вся информация, предусматриваемая стандартом BCF, включая заголовок, описание, комментарии, ассоциированные с ним документы (при их доступности в случае расположения на внешних источниках), включая изображения. При необходимости выбранное замечание может быть отредактировано путем добавления новых комментариев, смены статуса, прикрепления новых документов и замены ответственного пользователя. При открытии вместе с файлом BCF соответствующей IFC модели сервис обеспечивает интерактивную 3D визуализацию замечаний непосредственно в окне web-браузера. Это осуществляется путем отображения модели с ракурсов, предустановленных в выбранном замечании, и применения предписанных техник отображения к элементам модели, указанным в замечании (рис. 5). При

редактировании замечания в сервисе можно скорректировать список элементов, установить новые точки обзора с графическими или текстовыми пометками в 3D-окне, задать иные техники отображения, а также прикрепить к замечанию сгенерированные изображения.

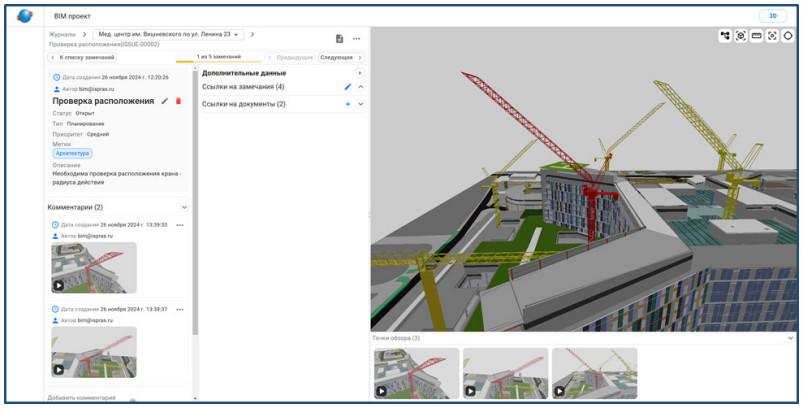


Рис. 5. Снимок окна сервиса управления замечаниями

Поскольку интерактивный рендеринг больших 3D-сцен, порождаемых IFC моделями, вызывает известные технологические проблемы для web-приложений, в реализации сервиса применены оригинальные методы иерархических динамических уровней детализации (HDLOD) [9, 10]. Данные методы предполагают подготовку специальных упрощенных представлений оригинальной 3D-сцены и их избирательное отображение в зависимости от ракурса камеры, что обеспечивает необходимую масштабируемость процедур рендеринга и возможность отображения в режиме реального времени сложных сцен, характерных для масштабных строительных проектов и программ [11].

В настоящее время разработанные сервисы реализованы и развернуты в составе Национальной платформы ТИМ (https://bim.ispras.ru) и успешно применяются рядом организаций и компаний. Компании-разработчики ПО преимущественно используют сервис верификации для поиска ошибок в собственных программах, связанных с продукцией IFC данных. Конечные пользователи используют его, чтобы удостовериться в корректности полученных ими IFC моделей и возможности их применения на горизонте жизненного цикла объекта капитального строительства. Редактор машинно-интерпретируемых требований и сервис валидации активно используются проектными организациями и региональными

госэкспертизами, прежде всего, для проверки полноты и качества ЦИМ. Наконец, сервис управления замечаниями применяется проектными и строительными организациями для ведения журналов замечаний и оперативного визуального анализа проблем, обнаруженных в проектной документации или непосредственно на строительной площадке сооружаемого здания.

В заключение отметим перспективы более широкого использования разработанных сервисов в связи с активным переходом проектных и строительных организаций, органов госэкспертизы и строительного контроля на цифровые технологии управления требованиями и поддержки жизненного цикла объектов капитального строительства.

Литература

1. *Семенов В.А., Морозов С.В., Шерстенников И.А.* Методологические основы перехода к машиночитаемым стандартам в строительстве // Информационное моделирование в задачах строительства и архитектуры : мат-лы VII Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб. : СПбГАСУ, 2024. С. 153–160. DOI: 10.23968/BIMAC.2024.021. EDN: WFNKVY.

2. *Hull E., Jackson K., Dick J.* Requirements Engineering, Third Edition. London: Springer-Verlag, 2011.

3. *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.

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

5. Software Implementations – buildingSMART Techinical. URL: https://technical.buildingsmart.org/resources/software-implementations (дата обращения: 30.01.2025).

6. *Аришин С.В., Гринченко А.И., Шило А.В.* Web-редактор машиночитаемых требований на основе открытых стандартов IFC и IDS // Информационное моделирование в задачах строительства и архитектуры: мат-лы VII Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб. : СПбГАСУ, 2024. С. 49–57. DOI: 10.23968/BIMAC.2024.007. EDN: DHXUED.

7. Классификатор Строительной Информации. URL: http://ksi.faufcc.ru (дата обращения: 30.01.2025).

8. *Bew M., Richards M.* Bew-Richards BIM maturity model // buildingSMART Construct IT Autumn Members Meeting. Brighton, 2008.

9. *Semenov V., Shutkin V., Zolotov V., Morozov S., Gonakhchyan V.* Visualization of Large Scenes with Deterministic Dynamics // Programming and Computer Software. 2020. Vol. 46, No. 3. P. 223–232. DOI: 10.1134/S036176882003007X. EDN: YHZINQ.

10. *Shutkin V., Semenov V., Zolotov V., Morozkin N.* Alternative HDLOD method for large scenes with multiple dynamic behaviors // Proceedings of 17th International Conference on Computer Graphics, Visualization, Computer Vision and Image Processing. 2023. P. 141–148. DOI: 10.33965/MCCSIS2023_202304L017.

11. *Shutkin V., Morozkin N., Zolotov V., Semenov V.* City and building information modelling using IFC standard // eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction: Proceedings of the 13th European Conference on Product & Process Modelling. P. 406–413. DOI: 10.1201/9781003191476-56.

УДК 711.00+004.94
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.021

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
Спиридонова Елена Вадимовна, магистрант
(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)
E-mail: spiridonova.ev@edu.spbstu.ru, ORCID: 0009-0004-8587-9524

Romanovich Marina Aleksandrovna, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)
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 SCHEME FOR THE PLANNING ORGANIZATION OF A LAND PLOT USING 4D MODELING

Переход на цифровые ресурсы значительно ускоряется в последние годы, Министерство строительства РФ активно способствует развитию применения технологий информационного моделирования (ТИМ) в области строительства. Об этом могут свидетельствовать недавно принятые постановления, которые устанавливают случаи обязательного формирования и ведения информационной модели объектов капитального строительства для прохождения экспертизы проектной документации (ПД). В данной статье приведен анализ по количеству применения цифровых информационных моделей (ЦИМ) по разделам проектной документации. Проанализированы причины затруднительного перехода к технологии информационного моделирования при разработке раздела «Схема планировочной организации земельного участка» (СПОЗУ) и способы их устранения. А также предложен вариант организации разработки СПОЗУ с применением технологии информационного моделирования и созданием 4D-модели земельного участка.

Ключевые слова: ТИМ, СПОЗУ, 3D-моделирование, 4D-моделирование, информационная модель, цифровые технологии в строительстве.

The transition to digital resources has accelerated significantly in recent years, and the Ministry of Construction is actively contributing to the development of Building information modeling (BIM) in the field of construction. This may be evidenced by

recently issued resolutions that establish cases of mandatory formation and maintenance of an information model of capital construction facilities for the examination of project documentation. This article provides an analysis of the number of applications of digital information models by sections of the project documentation. The reasons for the difficult transition to digital information resources in the development of the section "Scheme of the planning organization of the land plot" and ways to eliminate them are given. A variant of the organization of the development of a land management system using digital technologies and the creation of a 4D-model of a land plot is also proposed.

Keywords: BIM, the scheme of the planning organization of the land plot, 3D-modeling, 4D-modeling, information model, digital technologies in construction.

Для ускорения процесса перехода к технологиям информационного моделирования (ТИМ) в строительстве в 2024 году было выпущено постановление Правительства РФ № 2357 «О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 5 марта 2021 г. № 331», в рамках которого добавился пункт про формирование и ведение информационной модели объектов капитального строительства в области долевого строительства. Благодаря данному документу количество проектов, которые необходимо проектировать с применением ТИМ, возросло. Тем не менее, заметно сильно отстает внедрение ТИМ при проектировании схемы организации земельного участка по сравнению с другими разделами проектной документации. Подтверждением этому является результат опроса Вадима Муратова, одного из самых популярных блогеров в российском ТИМ-сообществе (рис. 1) [1]. Данный опрос проводился среди специалистов из различных городов России, в нём приняли участие 432 респондента. Основные темы исследования: внедрение ТИМ в компаниях, использование программного обеспечения для информационного моделирования, взаимодействие с заказчиком.



Рис. 1. Распределение внедрения ТИМ по разделам проектирования [1]

Результаты опроса показывают, что использование ТИМ при разработке СПОЗУ существенно уступает по уровню цифровой интеграции при разработке разделов АР, КР и наружных инженерных сетей. Это влечет за собой разрыв связи между разделами, что может привести к ошибкам при проектировании. Для равномерного развития ТИМ необходимо выявить причины такого отставания и найти решения, которые помогут вывести уровень применения ТИМ при разработке СПОЗУ вровень с другими разделами.

По результатам проведенного опроса были выявлены следующие причины затруднительного перехода с 2D-планов земельного участка в 3D- и 4D-форматы:

1. Топографическая съемка, на основе которой проектируется генеральный план земельного участка, выдается в 2D-формате. Таким образом, уже на этапе получения исходных данных возникают проблемы, так как требуется двойная обработка данных из-за переноса топосъемки с двумерных чертежей в трехмерные.

2. Низкий уровень владения программами для разработки цифровой модели рельефа и проектирования объектов инфраструктуры. При этом в настоящее время существует достаточно много программ, выполняющих данные задачи.

3. Повышенный уровень детализации, так как в трехмерной и четырехмерной моделях следует учитывать больше параметров, чем в двумерных чертежах.

Вышеперечисленные причины затрудняют внедрение 3D- и 4D-моделирования в СПОЗУ. Вдобавок при разработке данного раздела в 2D-формате возникает большое количество коллизий, в том числе временных, снижается скорость разработки проекта, повышается вероятность допустить незаметные на чертежах ошибки.

Одним из таких примеров является ЖК «Алые Паруса» [2]. Этот объект располагается в Москве на участке рядом с рекой и со сложным рельефом, образующим большие перепады высот. Эти важные факторы не были детально учтены в 2D-документации, в частности, не учли все нагрузки от грунта на фундамент, что в последующем привело к осадкам и деформациям. Помимо этого, не были учтены склоны и необходимо было делать дополнительные укрепления: возведение подпорных стен и лестниц, что не было предусмотрено в календарном графике и привело к увеличению сроков строительства. В наружных сетях не были учтены уклоны, что ухудшило их функционирование.

В результате данные последствия увеличили расходы проекта на 25 %. Однако этих ошибок можно было избежать при использовании ТИМ.

В рамках работы над статьей была разработана 4D-модель СПОЗУ для многоквартирного жилого дома посредством привязки 3D-элементов к соответствующей работе календарно-сетевого графика с использованием классификатора. При этом рельеф земельного участка был представлен в упрощенном виде. На рис. 2 СПОЗУ представлен в 2D-формате, на рис. 3 в 4D. Все элементы СПОЗУ были разработаны в 3D-виде, после чего были назначены на соответствующие работы в календарном графике производства работ [3].

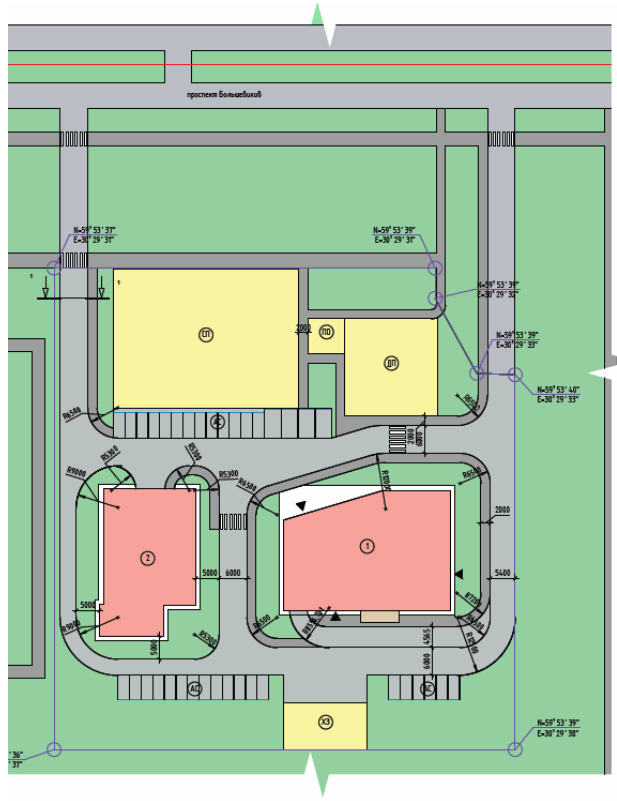


Рис. 2. СПОЗУ, вид сверху

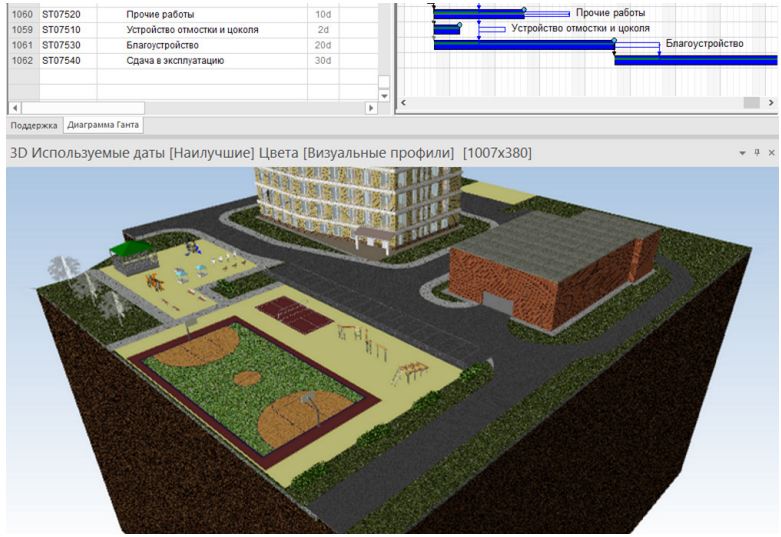


Рис. 3. 4D-модель СПОЗУ, вид сбоку

Благодаря применению 3D-моделирования:

– упрощаются расчеты технико-экономических показателей и объемов земляных масс;

– производится автоматизированная проверка на коллизии и быстрое их устранение;

– появляется возможность работать в среде общих данных, что позволяет синхронизироваться со смежными разделами и корректно осуществлять посадку проектируемых зданий;

– автоматизируется процесс задания уклонов, что позволяет четко учитывать перепады высот.

Благодаря применению 4D-моделирования:

– улучшается наглядность проекта;

– устраняются пространственно-временные коллизии;

– сокращается срок строительства;

– наиболее точно учитываются временные факторы при организации рельефа, которые передаются в качестве исходных данных в проект организации строительства.

Таким образом, предлагаемый вариант организации разработки СПОЗУ с применением ТИМ будет выглядеть следующим образом:

1. Анализ топографической съемки.

2. Импорт топосъемки в программный комплекс для дальнейшей обработки (например, Civil 3D, специализирующееся на проектировании объектов инфраструктуры и позволяющее обнаружить коллизии).

3. Разработка 3D-моделей и объектов инфраструктуры на основе исходных данных.

4. Задание необходимых параметров и классификаторов [4].

5. Импорт наружных инженерных сетей и модели проектируемого объекта.

6. Импорт получившейся модели в программу для 4D-моделирования.

7. Интеграция временного фактора [5].

8. Проверка на коллизии.

В соответствии с предложенным порядком действий можно автоматизировано создать 4D-модель земельного участка, что позволит избежать не только коллизий между инженерными сетями, но и пространственно-временных коллизий, благодаря чему можно достичь сокращения сроков строительства и выявить грубые ошибки на ранней стадии проектирования.

Литература

1. *Муратов В.* BIM в России и СНГ: результаты большого опроса. URL: https://muratovbim.pro/blog/bim-v-rossii-i-sng-2023-rezultaty-bolshogo-oprosa/ (дата обращения: 27.02.2025).

2. ЖК алые паруса проблемы с фундаментом. URL: https://gk-promservis.ru/zhk-alye-parusa-problemy-s-fundamentom/ (дата обращения: 27.02.2025).

3. *Бовтеев С.В., Колесников С.В., Шерстобитова П.А.* Календарно-сетевое планирование строительства на основе 4D-моделей // Управление проектами и программами. 2020. № 4. С. 276–284. EDN: HPKXVB.

4. *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.

5. *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 721.021+04.004
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.022

Сайфутдинов Динар Ринатович, аспирант
(Казанский государственный архитектурно-строительный университет)
E-mail: 0granid0@gmail.com, ORCID: 0009-0006-9076-905X

Saifutdinov Dinar Rinatovich, postgraduate student
(Kazan State University of Architecture and Engineering)

МЕТОД ДЕЦЕНТРАЛИЗАЦИИ И АВТОМАТИЗАЦИИ НАЗНАЧЕНИЯ КЛАССИФИКАТОРА СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

DECENTRALIZATION AND AUTOMATION METHOD FOR ASSIGNMENT OF CONSTRUCTION INFORMATION CLASSIFIER

В статье представлены результаты разработки метода децентрализации и автоматизации назначения классификатора строительной информации объектам информационной модели капитального строительства в BIM-среде с использованием визуального программирования Dynamo for Revit. Описаны и проиллюстрированы основные этапы разработанного метода: кодирование, автоматизированное заполнение параметров, экспорт и импорт данных, обработка информации созданной группой скриптов. Применение разработанного метода позволяет сократить временные затраты на процесс классификации, минимизировать ошибки за счет автоматизации и повысить точность проектных данных. Представлены предложения по оптимизации структуры скриптов для повышения производительности.

Ключевые слова: BIM, Dynamo for Revit, классификатор строительной информации, автоматизация, цифровизация, параметризация.

The article presents the results of the development of a method for decentralizing and automating the assignment of a classifier of construction information to objects of an information model of capital construction in a BIM environment using Dynamo for Revit visual programming. The main stages of the developed method are described and illustrated: coding, automated parameter filling, data export and import, information processing by the created group of scripts. The application of the developed method allows reducing the time spent on the classification process, minimizing errors through automation, and increasing the accuracy of design data. Suggestions for optimizing the script structure to improve productivity are presented.

Keywords: BIM, Dynamo for Revit, construction information classifier, automatization, digitalization, parameterization.

В современном мире процессы проектирования становятся все сложнее, в связи с тем, что достаточно часто возведение объекта капитального строительства начинается задолго до согласования проектной документации стадии П, а объемы необходимых для обработки данных постоянно увеличиваются.

В настоящий момент развитие строительной отрасли имеет особую актуальность, поскольку повышение эффективности строительства рассматривается на государственном уровне. Так, в рамках «Сибирской строительной недели 2024» заместитель Министра строительства и ЖКХ РФ К. А. Михайлик отметил, что важную роль в развитии строительной отрасли России играет цифровая трансформация (цифровизация)[1].

Задачей цифровизации строительной отрасли является сокращение сроков и повышение эффективности инвестиционно-строительного проекта с помощью автоматизации процессов проектирования, а также экспертизы информационной модели объекта капитального строительства на соответствие требованиям нормативных документов.

Для решения задачи формируются единая цифровая библиотека требований в подсистеме «Реестр требований» и единый справочник элементов в подсистеме «Классификатор строительной информации».

В статье 57.6 Градостроительного кодекса РФ дается следующее определение классификатора строительной информации: «информационный ресурс, распределяющий информацию об объектах капитального строительства и ассоциированную с ними информацию в соответствии с ее классификацией (классами, группами, видами и другими признаками)»[2].

По утверждению министра строительства и ЖКХ РФ И. Э. Файзуллина, классификатор строительной информации создается на основе двух основополагающих принципов – использования мирового опыта создания классификаторов и применения отечественной нормативно-технической документации[3].

В научных исследованиях поднимается вопрос о новом этапе развития цифровизации. Отличительным признаком отечественных решений в этой сфере выступает принцип вертикальной интеграции, обязательное

[1] URL: https://minstroyrf.gov.ru/press/tsifrovizatsiya-odin-iz-klyuchevykh-instrumentov-razvitiya-stroitelnoy-otrasli

[2] Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 № 190-ФЗ (ред. от 26.12.2024) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2025).

[3] URL: https://minstroyrf.gov.ru/press/klassifikator-stroitelnoy-informatsii-zarabotal-v-testovom-rezhime/

взаимодействие с государственными и отраслевыми информационными системами (ГИС), создание автоматизированных платформенных решений и систем для управления данными [1].

Цель данного исследования – разработать метод децентрализации и автоматизации назначения классификатора строительной информации (КСИ) объектам информационной модели (ИМ) капитального строительства (ОКС) в BIM среде, применяя визуальное программирование Dynamo for Revit.

Разрабатываемый метод основан на правилах кодирования ИМ ОКС, подготовленных «Федеральным центром нормирования, стандартизации и технической оценки соответствия в строительстве»[1] и включает 7 этапов. Для реализации данного метода была разработана группа скриптов в среде визуального программирования Dynamo for Revit.

На подготовительном этапе необходимо согласовать с заказчиком перечень атрибутов КСИ для заполнения. При составлении перечня категорий объектов модели, для которых будет проводиться кодификация, следует учесть тот фактор, что сам атрибут тоже может быть кодифицирован. Далее определяются таблицы кодификации объектов модели – как для компонентов (см. таблицу 06_Ком классификатора) или как для строительных изделий (см. таблицу 16_СтИ классификатора)[2]. Все процедуры этапа находятся в зоне ответственности BIM-менеджера [2, 3].

На первом этапе BIM-координатор или BIM-автор модели [2, 3] должен назначить код КСИ для уровней и помещений в атрибут «КСИ Код типа класса». Значение кода берется из таблицы 1_ПЗо классификатора. Параметры «КСИ Класс строительной информации», «КСИ Функциональный код», «КСИ Код класса», «КСИ Место расположения», «КСИ Составной код» заполняются скриптом «КСИ_Уровни_Помещения» (рис. 1).

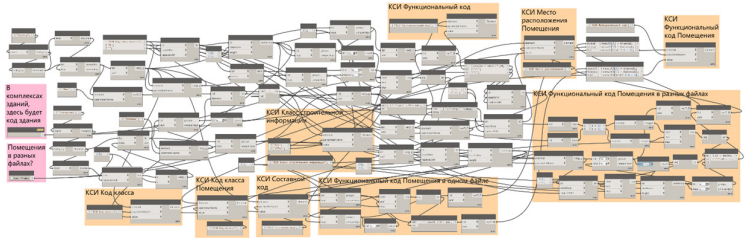


Рис. 1. Заполнение атрибутов кодами КСИ для уровней и помещений

[1] URL: http://ksi.faufcc.ru/method.php

[2] URL: http://ksi.faufcc.ru/versii.php

Подробнее данный скрипт проиллюстрируем далее в виде блок-схемы на рис. 2. При этом следует отметить, что при разработке, кроме стандартных нодов, также применены пользовательские пакеты нодов. Приведем их перечень в табл. 1.

Таблица 1

Перечень примененных пакетов

Наименование пакета	Версия
Clockwork for Dynamo 1.x	1.31.1
Archi-lab.net 2021.25.2721	2021.25.2721
Spring nodes	210.1.1
DynaMEP	1.2.7

Необходимо сказать, что указанные в табл. 1 пользовательские пакеты находятся в свободном доступе, а скачивание и установка выполняются стандартными средствами Dynamo for Revit. Применение пользовательских пакетов позволяет расширить стандартные возможности Dynamo for Revit, а также сократить время разработки скрипта, не прибегая к написанию собственных нодов на языке Iron Python или C#.

Все последующие скрипты имеют подобный принцип создания. Далее выполняется скрипт «КСИ_Помещения_Составной код».

В начале второго этапа выполняется подготовка 3D-видов для каждой системы или подсистемы, чтобы выгрузить их в отдельные подмодели, в соответствии с СП 333.1325800.2020[1] в IFC – формат основных отраслевых классов данных с открытой спецификацией для совместного использования данных в строительстве и управлении зданиями [4]. Эту работу BIM-координатор и BIM-авторы модели выполняют параллельно.

Данные о объектах модели выгружаются в файлы Excel посредством скрипта «КСИ_Выгрузка элементов». Наименования данных файлов должны соответствовать наименованиям ранее подготовленных 3D-видов.

При разработке данного скрипта был применен алгоритм экспорта и импорта данных в Excel средствами Dynamo for Revit [5], который был усовершенствован под поставленную задачу.

[1] URL: https://minstroyrf.gov.ru/docs/16405/?sphrase_id=1950615

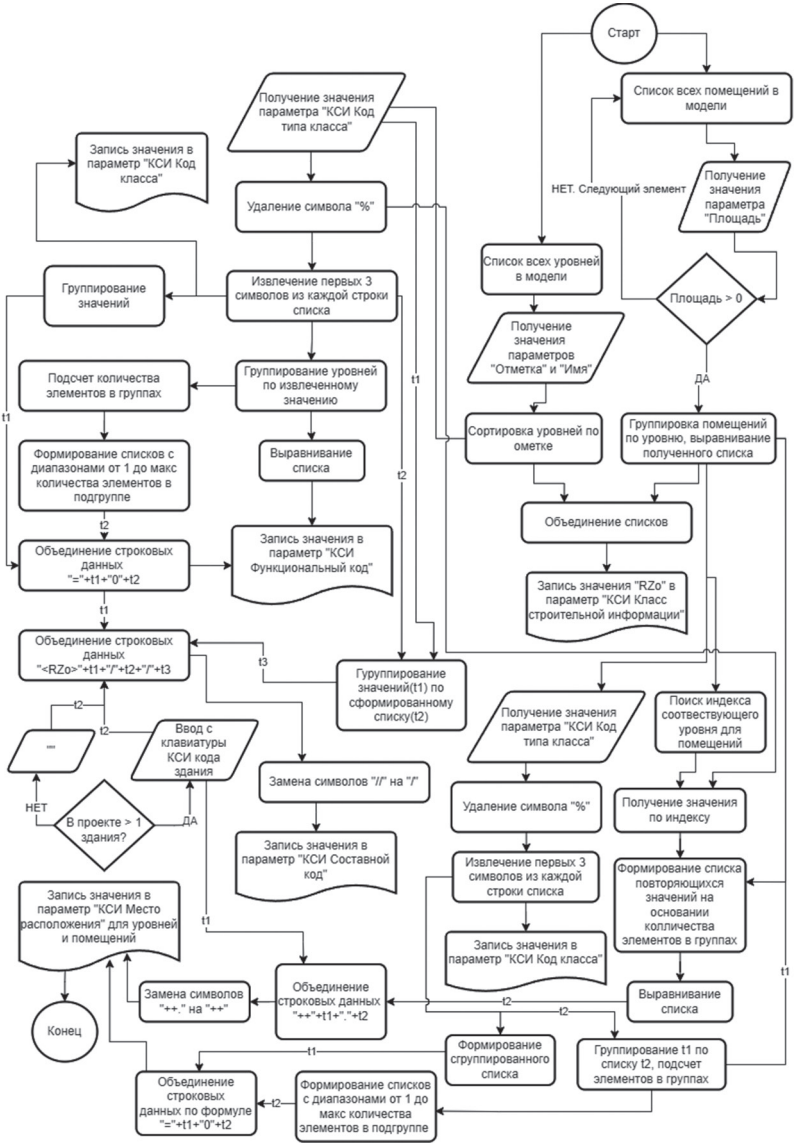


Рис. 2. Блок-схема скрипта «КСИ_Уровни_Помещения»

На третьем этапе BIM-авторы заполняют подготовленные файлы Excel, применяя данные из таблиц кодов КСИ «4_ФнС», «5_ТхС», «6_Ком» / «16_СтИ». При невозможности сопоставить объект модели с каким-либо кодом КСИ создается пользовательский код, его наименование и определение следует записать в отдельный журнал, который затем передается заказчику, а также подать заявку на портале ФАУ «ФЦС» на внесение изменений в КСИ.

На четвертом этапе происходит импорт данных из файлов Excel в атрибуты ИМ. Запускается скрипт «КСИ_Заполнение параметров из Excel». Здесь и далее процедуры выполняются BIM-координатором и BIM-авторами параллельно.

На пятом этапе заполняются атрибуты «КСИ Место расположения» и «КСИ Точка расположения». Скрипт «КСИ_Место расположения» выполняет поиск помещений, в которых расположены объекты ИМ, и назначает код КСИ в атрибут «КСИ Место расположения».

Далее запускается скрипт «КСИ_Место расположения», который заполняет атрибут «КСИ Точка расположения» для окон, дверей, изоляции трубопроводов и воздуховодов.

На заключительном этапе запускается скрипт, заполняющий атрибут «КСИ Составной код».

По результатам работы можно сказать, что предложенный метод децентрализации, благодаря возможности параллельного выполнения процедур, оптимизирует процесс назначения классификаторов строительной информации элементам модели. Подготовка таблиц Excel позволяет включать в работу сотрудников независимо от уровня их навыков работы в Autodesk Revit. Формат данных в сформированных файлах Excel не зависит от идентификаторов элементов модели, что позволяет не учитывать удаленные или вновь созданные элементы, при условии, что в модель не добавлялись новые семейства или типоразмеры. Применение скриптов, разработанных в среде Dynamo for Revit, исключает рутинную работу при экспорте, подготовке, обработке и импорте данных, что позволяет снизить вероятность ошибок по причине «человеческого фактора». Применение скриптов для назначения таких параметров, как «КСИ Место расположения» и «КСИ Точка расположения», обеспечивает многократное снижение времени, затраченного на поиск, сопоставление расположения и назначение параметров элементов. Создание скриптов в среде Dynamo for Revit позволяет снизить временные и финансовые затраты на привлечение сторонних специалистов для разработки программных приложений.

Таким образом, можно сделать вывод, что разработанный метод децентрализации и автоматизации назначения классификатора строительной

информации позволяет решить задачи, поставленные Министерством строительства и ЖКХ РФ, о сокращении сроков и повышении эффективности строительного проектирования с помощью автоматизации процессов.

Возможные перспективы лежат в области оптимизации структуры работы скриптов путем объединения стандартных блоков Dynamo в виде кода Iron Python внутри блока Python Script, что позволит повысить скорость обработки данных.

Литература

1. *Бочаров М.Е., Бачурина С.С., Ергопуло С.В.* К вопросу о цифровизации строительства на основе принципов детализации информационной модели // Информационное моделирование. 2023. № 1. С. 22–27. EDN: OOBERQ.

2. *Мухаркина А.А., Хусаинова Г.В.* Возможности применения технологии педагогических мастерских при обучении бакалавров архитектуры BIM-проектированию // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : мат-лы. VI Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб. : СПбГАСУ, 2023. С. 258–264. DOI: 10.23968/BIMAC.2023.035. EDN: ZUMVZX.

3. *Алешин А.А., Рыбакова А.О.* Особенности обучения и внедрения технологий информационного моделирования в высшем образовании // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: мат-лы V Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб. : СПбГАСУ, 2022. С. 205–210. DOI: 10.23968/BIMAC.2022.025. EDN: HXBAZR.

4. *Криони И.Н., Болсуновская М.В.* Подход к разработке технологии автоматизированного проектирования зданий с использованием стандарта IFC // Наука и бизнес: пути развития. 2024. № 8(158). С. 74–82. EDN: HFGYHT.

5. *Галанина М.Н., Томчинская Т.Н.* Обмен данными Revit с программой Excel с помощью Dynamo // КОГРАФ-2021 : сб. мат-лов 31-й Всерос. научно-практ. конф. по графическим инф. технологиям и системам. Н. Новгород : НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2021. С. 150–155. DOI: 10.46960/43791586_2021_150. EDN: TKPOAQ.

УДК 004.6
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.023

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
Аришин Семен Васильевич, науч. сотр.
(Институт системного программирования им. В.П. Иванникова РАН)
E-mail: arishin@ispras.ru, ORCID: 0000-0001-6128-7082
Зорин Евгений Михайлович, ст. лаборант, магистрант
(Институт системного программирования им. В.П. Иванникова РАН,
Московский физико-технический институт)
E-mail: zorin.em@ispras.ru, ORCID: 0009-0000-6614-0485

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)
Arishin Semen Vasilevich, research worker
(Ivannikov Institute for System Programming of the Russian Academy of Sciences)
Zorin Evgeny Mikhailovich, senior laboratory assistant, Master's degree student
(Ivannikov Institute for System Programming of the Russian Academy of Sciences,
Moscow Institute of Physics and Technology)

ПЕРСПЕКТИВНЫЙ РОССИЙСКИЙ ФОРМАТ IDS++ ДЛЯ МАШИННО-ИНТЕРПРЕТИРУЕМЫХ ТРЕБОВАНИЙ В АРХИТЕКТУРЕ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ

PROMISING RUSSIAN IDS++ FORMAT FOR COMPUTER-INTERPRETABLE REQUIREMENTS IN ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION

В настоящее время заметное распространение получили инструменты, предназначенные для спецификации требований и валидации IFC моделей на основе открытого стандарта IDS, входящего в семейство OpenBIM. Однако, текущие возможности стандарта IDS ограничены проверками полноты объектного и атрибутного состава модели, корректности задания атрибутов, свойств, классификаторов, материалов и некоторых типов отношений между объектами. В связи с этим, актуальным представляется развитие и функциональное расширение стандарта IDS возможностями спецификации произвольно сложных требований. В ИСП РАН осуществляется инициативный проект по подготовке расширенного формата IDS++, который представляется перспективным в качестве будущего национального и, возможно, международного стандарта для спецификации требований

в архитектуре и строительстве. В данной статье обсуждаются основные принципы и предлагаемые расширения стандарта IDS, а также приводятся примеры спецификации геометрических и пространственных требований в редакторе IDS++.

Ключевые слова: BIM, IFC, IDS, спецификация требований, верификация требований.

Currently, tools developed for specification of requirements and validation of IFC models based on the open IDS standard, which is a part of the OpenBIM family, have become widespread. However, the current capabilities of the IDS standard are limited to checking the completeness of the object and attribute composition of the model, the correctness of setting attributes, properties, classifiers, materials and some types of relationships between objects. In this regard, the development and functional extension of the IDS standard with the capabilities of specifying arbitrarily complex requirements seems relevant. ISP RAS is implementing an initiative project to prepare an extended IDS++ format, which seems promising as a future national and, possibly, international standard for specifying requirements in architecture and construction. This article discusses the basic principles and proposed extensions of the IDS standard as well as provides examples of specifying geometric and spatial requirements using the IDS++ editor.

Keywords: BIM, IFC, IDS, specification of requirements, verification of requirements.

Введение. В настоящее время открытые ТИМ стандарты являются методологической основой обеспечения функциональной совместимости программных приложений и формирования международной и национальных экосистем программного обеспечения. Основным стандартом, определяющим спецификацию информационной схемы для представления цифровых информационных моделей объектов капитального строительства (ЦИМ ОКС), является IFC (Industry Foundation Classes) [1, 2]. Разработанные в различных САПР с использованием проприетарных форматов ЦИМ преобразуются в формат IFC при обмене между участниками проектной деятельности и создании архивов проектной документации. Для повышения качества документации, автоматизации и интеллектуализации процедур валидации ЦИМ важным является переход к машиночитаемым и машинно-интерпретируемым форматам, в том числе для представления требований к ЦИМ со стороны участников проектной деятельности.

В последнее время заметное распространение получили инструменты, предназначенные для спецификации требований и валидации IFC моделей на основе открытого стандарта IDS (Information Delivery Specification), входящего в семейство OpenBIM наряду с IFC. IDS предназначен для перевода требований к ЦИМ ОКС, представленной в соответствии со стандартом IFC, в машинно-интерпретируемый вид и их

дальнейшей валидации с использованием инструментов, поддерживающих данный стандарт. Примером полнофункциональной отечественной реализации стандарта IDS является редактор требований IDS [3] и сервис валидации IFC моделей [4], разработанные в Институте системного программирования (ИСП РАН). Текущая версия IDS 1.0 определяет шесть паттернов (facets) условий: принадлежности объекта некоторому объектному типу, наличия отношений композиции между объектами, наличия значений у атрибутов и их принадлежность заданным областям определения допустимых значений, наличия у объектов установленных дополнительных свойств, назначенных классификаторов и наличия у строительных элементов назначенных материалов. Эти паттерны могут использоваться как для определения самих требований, так и их контекста применимости. В последнем случае фиксируется множество объектов модели, подлежащих валидации. Детальную информацию о стандарте IDS можно найти в следующих источниках [5, 6].

Достоинством IDS является возможность спецификации требований строго в терминах модели данных IFC. Однако, текущие возможности стандарта IDS ограничены проверками полноты объектного и атрибутного состава модели, корректности задания атрибутов, свойств, классификаторов, материалов и некоторых типов отношений между объектами. IDS не обеспечивает средств для спецификации требований, выражаемых сложными параметрическими, пространственными, топологическими, метрическими, темпоральными и прочими алгебраическими условиями.

Таким образом, актуальным представляется развитие и функциональное расширение стандарта IDS возможностями спецификации сложных требований с необходимым покрытием нормативных требований и сводов правил строительной отрасли РФ. В настоящее время в ИСП РАН реализуется проект разработки расширенного формата IDS++ в качестве перспективной основы для будущего национального и, возможно, международного стандарта спецификации требований в архитектуре и строительстве. В данной статье обсуждаются основные принципы и предлагаемые расширения формата IDS++, а также приводятся примеры спецификации типовых геометрических и пространственных требований в машинно-интерпретируемом виде.

Принципы расширения IDS. Главными принципами, которыми руководствуются создатели формата IDS++, являются:

– гармонизация и совместимость со стандартом IDS;

– простота задания типовых условий корректности области значений, релевантности и согласованности элементов модели, в том числе, предусматриваемых стандартом IDS;

– гибкость и универсальность спецификаций сложных требований, выражаемых параметрическими, метрическими, пространственными, топологическими, темпоральными и иными алгебраическими условиями;

– математическая строгость и непротиворечивость спецификаций требований;

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

– нейтральность спецификаций по отношению к платформам и языкам реализации;

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

Теоретическим основанием для создания формата служат выполненные научно-исследовательские работы. В частности, в работе [7] описываются результаты проведенной формализации стандарта IDS путем представления его паттернов в виде функций декларативного языка объектно-ориентированного моделирования данных EXPRESS [8]. Данные функции проверяют выполнимость условий, описанных с помощью паттернов, для заданных объектов в представлении IFC схемы и с математической точки зрения являются одноместными объектными предикатами, в которых первый аргумент – это проверяемый IFC объект, а остальные – параметры соответствующего паттерна. В рамках проведенной формализации также определены альтернативные возможности спецификации требований в виде декларативных правил языка EXPRESS. В этом случае спецификации требований можно рассматривать как естественное расширение стандартной схемы IFC. Поскольку схема IFC сама определена на языке EXPRESS, это позволяет избежать проблем несоответствия на уровне метамоделей, свойственных большинству инструментов валидации ЦИМ и часто приводящих к недостоверным результатам.

Предлагаемые расширения IDS. В формате IDS++ для реализации вышеперечисленных принципов приняты следующие расширения:

– Поддержка глобальных контекстов (global applicabilities) и адресации к ним при спецификации требований, находящихся в одном или нескольких документах. Причиной данного нововведения является повторное и избыточное определение локальных контекстов в IDS спецификациях, что нередко приводит к расхождениям при задании условий для семантически эквивалентных множеств объектов. Тело глобального контекста совпадает с телом локального, а его заголовок подобен заголовку требования за исключением пользовательского идентификатора, который обязателен для последующего обращения к этому контексту.

Предложенное расширение обеспечивает множественное использование (re-use) ранее подготовленных спецификаций и упрощает формализацию новых требований.

– Поддержка множественных контекстов (multiple applicabilities) при определении индивидуальных требований. В самом деле, пространственные, топологические, многопараметрические условия не могут быть выражены одноместными предикатами, что существенно ограничивает применение стандарта IDS при формализации строительных нормативов и сводов правил. В предложенном расширении допускается использование нескольких контекстов (локальных или глобальных) при спецификации каждого требования, что позволяет преодолеть указанное ограничение и определить многоместные предикаты.

– Развитый по сравнению со стандартом IDS набор паттернов (facet), включающий в себя дополнительные шаблоны для задания условий кардинальности на множествах объектов, определения допустимых взаимосвязей между объектами и их кратности, проверок наличия для элементов ЦИМ надлежащих геометрических моделей, определения пространственных коллизий и иных отношений между элементами ЦИМ, задания сложных логических условий с операторами, кванторами, одноместными и многоместными предикатами.

– Наконец, формальная алгебраическая спецификация сложных требований в виде декларативных правил языка EXPRESS. Анализ языка объектно-ориентированного моделирования данных EXPRESS, проведенный в работе [7], продемонстрировал разнообразие его конструкций для формальной спецификации требований в алгебраической форме. Там же детально описаны возможности представления требований в виде локальных правил (WHERE), глобальных правил (RULE) и правил уникальности (UNIQUE) в зависимости от назначения и контекстов применимости требования. В предложенном расширении формата IDS++ для этих целей предусмотрены паттерны, соответствующие указанным видам правил.

Примеры спецификации геометрических и пространственных требований в IDS++. Для краткости ограничимся двумя примерами, иллюстрирующими возможности формата IDS++ для описания геометрических и пространственных требований.

Необходимость геометрических требований обусловлена случаями неполного или недопустимого задания геометрии для отдельных элементов ЦИМ, что приводит к неверным проектным решениям, некорректным расчетам физических объемов и нерелевантным оценкам экономики всего

проекта. Напомним, что стандарт IFC допускает альтернативное применение в ЦИМ аналитических кривых, поверхностей, сеток, облаков точек, граничных и конструктивных твердотельных геометрических представлений. Как правило, программное обеспечение не поддерживает работу со всеми видами геометрических моделей, предусматриваемых стандартом IFC. Чтобы исключить случаи их неполной или неверной обработки на практике, в формате IDS++ предусмотрен специальный паттерн для уточнения состава геометрических моделей, применяемых для тех или иных типов элементов ЦИМ. На рис. 1 приведен снимок окна задания геометрических условий в соответствии с нововведенным IDS++ паттерном.

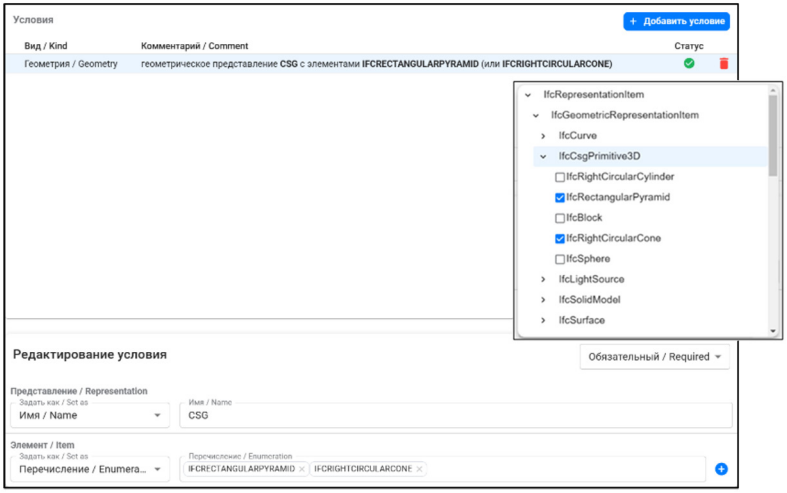


Рис. 1. Снимок окна задания геометрических условий

Определение пространственных коллизий является одной из типовых проверок ЦИМ, применяемых на практике. Однако до сих пор отсутствует единый формат для представления правил подобных проверок, что создает трудности и неопределенности в применении программного обеспечения от разных производителей. Расширенный формат IDS++ решает эту проблему путем спецификации требований с несколькими контекстами, которые определяют множества элементов ЦИМ, подлежащих попарным пространственным проверкам.

Для задания условий проверок предусмотрен специальный паттерн, используя который можно задать минимально допустимое расстояние

между элементами ЦИМ (так называемые, gaps или soft clashes) и максимально допустимое проникновение элементов (hard clashes или penetrations). Нулевое значение соответствует случаю касания элементов. Специальная опция позволяет провести расчеты не только по эвклидовой метрике, но и по расстояниям между проекциями элементов на главные оси и главные плоскости. В редакторе также предусмотрена специальная команда, которая позволяет собрать все спецификации и построить сводную матрицу отношений для полной визуальной картины о пространственных требованиях к ЦИМ. Предусмотренные интерактивные возможности обеспечивают прямой переход от элементов матрицы к спецификациям требований, в которых соответствующие пространственные условия определены. Снимок главного окна редактора требований с построенной матрицей пространственных проверок представлен на рис. 2.

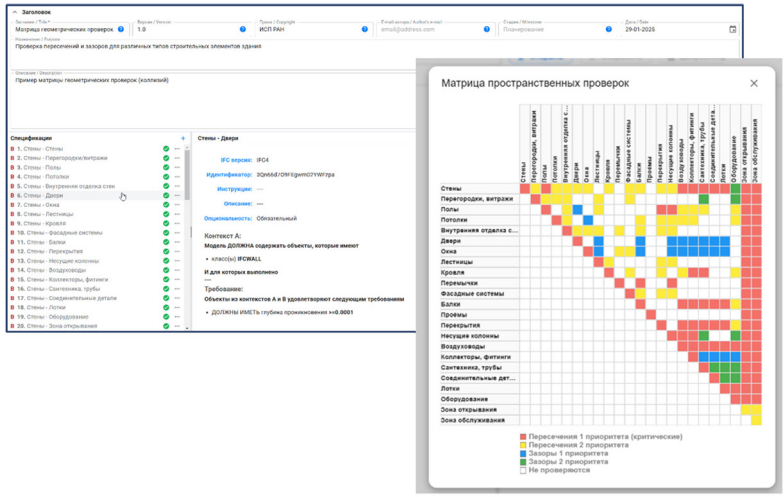


Рис. 2. Снимок главного окна редактора требований с матрицей пространственных проверок

Заключение. Таким образом, в настоящей статье рассмотрены основные принципы и предлагаемые расширения для формата машинно-интерпретируемых требований IDS++, а также приведены примеры спецификации в нем геометрических и пространственных требований. Разработчики формата разделяют позицию, что после успешного проведения пилотных проектов по переводу национальных, региональных,

ведомственных и корпоративных нормативных правил в данный формат, он сможет стать основой для будущего национального и, возможно, международного стандарта спецификации требований в архитектуре и строительстве, а также создаст предпосылки для создания перспективных инструментов верификации и валидации ЦИМ.

В настоящее время рабочая версия редактора и схема формата IDS++ доступны на сайте национальной платформы ТИМ [9] партнерским организациям и компаниям для участия в пилотных проектах.

Литература

1. ISO 16739-1:2024. Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries – Part 1: Data schema. Ed. 2. 496 p.

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., Морозкин Н.К., Аничкина Н.И., Якушева О.Р.* Web-редактор машиночитаемых требований в строительстве // Св-во о гос. рег. программы для ЭВМ № 2024669861; заявитель ФГБУН Институт системного программирования им. В.П. Иванникова РАН. EDN: UOTBTT.

4. Национальная ТИМ Платформа | Сервис валидации IFC моделей. URL: https://bim.ispras.ru/validate-ifc (дата обращения: 29.01.2025).

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: 29.01.2025).

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, № 5. P. 376–391. DOI: 10.1134/S036176882470018X. EDN: LGBVKE.

8. ISO 10303-11:2004. Industrial automation systems and integration — Product data representation and exchange – Part 11: Description methods: The EXPRESS language reference manual. Ed. 2. 255 p.

9. Национальная ТИМ Платформа | IDS++ редактор. URL: https://bim.ispras.ru/ids-plus-editor (дата обращения: 29.01.2025).

УДК 624.042.41
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.024

Телемаков Максим Игоревич, аспирант
(Южно-Российский государственный политехнический университет
(НПИ) имени М.И. Платова)
E-mail: makstelemakov@gmail.com, ORCID: 0009-0000-8715-0455
Бузало Нина Александровна, канд. техн. наук, профессор
(Южно-Российский государственный политехнический университет
(НПИ) имени М.И. Платова)
E-mail: buzalo_n@mail.ru, ORCID: 0000-0002-6204-0214

Telemakov Maxim Igorevich, postgraduate student
(South-Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platov)
Buzalo Nina Alexandrovna, PhD in Sci. Tech., Professor
(South-Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platov)

СНИЖЕНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЕТРОВЫХ НАГРУЗОК НА ВЫСОТНЫЕ ЗДАНИЯ ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ КОНТУРА ФАСАДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

REDUCTION OF WIND LOAD EFFECTS ON HIGH-RISE BUILDINGS THROUGH OPTIMIZATION OF FACADE CONTOUR USING BUILDING INFORMATION MODELING TECHNOLOGIES

В данной работе рассматривается влияние сужения контура фасада на аэродинамические коэффициенты высотных зданий. Исследование выполнено для шести различных форм зданий с использованием программного обеспечения Rhino и Rwind. Основное внимание уделено оценке ветровых нагрузок и перераспределению давления на фасаде при различных вариантах геометрической формы здания. Расчёты показали, что изменение контура фасада позволяет снизить коэффициенты аэродинамического сопротивления, перераспределяя потоки воздуха и снижая локальные зоны давления. Полученные результаты демонстрируют эффективность такого подхода в повышении устойчивости высотных зданий к ветровым воздействиям, что особенно актуально при проектировании современных конструкций с использованием BIM-технологий. Предложенная методика анализа может быть полезна для дальнейшей оптимизации фасадных систем и улучшения аэродинамических характеристик зданий. Сравнительный анализ полученных результатов показывает снижение общей ветровой нагрузки и перераспределение

аэродинамических коэффициентов в зависимости от формы здания и степени сужения контура фасада.

Ключевые слова: высотные здания, ветровое воздействие, сужение контура фасада, аэродинамические коэффициенты, информационное моделирование, Rhino, Rwind.

This work examines the influence of facade narrowing on aerodynamic coefficients of high-rise buildings. The study was conducted for six different building shapes using Rhino and Rwind software. The focus is on evaluating wind loads and pressure redistribution on the facade with different building shape variations. Calculations show that changing the facade contour reduces aerodynamic drag coefficients by redistributing airflows and reducing local pressure zones. The results demonstrate the effectiveness of this approach in improving the wind resistance of high-rise buildings, which is especially relevant in modern construction projects using BIM technologies. The proposed analysis method can be useful for further optimization of facade systems and improvement of aerodynamic performance. The comparative analysis shows a reduction in overall wind load and redistribution of aerodynamic coefficients depending on the building shape and degree of facade narrowing.

Keywords: high-rise buildings, wind loads, facade narrowing, aerodynamic coefficients, building information modeling, Rhino, Rwind.

Введение. Высотные здания подвержены значительному воздействию ветровых нагрузок, что может привести к увеличению эксплуатационных расходов, а также увеличению сечений арматуры и других конструктивных элементов. Однако оптимизация формы фасадов может существенно снизить фактическую ветровую нагрузку, что позволит уменьшить затраты на строительство и эксплуатацию, а также привести к снижению сечений арматуры и других элементов конструкции. Повышения сопротивляемости высотного здания ветровым нагрузкам можно добиться при использовании рациональной формы контура фасада, особенно при увеличении высоты и усложнении архитектурных решений, что делает важной задачу оптимизации аэродинамических характеристик таких зданий. Многочисленными исследованиями, выполненными в последние десятилетия, доказано, что задача поиска наилучшей пространственной формы здания, оптимизирующей аэродинамические характеристики высотного здания, становится всё более актуальной, учитывая глобальные тенденции в строительстве и проектировании. Изменение формы фасада здания является одним из эффективных методов уменьшения воздействия ветровых нагрузок, что способствует перераспределению давления и снижению аэродинамического сопротивления [1].

Многие авторы акцентируют внимание на проблемах устойчивости высотных зданий при воздействии ветровых нагрузок, особенно в контексте изменений, происходящих в мировой практике строительства [2, 3].

Одним из ключевых аспектов в проектировании фасадов является исследование обтекания зданий ветровыми потоками. В некоторых работах рассматриваются особенности обтекания тел вращения в строительной аэродинамике, что имеет важное значение для проектирования фасадов высотных зданий [4].

Современные методы расчёта ветровых нагрузок, такие как метод экспресс-оценки, позволяют быстро и точно определять интегральные нагрузки на здания и оптимизировать проектные решения, снижая негативное воздействие ветра [5].

Другие исследования фокусируются на анализе аэродинамических характеристик высотных зданий, таких как коэффициенты сопротивления, которые важны для эффективного проектирования фасадов. Важно также интегрировать аэродинамические расчеты на всех этапах проектирования зданий, чтобы повысить устойчивость конструкций к ветровым воздействиям и использовать новые методы анализа для оптимизации проектных решений [6, 7].

Таким образом, современное проектирование высотных зданий с учетом аэродинамических аспектов требует комплексного подхода, включающего анализ ветровых нагрузок и перераспределение давления на фасаде. Это подтверждается исследованиями, в которых показано, как можно интегрировать аэродинамические расчеты и улучшить устойчивость зданий с помощью изменения формы фасадов [8, 9].

Методология. Для начала были построены 3D-модели различных форм зданий в программном комплексе Rhino (рис. 1). Все формы были получены из начального параллелепипеда, из которого постепенно удалялись угловые фрагменты с вершины, что приводило к изменению контура фасада и его сужению. Каждая форма представляет собой этапы уменьшения габаритов фасада, начиная от максимально широкого и заканчивая сильно сужающимся фасадом.

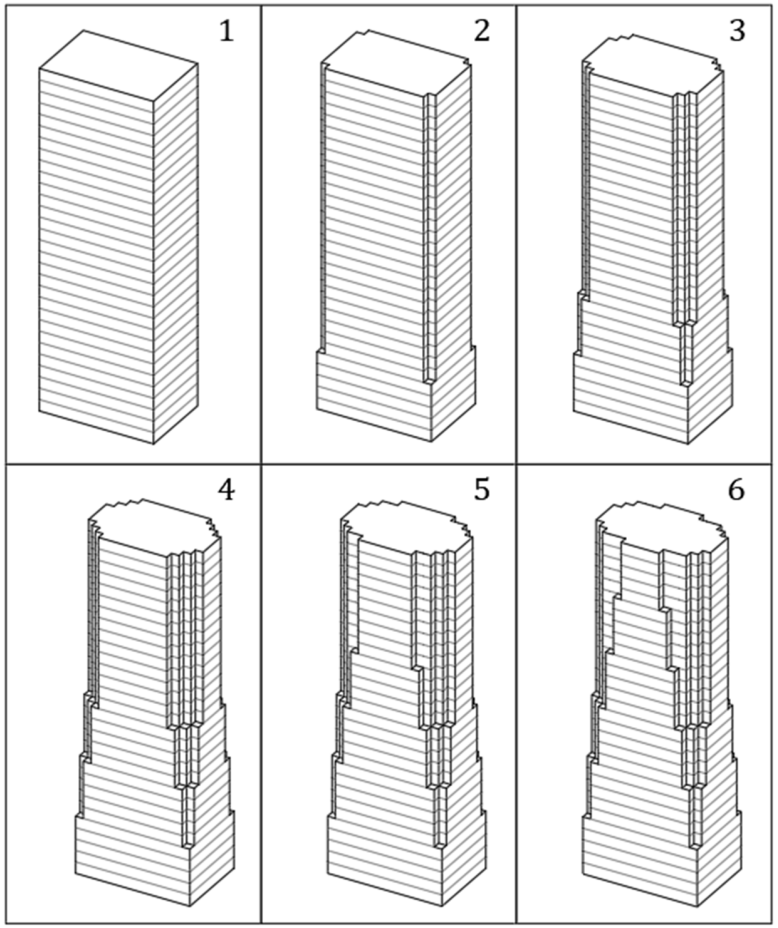


Рис. 1. Формы зданий, полученные в Rhino

После создания моделей зданий в Rhino, они были экспортированы в Rwind, где был выполнен расчет аэродинамических коэффициентов *c*, учитывающих влияние ветра на фасад зданий различной формы. Полученные результаты расчета аэродинамических коэффициентов отображены на рис. 2. В Rwind был выполнен анализ влияния ветровых потоков, что позволило определить коэффициенты сопротивления и давления для каждой из моделей.

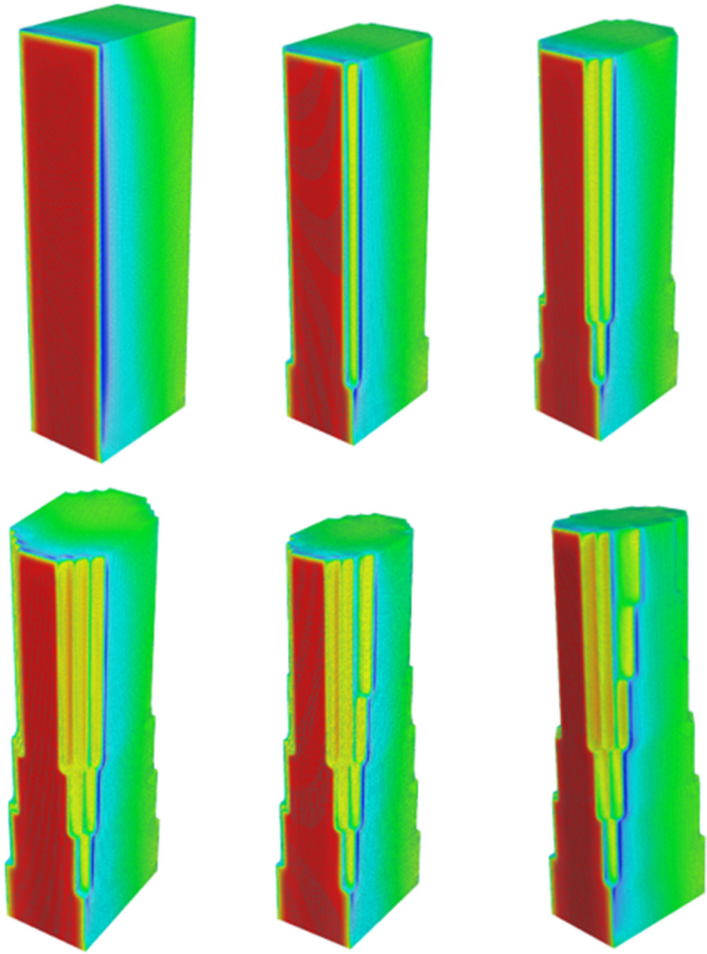


Рис. 2. Результаты расчета в Rwind

Затем полученные результаты были округлены и нанесены на исходные формы (рис. 3), что обеспечило более удобное отображение значений аэродинамических коэффициентов на каждой из моделей здания. Это позволило проанализировать распределение коэффициентов вдоль фасада зданий и наглядно увидеть их изменения.

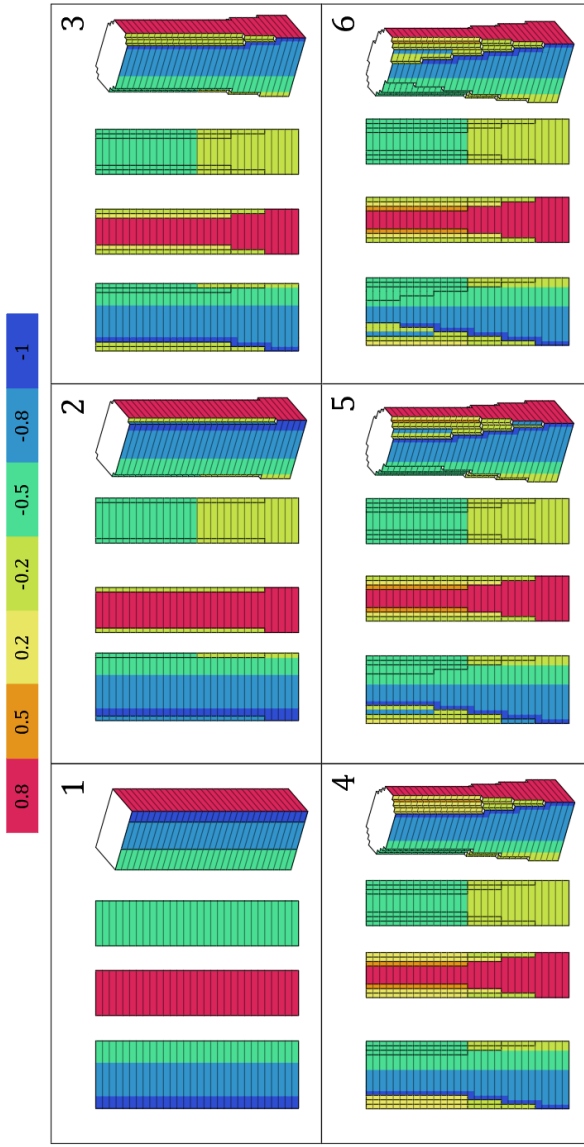


Рис. 3. Мозаика аэродинамических коэффициентов, полученных в Rwind

На основе полученных значений аэродинамических коэффициентов была построена расчетная схема в ПК «Лира – САПР», в которой были учтены размеры и геометрические характеристики форм зданий. В расчетной схеме были расставлены железобетонные пилоны и заданы нагрузки. Ветровая нагрузка задана, как нагрузка к контуру плиты, что является стандартной практикой для расчета ветровых воздействий на вертикальные конструкции.

Зная реальные значения аэродинамических коэффициентов *c*, которые были получены в Rwind и нанесены на модели зданий, возможно вычислить ветровую нагрузку для каждой формы здания. Ветровая нагрузка рассчитывалась по следующей формуле, которая соответствует методике, изложенной в своде правил по нагрузкам и воздействиям[1],

$$w = w_m + w_p,$$

где w – основная ветровая нагрузка, кН / м^2; w_p – пульсационная составляющая основной ветровой нагрузки, кН / м^2; w_m – средняя составляющая основной ветровой нагрузки, кН / м^2.

Для расчета средней составляющей основной ветровой нагрузки используется формула

$$w_m = w_0 k_{ze} c,$$

где w_0 – нормативное значение средней составляющей основной ветровой нагрузки, кН / м^2; k_{ze} – коэффициент, учитывающий влияние высоты на давление ветра; c – аэродинамический коэффициент, полученный на основе расчетов в программном комплексе Rwind.

Коэффициент высоты k_{ze} для заданной высоты z_e рассчитывается по формуле

$$k_{ze} = k_{10}\left(z_e / 10\right)^{2\alpha},$$

где k_{10} – коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления для высоты z_e = 10 м; z_e – эквивалентная высота здания; α – коэффициент, определяемый в зависимости от характеристик ветра.

[1] СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*» (утв. Приказом Минстроя России от 03.12.2016 № 891/пр) (ред. от 30.12.2020) 32 с.

Пульсационная составляющая основной ветровой нагрузки была учтена автоматически в ПК «Лира – САПР», при этом для каждого этапа изменения габаритов фасада автоматически рассчитывались пульсационные составляющие воздействия ветра на здание.

После выполнения всех расчётов и внесения необходимых корректировок, были получены конечные значения ветровых нагрузок, которые использовались для анализа устойчивости и деформаций зданий.

Результаты расчета и выводы. В табл. 1 приведены результаты расчётов для шести различных форм зданий. Для каждой формы здания были вычислены следующие параметры: максимальное усилие N в пилоне, максимальное горизонтальное перемещение, удельная материалоемкость по бетону.

Таблица 1

Результаты расчета

Номер формы по рис. 3	Удельная материалоемкость, м³/м²	Максимальное усилие N в пилоне, т	Максимальное горизонтальное перемещение, мм
1	0,317	549	30,5
2	0,320	521	24,5
3	0,320	486	21,7
4	0,326	456	22,6
5	0,326	449	20,9
6	0,327	447	20,8

Иллюстрация значений горизонтальных перемещений и усилий в пилонах по результатам расчета в ПК «Лира – САПР» представлена на рис. 4.

Из табл. 1 видно, что значения удельного расхода бетона варьируются в пределах от 0,317 до 0,327 м³/м², что указывает на сравнительно небольшой разброс между анализируемыми формами зданий, что указывает на незначительное изменение расхода бетона при изменении формы фасада.

Максимальное усилие в пилоне наблюдается у Формы 1 (549 кН), а наименьшая – у Формы 6 (447 кН). Разница в усилиях составляет 18,6 %, что подтверждает положительное влияние изменения формы фасада на перераспределение усилий в несущих элементах каркаса.

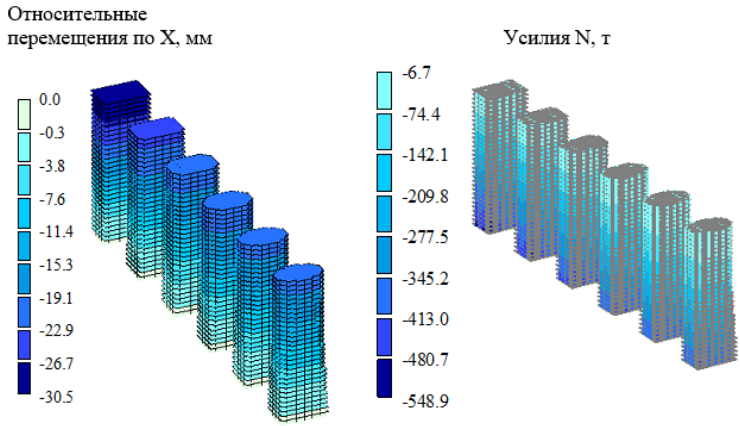


Рис. 4. Результаты расчета в ПК «Лира – САПР»

Горизонтальные перемещения также демонстрируют значительное снижение. Форма 1 имеет наибольшее перемещение (30,5 мм), тогда как Форма 6 – минимальное (20,8 мм), что свидетельствует о повышении жесткости здания, а следовательно, о возможности уменьшения размеров некоторых конструктивных элементов, что дополнительно способствует экономии ресурсов.

Проведенные численные расчеты показали, что изменение контура фасада высотных зданий оказывает значительное влияние на перераспределение аэродинамических коэффициентов и снижение ветровых нагрузок. В ходе моделирования было рассмотрено шесть различных форм зданий, отличающихся степенью сужения верхних этажей.

Эти результаты подтверждают, что оптимизация контура фасада здания, в частности с уменьшением его габаритов на верхних этажах, может не только улучшить аэродинамические характеристики, но и привести к значительной экономии строительных материалов и снижению затрат на возведение здания.

Таким образом, предложенный подход к оптимизации геометрии фасада может быть рекомендован для применения в практике проектирования высотных зданий с учетом аэродинамических факторов. Использование технологий информационного моделирования в процессе расчета позволило комплексно оценить поведение здания под воздействием ветровых нагрузок и выбрать наиболее рациональные проектные решения.

Литература

1. *Варибрус Д.С., Наконечная А.С., Суликова В.А.* Воздействие ветровой нагрузки на высотные здания и меры, уменьшающие ее воздействие // Инновационная наука. 2020. № 12. С. 45–50. EDN: ZYH123.

2. *Глухов И.О., Гасилина С.П., Варламова Т.В.* Проблемы устойчивости высотных зданий при действии ветровых нагрузок // Техническое регулирование в транспортном строительстве. 2020. № 5(44). С. 359–363. EDN: NCINOF.

3. *Liu Y., Kopp G.A., Chen S.* Effects of plan dimensions on gust wind loads for high-rise buildings // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 2019. Vol. 194. P. 1–34. DOI: 10.1016/j.jweia.2019.103980.

4. *Горохов Е.В., Васылев В.Н., Лозинский Э.А., Зубенко А.В., Дроздов А.А.* Особенности обтекания ветровым потоком тел вращения в строительной аэродинамике // Металлические конструкции. 2015. Т. 21, № 2. С. 99–106. EDN: UNTBEH.

5. *Гувернюк С.В., Синявин А.А., Гагарин В.Г.* Метод экспресс-оценки интегральных ветровых нагрузок на высотное здание // Жилищное строительство. 2019. № 6. С. 23–30. EDN: CCRBSM.

6. *Гузеев А.С., Короткин А.И., Лебедев А.О., Роговой Ю.А.* Анализ некоторых результатов по определению аэродинамических характеристик высотных зданий // Magazine of Civil Engineering. 2009. № 3. С. 101–110. EDN: XYG456.

7. *Казакевич М.И.* Актуальные проблемы аэродинамики // Металлические конструкции. 2007. Т. 13, № 3. С. 151–161. EDN: KZPQSP.

8. *Кошкин А.А.* Анализ динамического воздействия воздушного потока на тандем моделей высотных зданий // Вестник ТГАСУ. 2014. № 2(43). С. 57–65. EDN: ABC987.

9. *Михайлова М.К., Далинчук В.С., Бушманова А.В., Доброгорская Л.В.* Проектирование, строительство и эксплуатация высотных зданий с учетом аэродинамических аспектов // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. № 10(49). С. 59–74. EDN: YGHSLD.

УДК 69.05:69.07
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.025

Алпатов Вадим Юрьевич, канд. техн. наук, заведующий кафедрой
(Самарский государственный технический университет)
E-mail: avu75@mail.ru, ORCID: 0000-0003-2707-6104
Ильдияров Евгений Викторович, канд. техн. наук, доцент
(Самарский государственный технический университет)
E-mail: ildevgenii @mail.ru, ORCID: 0000-0003-4178-2443
Алпатов Артем Вадимович, студент
(Московский физико-технический институт)
E-mail: artemalpatov2@gmail.com, ORCID: 0000-0003-0356-615X

Alpatov Vadim Yurievich, PhD in Sci. Tech., Head of Chair
(Samara State Technical University)
Ildiyarov Evgeniy Viktorovich, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Samara State Technical University)
Alpatov Artem Vadimovich, student
(Moscow Institute of Physics and Technology)

ПРИМЕНЕНИЕ BIM-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТ ПО ЗАМЕНЕ ТЯЖЕЛОГО ТЕПЛООБМЕННИКА ПЕЧИ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

APPLICATION OF BIM TECHNOLOGIES TO SOLVE THE PROBLEM OF ORGANIZING WORK TO REPLACE A HEAVY HEAT EXCHANGER OF A FURNACE OF AN EXISTING ENTERPRISE

Представлены результаты решения практической задачи организации работ монтажников на строительной площадке. Осуществлена организация безопасного выполнения работ по демонтажу и монтажу тяжелого теплообменника на большой высоте. С помощью инструментов BIM-технологии было выполнено проектирование вспомогательной конструкции – монтажной эстакады. Задача решалась с помощью 3D-моделирования эстакады, ее автоматизированного расчета и полу автоматизированной разработки деталировочных чертежей. При выполнении проектных работ были применены следующие программные комплексы: AutoCAD,

СПДС GraphiCS, SolidWorks, Лира, Excel. Применение BIM-инструментов позволило сократить время на выполнение строительно-монтажных работ.

Ключевые слова: моделирование, 3D, BIM, стадии жизненного цикла, монтажная эстакада, стесненные условия.

The results of solving the practical problem of organizing the work of installers on a construction site are presented. Organization of safe dismantling and installation of a heavy heat exchanger at high altitude was carried out. Using BIM technology tools, the design of an auxiliary structure – an installation rack – was carried out. The problem was solved using 3D modeling of the overpass structure, its automated calculation and semi-automated development of detail drawings. When performing design work, the following software systems were used: AutoCAD, SPDS GraphiCS, SolidWorks, Lira, Excel. The use of BIM-tools made it possible to reduce the time required to complete construction and installation work.

Keywords: modeling, 3D, BIM, life cycle stage, assembly ramp, cramped conditions.

На сегодняшнем этапе развития технологии BIM отмечается неравномерность в обеспеченности описания различных этапов жизненного цикла объекта капитального строительства (далее по тексту ОКС) средствами информационного моделирования [1, 2]. С точки зрения наличия множества специализированных программных комплексов для создания информационной модели ОКС наиболее обеспеченной стадией жизненного цикла следует признать стадию «Проект». Для стадий «Строительство» и «Реконструкция» специализированное программное обеспечение формируется буквально у нас «на глазах». Следует отметить некоторую ограниченность современных программных комплексов для полноценного описания информационной модели ОКС на стадии «Строительство».

Недостаток программных комплексов заключается, в частности, в том, что отсутствует реализация получения в полностью автоматизированном режиме традиционной проектной документации раздела ПОС и организационно-технологической документации ППР из цифровой модели ОКС. В то же время такие возможности уже относительно давно предоставлены многими производителями программного обеспечения для информационной модели на стадии жизненного цикла «Проект». Имеется в виду, например, функция получения в автоматическом или полуавтоматическом режиме чертежей марок АР, КЖ, КМ из созданной твердотельной модели объекта [3–5].

Указанные сложности сегодня могут частично преодолеваться путем применения на стадии «Строительство» систем автоматизированного

проектирования (САПР), первоначально нацеленных для применения на стадии «Проект». Так, например, при разработке чертежей ППР и ПОС успешно применяются графические редакторы AutoCAD, nanoCAD, Компас-график и т.д., электронные таблицы Excel, Microsoft Project, связка SmetaWIZARD + PlanWIZARD и прочее. Нельзя не отметить успехи отечественных разработчиков программного обеспечения, создавших средства автоматизации проектирования стадии «Строительство», такие как ПК «Гектор: Проектировщик-строитель».

Активно развивается направление создания приложений-надстроек к «большим» графическим редакторам, расширяющие их инструментарий применительно к потребностям строителей. Здесь следует отметить следующих производителей и их продукты:

– «КОМПАС. Каталог: Объекты ПОС/ППР». Производитель: ООО «АСКОН-Системы проектирования»;

– «СПДС Стройплощадка». Производитель: Группа компаний CSoft;

– «nanoCAD Стройплощадка». Производитель: Группа компаний CSoft;

– «Autodesk Quantity Takeoff». Производитель: Autodesk.

Для решения большинства задач на стадиях «Строительство» и «Реконструкция» сегодня можно найти подходящий инструмент автоматизации, а возможно и несколько альтернативных вариантов. Так, например, при решении задачи организации работ по замене тяжелого теплообменника печи действующего предприятия авторами были использованы такие инструменты как: AutoCAD, СПДС GraphiCS, SolidWorks, Лира, Excel, Word.

Цель настоящей статьи заключается в представлении результатов применения BIM-инструментов при решении практической задачи ремонта и реконструкции промышленного объекта.

Перед авторами стояла задача организовать работу монтажников по демонтажу старого теплообменника и монтажу нового на рабочей отметке 20 м [6]. Исходные данные:

– выполняемые работы – демонтаж и монтаж теплообменника действующей печи;

– вес поднимаемого груза – 40 тн;

– габариты поднимаемого груза в метрах – 3,75×3,962×6,28 (B×L×H);

– монтажная отметка установки груза – 20 м;

– условия строительной площадки – стесненные, согласно классификации [7]. Описание параметров сложности площадки представлены в табл. 1.

Таблица 1

Описание характеристик и условий строительной площадки

№	Характеристика площадки и объекта строительства	Особые требования к выполнению работ
1	Заменяемое оборудование (теплообменник) работает в составе стационарного сооружения, представляющего собой многоуровневую этажерку открытого типа (рис. 1)	Теплообменник работает на действующей печи, обеспечивающей непрерывное снабжение теплоносителем заводской территории и подающей его на нужды города. Указанные обстоятельства не позволяют выполнить остановку печи на срок более 30 дней. Печь работает на газовом топливе. К работам, проводимым непосредственно с печью и теплообменником, установлены жесткие ограничения на использование огневого и сварочного оборудования, допускающие их применение только после полного отключения печи
2	Подступы к теплообменнику ограничены. С двух сторон подходы затруднены наличием несущих опорных конструкций сооружения печи и наличием связанного с теплообменником оборудования	

К организации производства работ были предъявлены следующие требования:

– безопасность выполнения строительно-монтажных работ (СМР);

– возможность реализации работ с максимальным использованием средств малой механизации;

– ограничение по применению монтажной сварки на строительной площадке;

– выполнение большей части СМР до начала выполнения работ по демонтажу-монтажу оборудования;

– выполнение работ по демонтажу-монтажу в течении 30 дней.

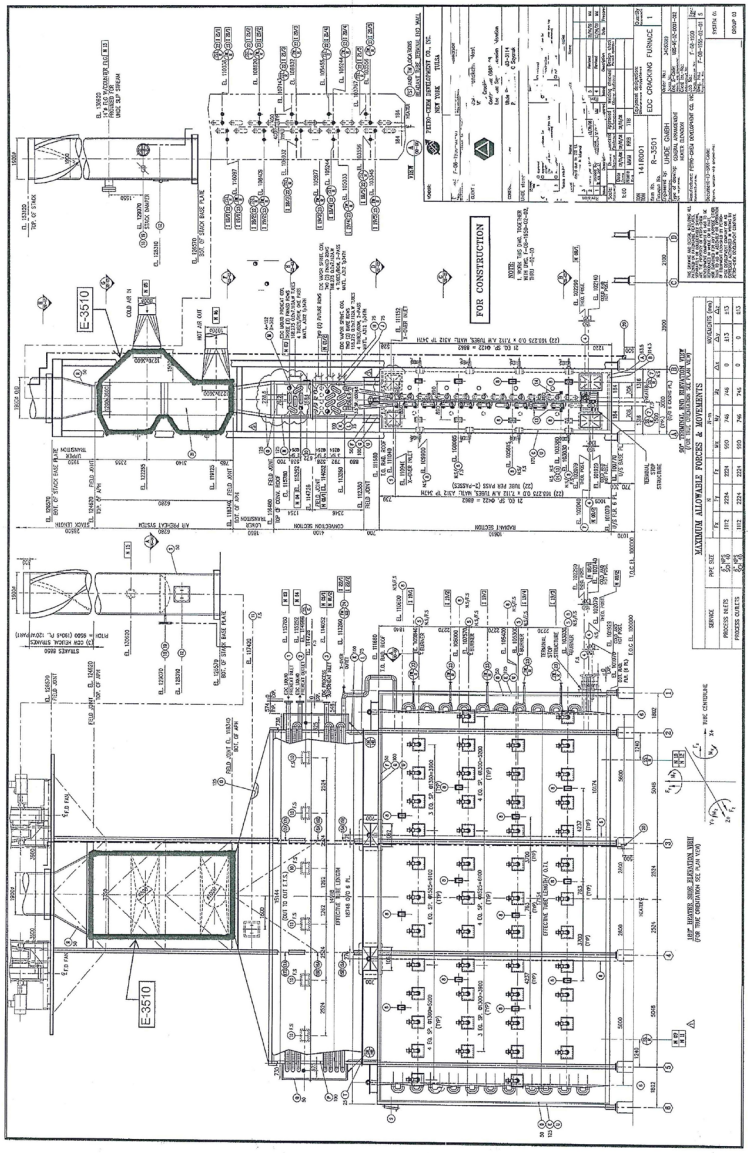


Рис. 1. Фасад и поперечный разрез печи (проектные материалы)

Для реализации поставленной цели были выполнены следующие мероприятия:

– изучение имеющейся проектной документации;

– натурное обследование существующей печи;

– уточняющие обмерные работы;

– анализ площадки строительства на предмет доступности работы строительной техники;

– эскизная проработка конструктивной схемы монтажной эстакады;

– согласование конструкции монтажной эстакады с подрядной организацией и заказчиком;

– разработка 3D-модели монтажной эстакады;

– расчет модели эстакады на монтажные нагрузки с подбором сечений ее элементов и проработкой узловых соединений;

– разработка проекта монтажной эстакады.

Далее представлены результаты моделирования и расчета монтажной эстакады. Она запроектирована в металлических конструкциях. Были применены прокатные профили из двутавра, швеллера, квадратной трубы и уголков. Конструкция представляет собой рабочую площадку, оборудованную путями подвески для ручных талей. Запроектированное сооружение представляет собой пространственную несвободную раму, завязанную в единый каркас с конструкциями существующей стационарной лестницы шахтного типа (рис. 2). Использование существующей лестницы для целей проекта было обосновано в результате ее натурного обследования и расчетной проверки с учетом монтажных нагрузок. Рабочая площадка эстакады оборудовалась ограждением и перилами для крепления страховочных тросов монтажников. Ручная таль применена для подъема и перемещения монтируемого груза вдоль рабочей площадки. Подъем груза на рабочую площадку выполнялся строительным краном на гусеничном ходу.

Разработка 3D-модели эстакады позволила предусмотреть все особенности работы техники и монтажников для выполнения демонтажа старого теплообменника и монтажа нового. Моделирование помогло с высокой точностью проработать геометрические характеристики эстакады, обеспечивавшие безопасное проведение работ на высоте. Модель позволила рассчитать требуемое положение, траекторию движения и высоту подъема крюка ручных талей. Это дало возможность в стесненных условиях строительной площадки разместить пути подвески талей, определить минимальные необходимые консольные свесы путей за пределы рабочей площадки для удобства подъема и перемещения груза.

Созданная 3D-модель была рассчитана на прочность, устойчивость и жесткость средствами ПК Лира и расчетного приложения CosmosWorks. После корректировок сечений элементов эстакады и увязок технологических и организационных требований монтажников созданная модель была использована для разработки деталировочных чертежей марок КЖ и КМ (рис. 3). Заготовки для чертежей были получены в автоматическом режиме из твердотельной модели эстакады в ПК SolidWorks и затем в полуавтоматическом режиме были доработаны в ПК AutoCAD с дополнительным модулем СПДС GraphiCS. Формирование расчетно-пояснительной записки было выполнено с применением ПО Excel и Word.

Выводы по работе. В результате применения инструментов технологии BIM была решена задача по безопасной и оперативной замене тяжелого теплообменника на действующем производстве в стесненных условиях строительной площадки. Применение трехмерного моделирования при создании строительных объектов позволяет избежать потенциальных ошибок проектирования при изготовлении строительных конструкций. Это особенно важно в условиях стесненности площадки строительства и ограниченности времени, отпущенного строителям для выполнения работ. Четко выверенная и до мелочей в деталях проработанная виртуальная модель будущей конструкции монтажной эстакады позволила выполнить ее изготовление и монтаж без потерь времени на исправление случайных ошибок и корректировок «по месту». Применение BIM-технологии при строительстве и реконструкции зданий и сооружений позволяет значительно снизить затраты на СМР, сократить сроки выполнения работ и, как итог, повысить конкурентоспособность подрядчиков, применяющих указанную технологию на практике.

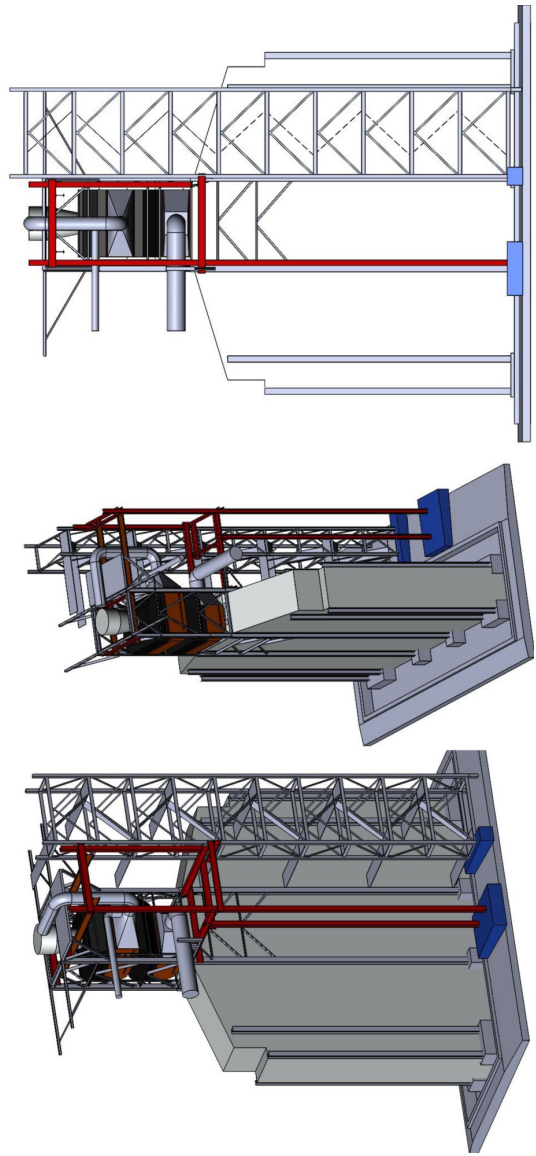


Рис. 2. 3D-модель монтажной эстакады

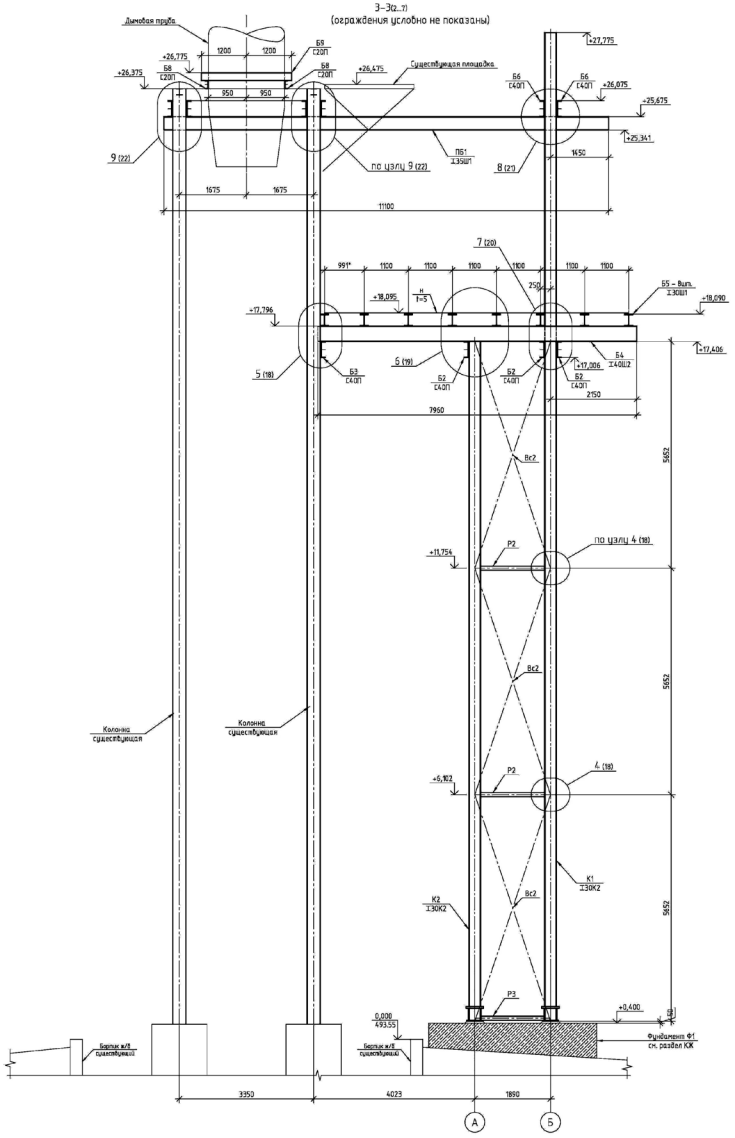


Рис. 3. Фасад эстакады (проект КМ)

Литература

1. *Абалтусов Ю.А., Чатуров В.В.* BIM-технологии. Проблемы их внедрения и перспективы развития в строительстве и проектировании // Молодой ученый. 2019. № 25(263). С. 151–153. EDN: DGJJKM.

2. *Грахов В.П., Мохначев С.А., Иштряков А.Х.* Развитие систем BIM проектирования как элемент конкурентоспособности // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1-1. С. 580. EDN: VIEEQB.

3. *Бачурина С.С.* Информационное моделирование: методология использования цифровых моделей в процессе перехода к цифровому проектированию и строительству. Ч. 3: Примеры лучших практик использования цифровых моделей в градостроительстве. М. : ДМК Пресс, 2022. 192 с.

4. *Бовтеев С.В., Евстифеева Е.С.* Применение 4D-моделей для визуализации возведения сборно-монолитного каркаса здания // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : мат-лы VI Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб. : СПбГАСУ, 2023. С. 20–25. EDN: NJATCF.

5. *Alpatov V., Saharov A.* Variant Design of Metal Dome Frame // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 661. P. 012086. DOI: 10.1088/1757-899X/661/1/012086. EDN: FMGEFU.

6. *Чепурненко А.С., Ильдияров Е.В., Алпатов В.Ю.* Проектирование монтажной эстакады для организации работ на высоте по демонтажу-монтажу тяжелого оборудования // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство и строительные технологии : сб. статей 81-й Всеросс. научно-техн. конф. Под ред. М.В. Шувалова, А.А. Пищулева, А.К. Стрелкова. Самара : СамГТУ, 2024. С. 1031–1041. EDN: MIYENC.

7. *Бельчевский Р.О.* Классификация стесненных условий, влияющих на выбор организационно-технологических систем по возведению зданий и сооружений // Экономика строительства. 2023. № 4. С. 126–130. EDN: FQZXWV.

УДК 69.05:624.05
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.026

Белова Виктория Александровна, магистрант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: belovavika2001@mail.ru, ORCID: 0009-0005-6418-902X
Бовтеев Сергей Владимирович, канд. техн. наук, доцент
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: sbovteev@lan.spbgasu.ru, ORCID: 0000-0002-2765-9329

Belova Victoria Alexandrovna, Master's degree student
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)
Bovteev Sergei Vladimirovich, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ С ПОМОЩЬЮ РОБОСОБАК В ЦЕЛЯХ 4D-МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕКОНСТРУКЦИИ

APPLICATION OF LASER OBJECT SCANNING TECHNOLOGY USING ROBOT DOGS FOR 4D RECONSTRUCTION MODELING PURPOSES

В работе рассмотрено применение технологии проведения обмерных и фиксационных работ с помощью лазерного сканирования на объектах реконструкции. Проанализированы такие методы лазерного сканирования как наземное, воздушное и мобильное. Показано применение технологии лазерного сканирования на труднодоступных объектах и на объектах, где сохраняется угроза обрушения. Рассмотрено использование робособак для лазерного сканирования в опасных условиях. Приведен кейс применения робособак для 3D-лазерного сканирования разрушенного здания в г. Пушкине. Представлены основные этапы 4D-моделирования реконструкции объекта на основании полученных в результате лазерного сканирования исходных данных. Показаны положительные и отрицательные стороны применения робособак для лазерного сканирования. Обосновано уменьшение размеров облака точек при 3D-моделировании с целью дальнейшего формирования 4D-модели процесса реконструкции.

Ключевые слова: информационная моделирование, лазерное сканирование, реконструкция, робособака, 4D-моделирование.

The paper considers the application of technology for conducting measurement and recording works using laser scanning at reconstruction sites. Various laser scanning methods are analyzed. The application of laser scanning technology at hard-to-reach sites and at sites where there is a threat of collapse is considered. The use of robot dogs for laser scanning in hazardous conditions is considered. A case of using robot dogs for 3D laser scanning of a destroyed building in Pushkin is presented. The main stages of 4D modelling of the reconstruction of an object based on the initial data obtained as a result of laser scanning are presented. The positive and negative aspects of using robot dogs for laser scanning are shown. The reduction of the point cloud size during 3D modeling is justified for the purpose of further formation of a 4D reconstruction model.

Keywords: BIM, laser object scanning, reconstruction, robot dog, 4D modelling.

В современном мире реконструкция зданий и сооружений играет важную роль в развитии городской инфраструктуры. Лазерное сканирование является одним из инновационных методов, используемых для повышения точности и эффективности процесса реконструкции. Использование лазерного сканирования позволяет упростить процесс съемки объектов со сложной геометрией и сократить временные и финансовые затраты. Однако существует ряд факторов, негативно влияющих на эффективность применения лазерного сканирования и использования его результатов [1], например, обеспечение безопасности проведения работ.

Лазерное сканирование – это технология создания цифровой трехмерной модели объекта путем представления его в виде набора точек с пространственными координатами. В основе этой технологии лежат новейшие геодезические приборы – лазерные сканеры, способные быстро и точно (со скоростью несколько десятков тысяч точек в секунду) измерять координаты точек поверхности объекта. Полученный в результате набор точек называется «облаком точек», который впоследствии может быть преобразован в трехмерную модель объекта или в плоский чертеж, что может быть использовано на этапе проектирования и реконструкции.

Существует несколько методов лазерного сканирования, которые можно классифицировать по различным критериям, включая тип устройства, способ сбора данных и область применения. К ключевым методам относят [2]:

1. Наземное лазерное сканирование (НЛС) – предусматривает установку устройств для сканирования на земле. Данный метод используется чаще всего для проведения топографической съемки и создания точных трехмерных моделей.

2. Воздушное лазерное сканирование (ВЛС) или аэрофотосъемку – подразумевает установку сканеров на воздушных или спутниковых

платформах. Такой метод позволяет получить данные для создания различных карт в геодезии или же для моделирования городской инфраструктуры.

3. Мобильное лазерное сканирование – предполагает установку устройств непосредственно на движущиеся транспортные средства, например, на дроны или автомобили. Метод применяется в транспортной инфраструктуре и градостроительстве.

Целью данной статьи является оценка целесообразности и эффективности применения лазерного сканирования с помощью робособак в условиях труднодоступных и опасных мест для человека. Такими местами могут быть объекты реконструкции в тех случаях, например, когда необходимо воссоздавать разрушенное здание или сооружение на основе архивных и археологических исследований.

В таких случаях может быть целесообразно применение робособак. Роботы создают точные 3D-модели объектов, выполняя лазерное сканирование. В результате проведенного анализа были найдены случаи удачного опыта применения робособак [3]. Робособака представляет собой универсальную платформу для использования в промышленности и строительстве (рис. 1). Эта роботплатформа адаптируется к сложному рельефу ландшафта, способна передвигаться по лестницам и перешагивать препятствия. В случае переворота или падения устройство самостоятельно поднимается и продолжает выполнение задач. Все эти свойства делают робособаку применимой в труднодоступных и опасных условиях. Также стоит отметить, что робот может функционировать бесперебойно при любых погодных условиях в течение нескольких часов. Однако робособака не сможет заменить полностью специалиста, так как представляет собой самостоятельно передвигающийся штатив для сканера, которым должен управлять человек.

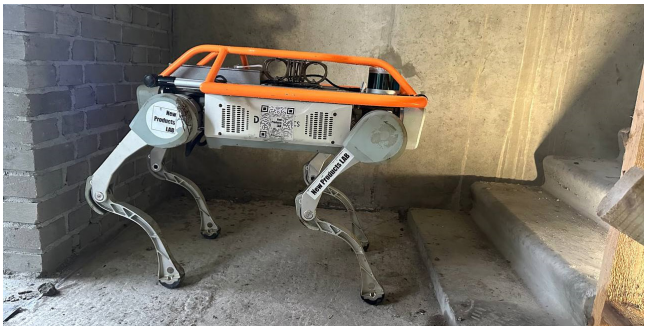


Рис. 1. Тестирование робособаки на строительной площадке

Известно, что некоторые российские строительные организации уже запустили тестирование данной технологии, которая потенциально может помочь с мониторингом качества и скорости строительства [4].

Представим следующий кейс, в котором принимал участие один из авторов статьи. В реконструируемом здании, расположенном в городе Пушкине, районе Гуммолосары, при осмотре было зафиксировано обрушение конструкций покрытия (рис. 2).



Рис. 2. Участок обрушения перекрытия

Обрушение конструкций покрытия произошло на нижерасположенное перекрытие – монолитную плиту, на нижней грани которой были выявлены трещины (рис. 3).

На основании выполненного осмотра конструкций сделан вывод о необходимости выполнения обследования поврежденного монолитного перекрытия. Дана рекомендация выполнить 3D-лазерное сканирование поврежденного перекрытия в границах зоны обследования после полного демонтажа обрушившихся конструкций (разгрузки перекрытия) для фиксации деформаций, возникших в процессе обрушения.



Рис. 3. Зафиксированные трещины на плите перекрытия

Согласно Приказу Минтруда Российской Федерации от 11 декабря 2020 г. № 883н «Об утверждении правил по охране труда при строительстве, реконструкции и ремонте» разборку (разрушение) строений необходимо осуществлять на основе решений, предусмотренных в организационно-технологической документации на производство работ. Указанные решения должны быть приняты после проведения обследования общего состояния строения, а также стен, колонн и прочих конструкций[1].

Так, в целях безопасности специалистов было принято решение выполнить 3D-лазерное сканирование строения с помощью новой цифровой технологии – робособаки. Для сканирования объекта реконструкции применялся сканер производителя Leica Geosystems RTC360. Сканер был закреплен на корпусе робособаки, управляемой специалистом с помощью встроенных камер и планшета. Таким образом, было выполнено сканирование этажа длиной 73,6 м и шириной 25,75 м, в результате чего было получено облако точек с высокой точностью (рис. 4).

[1] Приказ Минтруда Российской Федерации от 11 декабря 2020 г. № 883н «Об утверждении правил по охране труда при строительстве, реконструкции и ремонте» (рег. в Минюсте России 24.12.2020 № 61787).

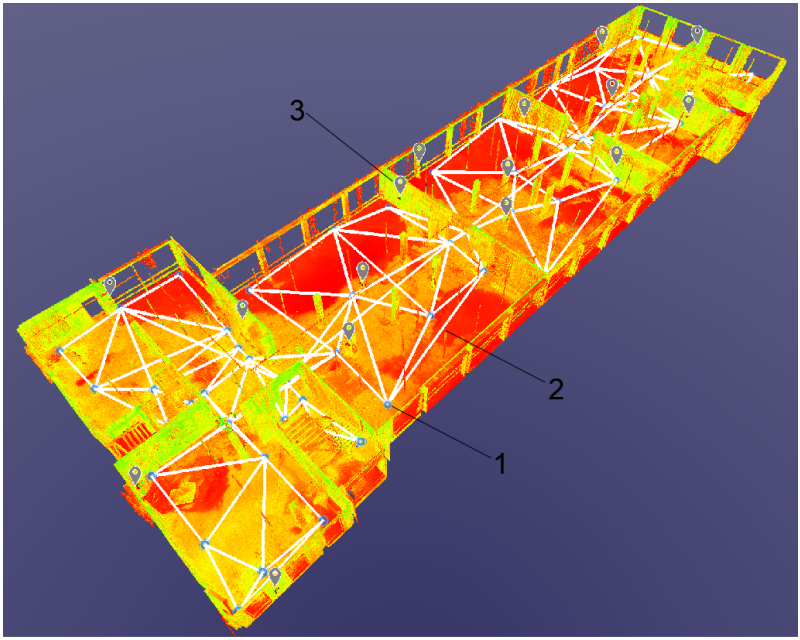


Рис. 4. Облако точек со станциями сканирования: *1* – станция сканирования; *2* – связи между двумя станциями сканирования; *3* – геометка, обозначающая местоположение внутренней геодезической основы этажа

На основании полученных данных появилась возможность формирования 3D-модели объекта реконструкции в том числе и для последующего 4D-моделирования реконструкции.

Можно выделить следующие основные этапы 4D-моделирования (т. е. синхронизации работ календарно-сетевого графика реконструкции с элементами 3D-модели здания [6]) с использованием лазерного сканирования:

1. Сканирование объекта и получение облака точек.

2. Формирование полигональной модели существующих конструкций.

3. Формирование цифровой информационной модели здания.

4. Создание 4D-модели на основе цифровой информационной модели.

В процессе анализа кейса были отмечены как положительные, так и отрицательные факторы применения робособак. Так, из плюсов можно

выделить возможность проходить в труднодоступные и опасные места, возможность проведения мониторинга на строительных площадках и способность проведения робособаками обмерных и фиксационных работ. В качестве недостатков отмечается высокая стоимость (около 10 млн рублей), а также отсутствие достаточного опыта применения данной технологии. Однако, когда речь идет о жизни и здоровье людей в случаях опасности последующего обрушения конструкций непосредственно в период проведения сканирования, робособаки могут оказаться единственной корректной технологией.

Установлено, что лазерное сканирование является самым оперативным и высокопроизводительным средством получения точной и полной информации о пространственном объекте [5]. В результате интеграции полученных результатов лазерного сканирования и четырехмерной модели в программном обеспечении Autodesk Navisworks Manage создается информационная модель объекта реконструкции, которая позволяет детально показать ведение работ на объекте, обеспечивая высокую точность и информативность для принятия обоснованных решений в процессе реконструкции. Однако для 4D-моделирования высокая точность не нужна, ее основная цель – визуализация хода реконструкции. Поэтому предлагается уменьшать размер облака точек посредством его обработки в специальном программном обеспечении, например, в Leica Cyclone REGISTER 360 или Potree, а уже затем использовать полученные упрощенные и облегченные по размеру файла 3D-модели как исходные данные для 4D-моделирования.

Благодарности

Работа выполнена в рамках реализации Инновационного образовательного проекта «Инновационная методика формирования цифровых профессиональных компетенций обучающихся и специалистов строительной отрасли» на базе Федеральной инновационной площадки ФГБОУ ВО СПбГАСУ.

Литература

1. *Бовтеев С.В., Карен К.А.* Оценка эффективности применения лазерного сканирования при организации реставрационных работ на объектах культурного наследия // Инновации и инвестиции. 2024. № 9. С. 590–593. EDN: LTMBJT.

2. *Сальников С.С., Пугин К.Г.* Лазерное сканирование при строительстве и реконструкции зданий // Актуальные вопросы современной науки и инноватики : мат-лы V Междунар. научно-практ. конф. Уфа, 2024. С. 205–210. EDN: CGZEXK.

3. Autonomous Laser Scanning. URL: https://bostondynamics.com/solutions/digital-twin/laser-scanning/ (дата обращения: 28.01.2025).

4. Setl Group тестирует робособак на стройплощадке – Новости Setl Group от 09 октября 2024 года. URL: https://setlgroup.ru/news/robosobaka (дата обращения: 28.01.2025).

5. *Кошан Е.К.* Возможности, преимущества и недостатки наземного лазерного сканирования // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. 2017. Т. 9, № 1. С. 27–30. EDN: YUEHDL.

6. *Бовтеев С.В., Колесников С.В., Шерстобитова П.А.* Календарно-сетевое планирование строительства на основе 4D-моделей // Управление проектами и программами. 2020. № 4. С. 276–284. EDN: HPKXVB.

УДК 624.21+004.94
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.027

Вин Ко Мьинт Ту, аспирант
(Российский университет транспорта (РУТ/МИИТ))
E-mail: winkomyint@mail.ru, ORCID: 0009-0001-1751-5348

Win Ko Myint Thu, postgraduate student
(Russian University of Transport (RUT/MIIT))

ОСОБЕННОСТИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ТЕХНОЛОГИИ BIM ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ОБЪЕКТОВ

FEATURES OF PARAMETRIC MODELING IN BIM TECHNOLOGY FOR THE DESIGN OF TRANSPORT FACILITIES

Программное обеспечение для технологии информационного моделирования (BIM) позволяет пользователям создавать цифровые двойники конструкций и использовать их на всех стадиях жизненного цикла. Процесс создания рабочей документации автоматизирован. Поскольку параметрическое моделирование в среде BIM обеспечивает прочную основу для улучшения процессов проектирования, повышения эффективности и сотрудничества между междисциплинарными заинтересованными сторонами, работающими над такими крупными проектами, как дороги, мосты, железные дороги и аэропорты, оно становится все более важным инструментом в области транспортной инфраструктуры. Предлагаемый вариант информационного моделирования позволит более эффективно проектировать мостовые конструкции со сложной геометрией и выбирать оптимальный вариант, поскольку модель легко модифицировать в соответствии с заданными требованиями на начальных этапах проектирования. В этой статье параметрические скрипты генерируются с помощью языка визуального программирования Grasshopper, а затем интегрируются в программное обеспечение Tekla Structures для BIM.

Ключевые слова: BIM, мост, информационное моделирование, параметрическое моделирование, транспорт.

Information Modeling Technology (BIM) software allows users to create digital counterparts of structures and use them at all stages of the life cycle. The process of creating working documentation is automated. Because it provides a strong framework for enhancing design processes, efficiency, and cooperation among multidisciplinary stakeholders working on major projects like roads, bridges, railroads, and airports, parametric modeling in BIM environments has emerged as an increasingly vital tool in the field of transportation infrastructure. The proposed version of information modeling will allow to

design bridge structures with complicated geometry more efficiently and choose the best option because the model is easy to modify to meet specified requirements during the initial stages of design. In this article, parametric scripts are generated with the Grasshopper visual programming language and then integrated into the BIM Tekla Structures software.

Keywords: BIM, bridge, information modeling, parametric modeling, transport.

Постоянное развитие технологий, используемых в области архитектуры, инжиниринга, строительства и эксплуатации (AECO), стимулирует рост новых потребностей. В настоящее время BIM-технологии применяются при возведении большинства зданий, но в транспортном строительстве таких объектов гораздо меньше. Использование технологии информационного моделирования в ряде случаев позволяет существенно уменьшить расход строительных материалов. Крупные инфраструктурные проекты, такие как строительство мостов, реализуются все чаще. Это требует создания новых технологий для составления планов и документации, а также для обработки изменений в процессе проектирования и поступающих данных. Предыдущее поколение программного обеспечения для создания чертежей (например, AutoCAD) позволяло создавать проектную документацию, хранить ее в электронном виде и вносить необходимые изменения, но отсутствовала единая база данных. В настоящее время в России и во многих странах широко применяется технология информационного моделирования, которая позволяет обращаться к единой базе данных всем участникам проекта.

При работе со сложной геометрией мостовых конструкций возможности инструментов BIM весьма ограничены, хотя они являются одними из самых мощных для моделирования простых и сложных конструктивных элементов. Традиционный процесс ручного проектирования может занимать много времени, содержать ошибки и увеличивать сроки проектирования и согласования. Обзор последних публикаций показал, что параметрическое моделирование в среде BIM повышает эффективность этого процесса и интероперабельность [1]. Технологии информационного и параметрического моделирования всё чаще используются при проектировании инфраструктуры благодаря инструментам BIM-проектирования [2]. При параметрическом моделировании разработчик скрипта вводит параметры, которые служат основой для создания геометрии, а затем выполняет необходимые вычисления. Сложные и крупные сооружения можно разделить на более мелкие части, такие как пролетное строение, подъездные пути и опорные конструкции, чтобы упростить и ускорить процесс. Затем, объединив эти небольшие элементы, можно создать единую визуальную модель, которая обеспечивает полный обзор всего сооружения.

Целью этой статьи является разработка параметрических мостовых элементов, способных генерировать все типы мостовых конструкций из одного параметрического файла. Процесс проектирования, разработки, управления и эксплуатации строительных объектов полностью меняется в связи с цифровизацией всех этапов. Информационное моделирование представляет собой более высокий уровень автоматизации проектирования. Использование информационного и параметрического моделирования улучшает процесс проектирования за счет сокращения времени и усилий. Для создания информационной модели обычно требуется специальное программное обеспечение. Сочетание визуального программирования Grasshopper и Tekla Structures – это мощное программное обеспечение, которое может автоматически обновлять любые изменения в дизайне. Разрабатывая алгоритм внутри Grasshopper, можно создавать элементы информационной модели моста, а затем передавать информацию в Tekla Structures по прямой ссылке Grasshopper-Tekla Structures. Оптимизация дизайна моста становится проще благодаря многочисленным плагинам, удобному интерфейсу и автоматическому обновлению между этими программами.

В этой статье описывается разработанная автором параметрическая конструкция моста с использованием интерфейса визуального программирования Grasshopper (рис. 1). Основные компоненты балки (перемычка и фланцы) могут быть настроены индивидуально, толщина и выступ бетонного настила также являются параметрическими. По мере увеличения количества балок может расширяться и настил моста. Пользователю нужно только ввести данные и выбрать направляющую для отображения моста. Алгоритмы для каждого элемента моста разрабатываются с использованием подключаемых модулей. Поскольку атрибуты связаны, модель изменяется автоматически.

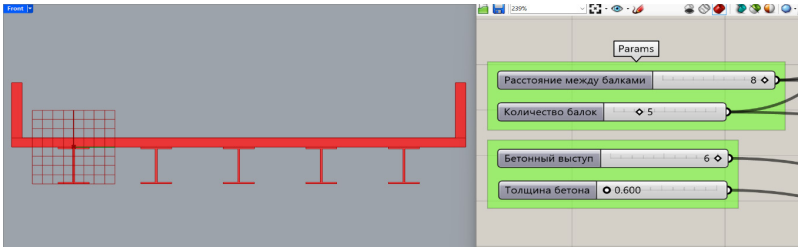


Рис. 1. Параметрический стальной балочный мост в Grasshopper

Основным направлением параметрического моделирования является учет связей между многочисленными элементами проекта и управление ими. В качестве альтернативы, каждый элемент предлагаемого проекта способен влиять на другие, что приводит к созданию сети взаимосвязанных параметров транспортной инфраструктуры. Чтобы предотвратить прогибание балок, в конструкцию необходимо включить крепления (рис. 2). Как высота крепления, так и интервал также являются параметрическими.

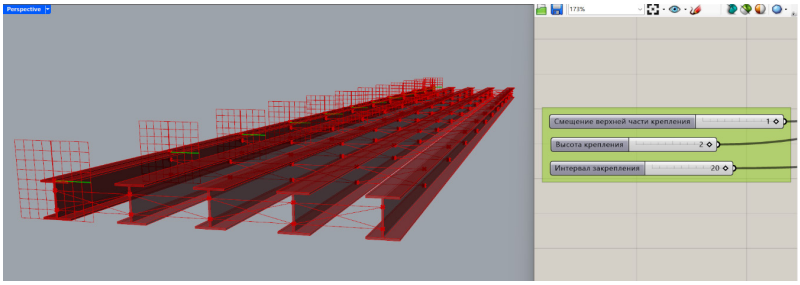


Рис. 2. Крепление для предотвращения прогиба балок

В отличие от традиционных методов, пользователь воздействует непосредственно на переменную, которая генерирует структурные компоненты, что является одним из преимуществ параметрического моделирования [3]. Для структурных расчетов и дальнейшей детализации модель может быть интегрирована с другим программным обеспечением BIM. Однако, при необходимости, пользователь должен определить, какую часть экспортировать, а не всю модель целиком. Результатом предлагаемой работы является параметрическая конструкция моста, которая легко адаптируется к изменениям конструкции и автоматически обновляется в Tekla Structures (рис. 3).

Современные технологии в проектировании, строительстве и эксплуатации транспортной инфраструктуры позволяют получать эффективные и оптимальные решения на любом этапе жизненного цикла сооружения [4]. Использование технологии информационного моделирования позволяет расширять базу свойств элементов модели путем адаптации программного обеспечения с помощью прикладного программного обеспечения, функционирующего в среде информационного моделирования. Все программы для информационного моделирования имеют инструменты для расширения функционала [5].

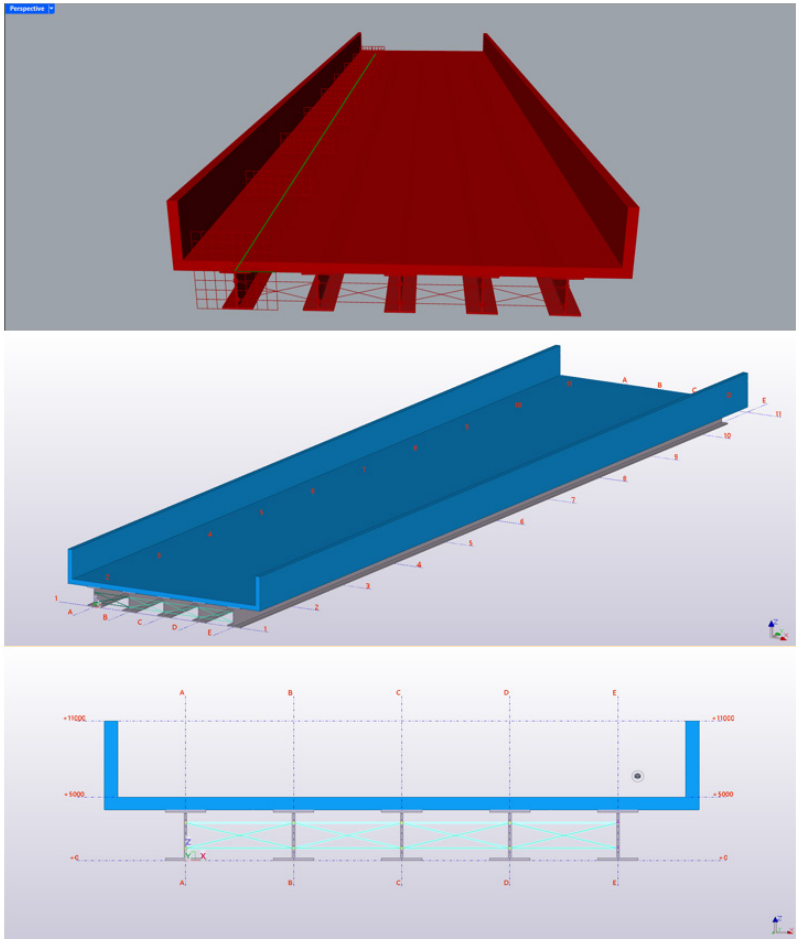


Рис. 3. Автоматическое обновление информации в Tekla Structures

В представленной работе параметрические элементы для мостов создаются с использованием дополнения Grasshopper, визуального интерфейса программирования, который позволяет быстро и просто генерировать, и модель готова к тестированию в Tekla Structures. Поскольку алгоритм разрабатывает геометрию элементов моста на основе входных параметров, нет необходимости перерисовывать модель всякий раз, когда

что-то меняется. Это значительно экономит время инженеров, особенно на стадии предварительного проектирования.

Сочетание параметрического моделирования и BIM снижает риск потери данных и человеческих ошибок, обеспечивая при этом визуализацию быстрого реагирования благодаря оперативной интеграции программного обеспечения. Проектирование транспортной инфраструктуры может быть выполнено быстрее, с большей гибкостью и с меньшим количеством ошибок за счет использования параметрической модели и BIM. Представленный визуальный скрипт позволяет централизованно хранить информацию в одном файле и оптимизировать дизайн для определения наиболее надёжного и эффективного решения. Введя исходные данные, можно легко изменить ширину, высоту, длину и отдельные конструктивные элементы моста.

Литература

1. *Girardet A., Boton C.* A parametric BIM approach to foster bridge project design and analysis // Automation in Construction. 2021. Vol. 126. P. 103679. DOI: 10.1016/j.autcon.2021.103679. EDN: PXBSWC.

2. *Luis Q., Wilfredo U.* Application of BIM Tools in Parametric and Generative Design for the Conception of Complex Structures // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021. Vol. 1203, No. 2. P. 022070. DOI: 10.1088/1757-899X/1203/2/022070. EDN: HXWFMW.

3. *Frangedaki E., Sardone L., Marano G.C., Lagaros N.D.* Optimisation-driven design in the architectural, engineering and construction industry // Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Structures and Buildings. 2023. Vol. 176, No. 12. P. 998–1009. DOI: 10.1680/jstbu.22.00032.

4. *Вин К.М.Т.* Возможности и преимущества использования параметрических скриптов в информационном моделировании мостовых сооружений // Транспортное строительство. 2024. № 2. С. 27–29. EDN: AYYRUK.

5. *Вин К.М.Т.* Особенности использования и адаптации BIM-технологии для проектирования транспортных объектов // Современное состояние, проблемы и перспективы развития отраслевой науки : мат-лы VIII Всеросс. конф. с междунар. участием. М., 2023. С. 30–32. EDN: OYTYYC.

УДК 004:69.003.12
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.028

Ивянский Александр Матвеевич, генеральный директор
(НПФ «Гектор»)
E-mail: ivyanskiy@gektorstroi.ru
Лавреняк Светлана Николаевна, начальник отдела проектирования
и разработки информационных систем в ценообразовании
(ГАУ «Мосгосэкспертиза»)
E-mail: lsn2601@mail.ru
Горинский Максим Евгеньевич, президент ассоциации; генеральный директор
(Ассоциация развития цифровых решений в сфере стоимостного инжиниринга,
ценообразования и технологий информационного моделирования (АРСИТИМ),
ООО «Галактика Информационных Технологий»)
E-mail: info@arsitim.ru

Ivyansky Alexander Matveyevich, General Director
(NPF "Gektor")
Lavrenyak Svetlana Nikolaevna, Head of the Department
of Design and Development of information systems in pricing
(GAU "Mosgosexpertiza")
Gorinsky Maxim Evgenievich, President of the Association; General Director
(Association for the Development of Estimates and BIM (ARSITIM),
"Galaktika Information Technologies", LLC)

СМЕТНО-НОРМАТИВНЫЕ БАЗЫ И ТЕХНОЛОГИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ – ПУТЬ НАВСТРЕЧУ

COST ESTIMATES AND REGULATORY FRAMEWORKS AND INFORMATION MODELING TECHNOLOGY ARE THE WAY FORWARD

В статье рассматриваются проблемы интеграции внедряемых технологий информационного моделирования (ТИМ) с существующими методами проектирования на примере сметного ПО и адаптации действующих сметно-нормативных баз для использования с цифровой информационной моделью (ЦИМ). В настоящее время наблюдается активная работа по унификации подходов к формированию информационной модели (ЦИМ), включая сметную документацию. Для обеспечения единообразия смет существуют установленные требования и методики. При этом необходимо отметить, что достижение максимальной точности расчета стоимости строительства в настоящий момент остается сложной задачей. Существующие

разночтения в трактовке применения соответствующих нормативов будущих проектов среди сметчиков усложняют процесс унификации и формирования единых стандартов.

Ключевые слова: ценообразование в строительстве, ТИМ в сметном деле, сметно-нормативная база, машиночитаемый формат, XML.

The article discusses the problems of integrating building information modeling (BIM) with existing design methods using the example of cost-effective software and adapting existing cost-effective regulatory frameworks for use with the digital information model. Currently, there is an active effort to unify approaches to the formation of an information model, including cost estimates. To ensure uniformity of estimates, there are established requirements and methods. At the same time, it should be noted that achieving maximum accuracy in calculating construction costs remains a difficult task at the moment. The existing discrepancies in the interpretation of the application of the relevant standards for future projects among cost estimators complicate the process of unification and the formation of uniform standards.

Keywords: pricing in construction, BIM in cost-effective business, cost-effective regulatory framework, machine-readable format, XML.

Использование проектов в технологии информационного моделирования (ТИМ) для разработки сметной документации обсуждается достаточно широко, однако успешных практических примеров пока, к сожалению, не так много [1, 2]. На рынке существует несколько хорошо проработанных программных комплексов (ПК) для решения этой задачи, однако количество организаций строительного комплекса, реально использующих проекты ТИМ для составления смет, не очень велико.

Причинами этого являются недостаточное количество проектов ТИМ с нужной степенью детализации, отсутствие нормативных документов с требованиями по информационному наполнению проектов ТИМ, а также неприспособленность действующих сметно-нормативных баз для совместного использования с проектами ТИМ [3].

Для достижения результата необходимо, чтобы две взаимодействующие стороны – проектировщики и сметчики – двигались навстречу друг другу. Проектировщики должны включать в проекты информацию, необходимую сметчикам для подбора сметных норм и расчета объемов работ, а разработчики сметно-нормативных баз в свою очередь должны делать свои базы более удобными и приспособленными для использования совместно с проектами.

В рамках данной статьи мы попробуем разобраться, как можно адаптировать действующие сметно-нормативные базы для использования с проектами ТИМ.

Принципиальной особенностью разработки смет на основании проекта является возможность непосредственного доступа ко всем характеристикам элементов проекта. При традиционной технологии составления смет такого доступа нет.

Рассмотрим простейший пример. В проекте есть несколько железобетонных стен разной толщины и высоты. В федеральной сметно-нормативной базе[1] для определения стоимости возведения таких стен есть таблица ГЭСН 06-06-002 «Устройство железобетонных стен и перегородок». В ней приведено 17 норм, отличающихся толщиной (от 100 до 1000 мм) и высотой (до 3 м, от 3 до 6 м, более 6 м) стен. Количество норм и разбивка по диапазонам толщины и высоты может измениться при выходе дополнений к ФСНБ. Для составления сметы надо определить объемы (в $м^3$) для каждого сочетания толщины и высоты стен, встречающихся в проекте.

При традиционной технологии составления смет либо проектировщик предварительно выводит из проекта какую-то таблицу (спецификацию, ведомость объемов работ), содержащую информацию по характеристикам стен и их объемам, либо сметчик сам извлекает эту информацию из чертежей. В любом случае в сметной программе сметчик добавляет нормы в смету вручную. В лучшем случае существует какая-то автоматизация по вводу объемов работ из таблицы – ведомости объемов, но и это бывает далеко не всегда. Причина этого понятна: в сметной программе нет размеров и объемов стен, то есть доступа к информации из проекта, а у проектировщика нет доступа к сметно-нормативной базе, да и работать с ней он не умеет.

Однако при использовании проектов ТИМ ситуация меняется. В программных комплексах (ПК) для разработки смет на основании ТИМ есть доступ как к сметно-нормативной базе, так и к проекту. Работает с этим ПК сметчик, отлично знакомый со сметно-нормативной базой. Казалось бы, все просто. Однако здесь как раз появляются некоторые проблемы, связанные именно со сметно-нормативной базой. Дело в том, что названия сметных норм формулируются так, что они понятны человеку с соответствующим образованием, но в некоторых случаях весьма сложны для машинного анализа.

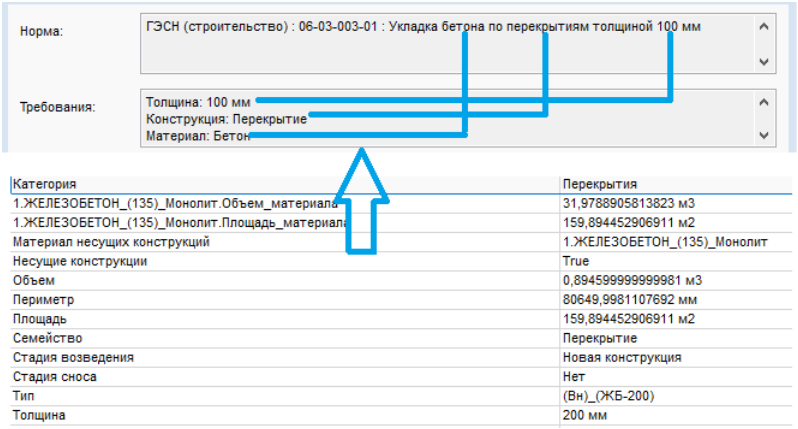
Например, одна из норм для стен имеет название «Устройство железобетонных стен и перегородок высотой: до 3 м, толщиной 100 мм». Совсем рядом в ФСНБ есть норма с таким названием: «Устройство

[1] Федеральная сметная нормативная база ФСНБ-2022, утвержденная приказом Минстроя России от 30 декабря 2021 г. № 1046/пр.

перекрытий по стальным балкам и монолитных участков при сборном железобетонном перекрытии площадью: до 5 м^2 приведенной толщиной до 100 мм». Здесь уже используется не высота, а площадь, и не толщина, а приведенная толщина. Норм в ФСНБ более 50000, и подобных вариантов там множество. Конечно, можно применить искусственный интеллект и заставить компьютер распознать смысл названий норм, но существенно проще и надежнее при разработке сметно-нормативной базы добавлять к нормам семантическую информацию, например «Толщина=100 мм» и «Высота<=3 м». Имея такую информацию и доступ к характеристикам элементов проекта, программа сможет сама назначить нормы на стены в зависимости от их толщины и высоты и получить из проекта соответствующие объемы этих стен. Аналогично можно поступить с перекрытиями, трубопроводами, окнами и т.д.

Еще одна проблема – структура таблиц нормативной базы. Например, в таблице ГЭСН 06-08-001 «Устройство перекрытий» есть 4 типа норм – для перекрытий безбалочных (нормы 1 – 4), перекрытий ребристых (нормы 5 – 6), перекрытий по стальным балкам (нормы 7 – 12), перекрытий каналов (норма 13). Параметры применения этих групп норм (толщина, высота, площадь…) разные, однако эти нормы в базе никак не отделены друг от друга. В некоторых случаях группу однотипных норм можно выделить по общему началу названия, но так происходит не всегда. Необходим анализ названия, сформулированного для понимания человеком.

Следующая проблема – связь норм с элементами проекта. Сейчас сметно-нормативная база разделена по сборникам (например, сборник ГЭСН 06 «Бетонные и железобетонные конструкции монолитные»), однако этого явно недостаточно. Для облегчения привязки сметных норм к элементам проекта было бы целесообразно дополнить нормы информацией о типе конструкции (стена, перекрытие, колонна…), материале (бетон, кирпич, металл), конфигурации (простая/сложная) и т.д. Мог бы помочь классификатор строительной информации (КСИ), но он пока, к сожалению, совершенно не привязан к сметно-нормативной базе. Значит, надо либо интегрировать КСИ и ФСНБ, либо вводить в рамках ФСНБ свои признаки классификации, соответствующие элементам проектов ТИМ (рис. 1).



Категория	Перекрытия
1.ЖЕЛЕЗОБЕТОН_(135)_Монолит.Объем_материала	31,9788905813823 м3
1.ЖЕЛЕЗОБЕТОН_(135)_Монолит.Площадь_материала	159,894452906911 м2
Материал несущих конструкций	1.ЖЕЛЕЗОБЕТОН_(135)_Монолит
Несущие конструкции	True
Объем	0,894599999999981 м3
Периметр	80649,9981107692 мм
Площадь	159,894452906911 м2
Семейство	Перекрытие
Стадия возведения	Новая конструкция
Стадия сноса	Нет
Тип	(Вн)_(ЖБ-200)
Толщина	200 мм

Рис. 1. Содержание нормы

В сметно-нормативной базе есть довольно много связанных норм. Например, ГЭСН 06-03-002-01 «Устройство подливки толщиной 20 мм» и ГЭСН 06-03-002-02 «На каждые 10 мм изменения толщины добавлять или исключать к норме 06-03-002-01». Нормы «добавлять/исключать» могут располагаться непосредственно после основной нормы, в конце этой же таблицы или даже в другой таблице. В зависимости от содержания нормы объем работ по дополнительной норме может совпадать с объемом работ основной нормы или рассчитываться отдельно, могут применяться поправки (множители) к дополнительной норме. Вся эта информация никак не формализована и должна определяться сметчиком по названиям норм. Для автоматизированного применения дополнительных норм на основании информации из проекта нужна информация о связанных нормах, классификация дополнительных норм по способу расчета объемов и поправок (рис. 2).

Код нормы	Наименование нормы
06-03-003-01	Укладка бетона по перекрытиям толщиной 100 мм
06-03-003-02	На каждые 10 мм изменения толщины добавлять или исключать к норме 06-03-003-01

Рис. 2. Связанные нормы

Отдельная тема – поправки условий работ. Поправки могут учитывать как общие условия производства работ (например, работы связаны

с вредными или опасными условиями труда), так и факторы, относящиеся к конкретной работе (например, устройство стен на большой высоте или глубине от поверхности земли). Поправки есть в технических частях сборников нормативной базы и в различных нормативных документах. Формализация применения поправок на основании информации из проекта – достаточно сложная задача. Во многих случаях информации в проекте ТИМ просто нет – нужен еще проект организации строительства. Это тоже одно из направлений для дальнейшей работы.

Отметим, что вся указанная выше дополнительная информация никак не влияет на сам расчет стоимости, то есть не требует корректировки соответствующих нормативных документов. В ФСНБ в формате XML, имеющейся на сайте Минстроя России, есть аналогичная информация, выходящая за рамки утвержденных нормативных документов. Однако есть и другие аспекты составления смет на основании проектов ТИМ – особенности применения объемов работ из проекта, использование различных расчетных параметров, способы обработки немоделируемых элементов и т.д. Для решения возникающих здесь вопросов необходима разработка новых или корректировка существующих методических и нормативных документов.

Сейчас семантическую информацию, необходимую для использования нормативных баз совместно с проектами ТИМ, добавляют и поддерживают в актуальном состоянии разработчики ПК своими силами [4]. Разумеется, полнота и корректность полученной информации полностью зависит от возможностей и компетенций разработчиков ПК. Конечно, конкуренция – это хорошо, но она должна быть на уровне возможностей ПК, а не на уровне нормативной информации. На этапе разработки нормативной базы эту информацию можно добавить с меньшими трудозатратами и с более высоким качеством, исключив тем самым возможные ошибки и неоднозначные результаты. Сама нормативная база, а также некоторая дополнительная информация к ней, предоставляется разработчикам ПК в машиночитаемом виде, что исключает ошибки, связанные с человеческим фактором, при загрузке нормативов в ПК для расчета смет. Нездоровая конкуренция между сметными программами на предмет «у кого нормативная база правильнее» практически исключена. Однако к программам для составления смет на основании проектов ТИМ такой подход пока, к сожалению, не применяется.

Изменение геометрии элемента меняет не просто объём работ, но и часто влечет за собой изменение шифра норматива, условий производства работ. Мало того, взаимосвязанные элементы цифровой информационной

модели (ЦИМ) влияют друг на друга и, как следствие, влияют на строительные технологии, то есть на нормы и расценки (рис. 3).

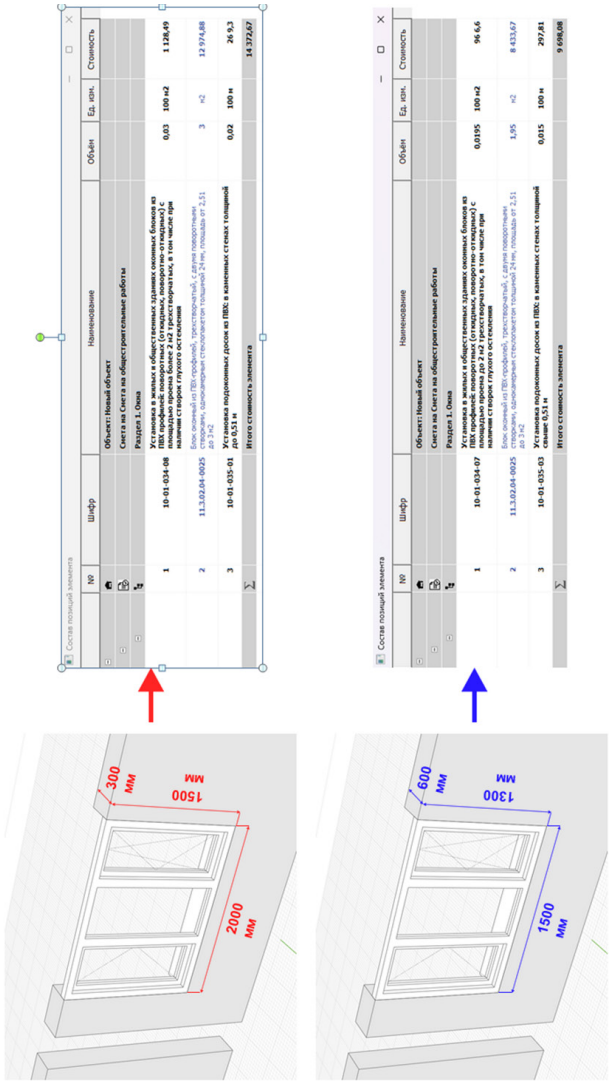


Рис. 3. Изменение площади оконного проема

Например, изменение площади оконного проёма влечет за собой изменение норматива на установку окна и объема работы по его установке. Изменение толщины стены меняет норматив на установку подоконной доски.

Нельзя сказать, что работы по адаптации сметно-нормативных баз к использованию с проектами ТИМ вообще не ведутся [5].

Главгосэкспертизой России в рамках выпуска дополнений к ФСНБ проведена большая работа по корректировке названий в нормативной базе. Подавляющее большинство названий норм однозначно воспринимается независимо от названий таблиц, единообразно обозначаются интервалы физических параметров (диаметр свыше … до …). Раньше ситуация с названиями была намного хуже.

Москомэкспертизой утверждена в 2023 году «Методика по адаптации и параметризации сметных норм, расценок и материальных ресурсов для использования при разработке проектно-сметной документации с применением технологий информационного моделирования»[1], определяющая способы добавления семантической информации к сметно-нормативной базе. Методика разработана применительно к используемой в Москве базе ТСН 2001, но может быть адаптирована и к ФСНБ. Утверждена также «Методика по применению параметризованных норм, расценок и материальных ресурсов при разработке проектно-сметной документации с использованием технологий информационного моделирования»[2], определяющая технологию разработки и применения проектно-сметных модулей (ПСМ) – средства сопоставления данных между элементами цифровой информационной модели, результирующей продукцией, технологическими процессами, материально-техническими ресурсами, оборудованием и информацией о затратах.

Для базы ТСН-2001 выполнена также работа по формализации кодов поправок технических частей, определению источников информации, обосновывающих применение поправок.

Развитие положений указанных методик может стать основой для адаптации сметно-нормативных баз для использования с проектами ТИМ.

---

[1] МОС.01.02-007.2023 «Методика по адаптации и параметризации сметных норм, расценок и материальных ресурсов для использования при разработке проектно-сметной документации с применением технологий информационного моделирования».

[2] МОС.01.02-008.2023 «Методика по применению параметризованных норм, расценок и материальных ресурсов при разработке проектно-сметной документации с использованием технологий информационного моделирования».

Безусловно, о полной автоматизации сметных расчетов речь не идет. Однако существенно облегчить труд сметчиков, избавиться от случайных ошибок, снизить затраты по корректировке сметной документации при изменениях в проекте, повысить эффективность использования разрабатываемых проектов ТИМ вполне реально.

Параметрические свойства –это то, что «изобретает» каждый из разработчиков. Самое главное, что скрыто «под капотом» соответствующего ТИМ-сметного ПО. На сегодняшний день разработчики соответствующего ПО объединились в Ассоциацию развития цифровых решений в сфере стоимостного инжиниринга, ценообразования и технологий информационного моделирования (АРСИТИМ), чтобы совместно с регулятором сформировать единые подходы в этих вопросах и объединить подходы ценообразования и цифровизации.

С помощью автоматизации составления смет с использованием ТИМ можно сделать определение стоимости проектных решений еще более достоверным и соответствующим модели (включая ее изменения), точнее рассчитать стоимость, чтобы заказчик не потерял деньги. Используя этот подход, можно также сформировать более точные укрупненные нормативы цены строительства (НЦС). Самое главное – переход к вариативности проектных решений с оперативным пересчетом сметной документации и однозначные трактовки применения информации из сметно-нормативной базы, которые обрабатываются в машинопонимаемом виде. Это реальная помощь инженеру в подборе необходимой нормы и расчетах, наиболее трудоемкой части его работы, что, в свою очередь, приведет к повышению производительности труда, уходу от рутины, повышению интереса к профессии у молодежи и передаче знаний с использованием информационных технологий. Именно для этого Минстрой внедряет машиночитаемые и машинопонимаемые форматы, реестр требований с автоматизированным параметрическим проектированием.

Литература

1. *Черных А.Г., Нижегородцев Д.В., Кубасевич А.Е., Цыгановкин В.В.* Проектирование и расчет строительных конструкций с применением технологий информационного моделирования // Вестник гражданских инженеров. 2020. № 3(80). С. 72–78. DOI: 10.23968/1999-5571-2020-17-3-72-78. EDN: OQBEFB.

2. *Курило Е.Ю., Нижегородцев Д.В.* Технологии информационного моделирования при проектировании гидротехнических сооружений // Вестник гражданских инженеров. 2020. № 4(81). С. 54–57. DOI: 10.23968/1999-5571-2020-17-4-54-57. EDN: CQDJGZ.

3. *Гусев А.А., Игнатьев И.В., Скидан А.А.* Цифровая трансформация как основа инновационного развития строительства // Московский экономический

журнал. 2024. Т. 9, № 7. С. 150–163. DOI: 10.55186/2413046X_2024_9_7_321. EDN: LGYWNK.

4. *Зеленцов Л.Б., Кокарева Я.А., Акопян Н.Г., Пирко Д.В.* Интеграция смет и BIM-проектов // Строительное производство. 2020. № 2. С. 29–34. DOI: 10.54950/26585340_2020_2_29. EDN: RVVZHA.

5. *Попов А., Манин П.* Технология BIM и сметы // САПР и графика. 2022. № 2(304). С. 19–21. EDN: INMKEJ.

УДК 728.1.012.1+004.9
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.029

Кизченко Алина Александровна, студент
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: kizchenko.alina@gmail.com, ORCID: 0009-0000-7210-2530
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

Kizchenko Alina Aleksandrovna, student
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)
Semenov Alexey Aleksandrovich, Dr. Sci. Tech., Professor
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

РАЗРАБОТКА СКРИПТА В DYNAMO ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСВЕЩЕННОСТИ ПОМЕЩЕНИЙ

DEVELOPMENT OF A SCRIPT IN DYNAMO FOR DETERMINING INDOOR LIGHTING

В статье рассматривается процесс разработки скрипта в среде визуального программирования Dynamo и его применение для определения освещенности помещений на основе BIM-модели. На первом этапе работы скрипта автоматически размещаются инсоляционные точки (шарики) в оконных проёмах. На втором этапе к шарикам направляются лучи солнца с заданным временным интервалом. На заключительном этапе рассчитывается суммарное время прямого солнечного воздействия на каждое окно в течение выбранного временного промежутка. Методика подходит для различных архитектурных объектов, включая многоквартирные жилые комплексы и небольшие дома, с ограничениями на размер окон до высоты одного-двух этажей. Результат работы скрипта представим не только визуально, но и в виде спецификаций на основе вычисленных данных.

Ключевые слова: Dynamo, информационная модель, инсоляция, Revit, естественное освещение, архитектурное проектирование.

The article discusses the process of developing a script in the Dynamo visual programming environment and its application to determine the illumination of rooms based on a BIM model. At the first stage of the script, insolation points (balls) are automatically placed in window openings. At the second stage, sun rays are directed to the balls at a specified time interval. At the final stage, the total time of direct solar exposure on each window during the selected time period is calculated. The method is suitable for

various architectural objects, including multi-apartment residential complexes and small houses, with restrictions on window size up to a height of one or two floors. The result of the script is presented not only visually, but also in the form of specifications based on the calculated data.

Keywords: Dynamo, building information model, insolation, Revit, natural lighting, architectural design.

Инсоляция – это попадание прямых солнечных лучей на поверхность зданий и их внутренних помещений. Рассчитывать инсоляцию необходимо для обеспечения оптимального уровня естественного освещения в зданиях, что влияет на комфорт проживания и выполнение нормативных стандартов. Инсоляция жилых помещений является критическим фактором, влияющим на комфорт и энергоэффективность зданий, так как она непосредственно влияет на микроклимат в помещениях [1]. Чем меньше поступает солнечного света, тем больше вероятность возникновения проблем у человека с работоспособностью, его нервной системой и со здоровьем в целом [2]. Традиционные методы оценки инсоляции подвержены ошибкам и требуют значительных усилий, так как трудоемкие вычисления производятся вручную. Кроме того, существующие методы часто не обеспечивают достаточной точности и не имеют возможности проанализировать освещенность несколькими методами [3].

Целью данной работы является разработка инструмента, позволяющего быстро и точно оценивать инсоляцию архитектурных решений, что способствует соблюдению норм естественного освещения и оптимизации энергопотребления [4].

В данной статье представлен подход к автоматизации процесса расчета инсоляции с помощью скрипта в среде визуального программирования Dynamo, интегрированной с Revit. Dynamo позволяет расширять функциональность BIM-ПО путём использования средств программирования и разработки собственных плагинов и скриптов [5].

Пример вида зданий с расставленными инсоляционными шариками представлен на рис. 1.

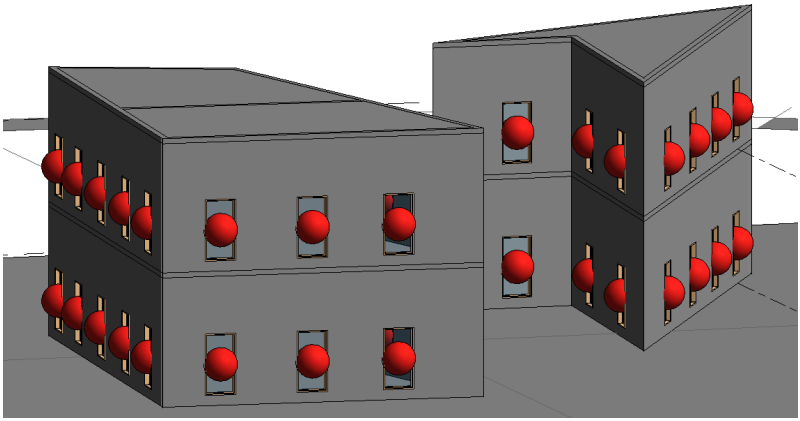


Рис. 1. Пример вида зданий с расставленными инсоляционными шариками

Разработанный скрипт состоит из трех основных блоков:

1. Блок автоматического размещения точек инсоляции (инсоляционных шариков): на первом этапе создается скрипт, обеспечивающий автоматическое размещение инсоляционных шариков на поверхностях окон. Для этого скрипт учитывает координаты оконных проёмов, размеры окон и уровень помещения (рис. 2). Затем, он размещает на каждой оконной поверхности несколько точек инсоляции (количество точек может быть задано пользователем или определяться алгоритмом на основе размеров окна). Инсоляционные шарики служат точками, которые принимают солнечное излучение для оценки времени инсоляции.

2. Блок генерации солнечных лучей. После расстановки инсоляционных шариков начинается второй этап: генерация солнечных лучей. В процессе моделирования учитываются входные данные: стартовое время вычисления инсоляции и конечное, широта, геопозиция, дата и время года. Угол падения солнечных лучей рассчитывается с учетом времени года и географического положения. Лучи делятся на интервалы в определённый временной промежуток, чтобы симулировать прямое солнечное воздействие на шарики.

3. Блок расчета времени инсоляции. Для каждой точки инсоляции скрипт проверяет пересечение с генерируемыми солнечными лучами. Время, в течение которого точка освещена прямыми солнечными лучами, суммируется. Результаты агрегируются для каждого окна и записываются в параметр «Инсоляция» у инсоляционных шариков (рис. 3).

Разработанный скрипт Dynamo предоставляет эффективный инструмент для автоматизации анализа инсоляции в Revit. Полученные результаты демонстрируют удобное представление времени инсоляции (рис. 4), которое в дальнейшем можно анализировать в сформированных спецификациях. Преимуществом скрипта является возможность объединения с уже существующим решением по расчету инсоляции по фасадам, описанным в [6], что делает его уникальным решением на рынке. В перспективе может быть разработана комплексная система, которая объединит дополнительные функции, расширяющие возможности анализа и оценки освещенности. Такие как: автоматическое создание отчетов и спецификаций для упрощения документирования и передачи данных между отделами или заказчиком, визуализация данных анализа инсоляции в режиме реального времени, что упростит работу проектировщиков.



Рис. 2. Блок-схема скрипта расстановки точек инсоляции

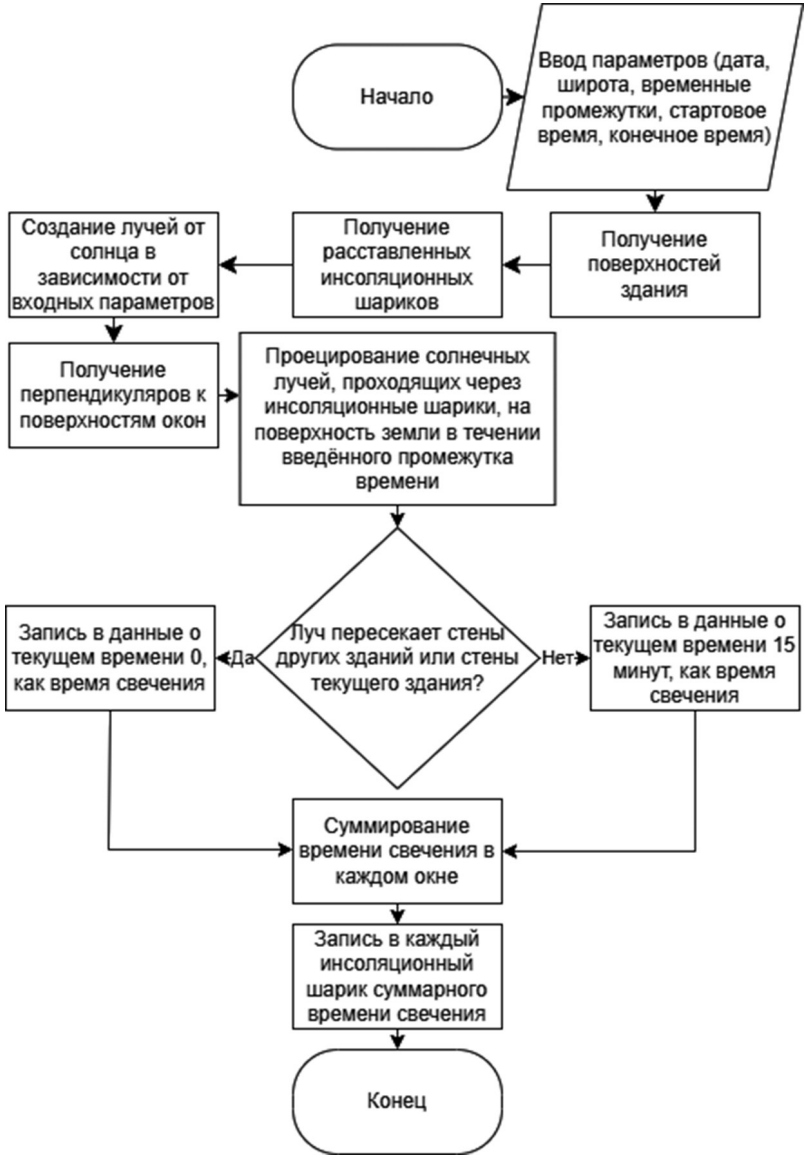


Рис. 3. Блок-схема скрипта расчета времени свечения солнца

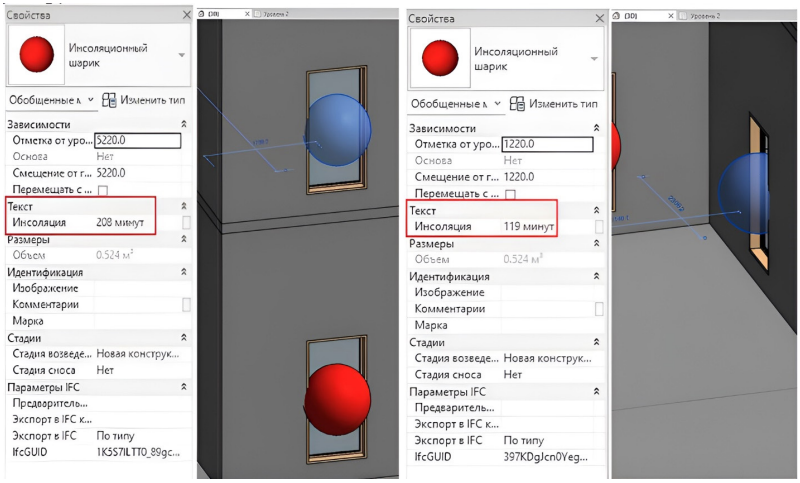


Рис. 4. Результат выполнения расчета инсоляции

Благодарности

Работа выполнена в рамках реализации Инновационного образовательного проекта «Инновационная методика формирования цифровых профессиональных компетенций обучающихся и специалистов строительной отрасли» на базе Федеральной инновационной площадки ФГБОУ ВО СПбГАСУ.

Литература

1. *Стецкий С.В., Ларионова К.О., Аверьянова А.С., Степанов К.В.* Оптимальное расположение объектов окружающей застройки для обеспечения нормативной продолжительности инсоляции в помещениях зданий // Экономика строительства. 2023. № 4. С. 201–203. EDN: YDAXIE.

2. *Гриценко С.Ю., Зевина Ю.А., Бородянский И.М.* Анализ инсоляции при проектировании комплексов зданий // Инженерный вестник Дона. 2021. № 6(78). С. 419–428. EDN: GIPSXK.

3. *Кизченко А.А., Кудрин А.В., Семенов А.А.* Анализ плагинов расчета инсоляции для повышения энергоэффективности архитектурных объектов // Актуальные вопросы строительства: взгляд в будущее : мат-лы III Всеросс. научно-практ. конф. Красноярск : СФУ, 2024. С. 343–347. EDN: FKJCDU.

4. *Kumar M., Rawat P., Maurya A., Kumar R., Bharadwaj U., Duggal P.* Analysing the Institutional building for Solar Radiation and Photovoltaic Energy using AutoDesk-Revit // Journal of Physics: Conference Series. 2022. Vol. 2178, No. 1. P. 012024. DOI: 10.1088/1742-6596/2178/1/012024. EDN: IBYRLI.

5. *Згода Ю.Н., Семенов А.А.* Визуализация генерируемой средствами Dynamo Revit геометрии в виртуальной реальности // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : мат-лы IV Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб. : СПбГАСУ, 2021. С. 289–296. DOI: 10.23968/BIMAC.2021.037. EDN: YCMNCZ.

6. *Кизченко А.А.* Разработка скрипта в Dynamo для определения освещенности // Новые информационные технологии в архитектуре и строительстве : мат-лы VII Междунар. научно-практ. конф. Екатеринбург : УрГАХУ им. Н.С. Алферова, 2024. С. 43. EDN: CXAYDC.

УДК 69.07
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.030

Клековкин Евгений Алексеевич, аспирант
(Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова)
E-mail: z0h0e0n0y0a@gmail.com, ORCID: 0009-0008-0161-3518
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)
Taranukha Natalia Leonidovna, Dr. Sci. Ec., Professor
(Kalashnikov Izhevsk State Technical University)

УЧЕТ СОБСТВЕННОГО ВЕСА СТЕРЖНЕВЫХ СТАЛЬНЫХ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ В ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРИ ИНТЕГРИРОВАННОМ АЛГОРИТМИЧЕСКОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ

SPECIFYING THE DEAD LOAD OF STEEL LOAD-BEARING STRUCTURES IN THE INFORMATION MODEL DURING INTEGRATED ALGORITHMIC DESIGN

Рассмотрена задача формирования загружения от собственного веса несущих конструкций при создании соответствующих расчетных моделей. Представлена характеристика моделей формирования нагрузок от собственного веса несущих конструкций. Предложено рассчитывать нагрузку от собственного веса стальных конструкций по данным информационных моделей. Представлен алгоритм для формирования уточненного загружения от собственного веса стальных несущих конструкций в расчетной модели. Разработанный алгоритм целесообразно применять как компонент интегрированного проектирования, при котором расчетная и информационная модели несущих конструкций связаны, а процесс обмена данными между моделями автоматизирован.

Ключевые слова: собственный вес конструкций, несущие строительные конструкции, коэффициент надежности, строительный коэффициент, нагрузка от собственного веса конструкций, информационное моделирование.

The study addresses the task of generating self-weight loading for load-bearing structures during the development of computational models for building structures. A characterization of methodologies for modeling self-weight loads in load-bearing

systems is provided. A novel approach is proposed to calculate self-weight loads for steel structures using data derived from information models. An algorithm for refining self-weight loading in computational models of steel load-bearing structures is presented. The developed algorithm is recommended for integration into a unified design framework, where computational and informational models of load-bearing structures are interconnected, and data exchange between models is automated. This approach aligns with integrated design paradigms, ensuring enhanced accuracy and efficiency in structural analysis processes.

Keywords: self-weight of structures, load-bearing building structures, building coefficient, safety-factor, load from self-weight of structures, information modeling.

Инструменты автоматизированного проектирования несущих строительных конструкций являются одной из ключевых составляющих цифровой трансформации строительной отрасли [1].

Надежность и экономичность конструктивных решений обеспечивается в том числе и степенью соответствия расчетных моделей строительных конструкций их действительной работе.

Конин Д. В. выделяет среди основных ошибок при проектировании стальных каркасов недооценку собственного веса строительных конструкций [2]. Так, коэффициент надежности по нагрузке для собственного веса стальных конструкций, равный 1,05[1], очевидно, должен применяться к полному весу строительной конструкции, включающему не только вес основного элемента, но и вес вспомогательных элементов.

К вспомогательным элементам можно отнести:

– узловые фасонки;
– фланцы;
– болты, шайбы, гайки;
– ребра жесткости.

Здесь стоит сделать замечание касательно коэффициента надежности по нагрузке для собственного веса строительных конструкций. Согласно техническим условиям на изготовление двутаврового проката[2], стандартные допуски по массе проката устанавливаются в диапазоне (плюс, минус) 4 % от номинальной массы. Этот диапазон относится только к допускам при прокате элементов. А. В. Перельмутер оценивает диапазон колебаний собственного веса несущих конструкций в 10–15 % [3].

Вопросы соотношения массы основных и вспомогательных элементов стальных строительных конструкций достаточно полно рассматривались Я. М. Лихтарниковым [4]. Так, были определены строительные

[1] СП 20.13330.2016 «СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия».

[2] ГОСТ Р 57837–2017. Двутавры стальные горячекатаные с параллельными гранями полок. Технические условия.

коэффициенты для различных типов стальных несущих конструкций. Умножение веса основного элемента конструкции (например, двутавра для колонны) на строительный коэффициент позволяет оценить полный вес конструкции с учетом вспомогательных элементов и элементов соединений.

Однако, с точки зрения формирования загружений от собственного веса конструкций, приложение равномерно распределенной нагрузки, умноженной на строительный коэффициент, не вполне корректно. Очевидно, вспомогательные элементы сосредоточены в узлах сопряжения конструкций, значит распределение добавочной нагрузки на всю длину стержневого элемента неизбежно приводит к искажению результатов. Можно предположить, что данное искажение для большинства конструкций незначительно, а значит им можно пренебречь. Однако существуют такие строительные конструкции, как например большепролетные фермы покрытий, для которых нагрузка от собственного веса является более значительной и может достигать доли 65 % от несущей способности конструкции [5–7].

В случае применения двухмерного метода проектирования (без формирования трехмерных цифровых информационных моделей) точное определение массы элемента строительной конструкции достаточно затруднительно.

Возможности современных САПР, реализующих объектно-ориентированное параметрическое информационное моделирование, такие как физически точное представление элементов в модели, встроенные инструменты программирования, позволяют точно оценить нагрузку от собственного веса конструкций. Поэтому имеет смысл разработка методики уточненного определения нагрузки от собственного веса конструкций с использованием информационного моделирования. Насколько известно автору, данный аспект ранее не рассматривался другими исследователями, а значит заслуживает внимания, хотя бы в целях развития теории проектирования строительных конструкций с использованием САПР. В данной статье предлагается новый алгоритм учета собственного веса конструкций при формировании расчетных моделей в парадигме интегрированного алгоритмического проектирования с использованием информационного моделирования.

Общий вес конструкции предлагается выразить в виде формулы (1):

$$G_t = G_m + G_s, \quad (1)$$

где G_t – общий вес конструкции, кН; G_m – вес основного элемента, кН; G_s – вес вспомогательных элементов, кН.

Очевидно, что дополнительная масса вспомогательных элементов конструкций (фасонок, болтов и т. д.) сосредоточена преимущественно в узлах сопряжения конструкций.

При этом можно выделить две группы вспомогательных элементов:

1. Условно равномерно распределенные (например, ребра жесткости в подкрановой балке) – которые дискретно и равномерно расположены на основном элементе конструкции.

2. Условно сконцентрированные в узлах (например, фланцы, опорные ребра, болты, шайбы, гайки).

В таком случае, следует разделять общую массу вспомогательных элементов на две части. Одну из них можно условно приложить в расчетной схеме, равномерно-распределенной к основному элементу конструкции по длине. Вторую следует задавать в виде дополнительных узловых нагрузок. При этом следует дифференцировать узлы соединений конструкций по величине сосредоточенной в них дополнительной нагрузки. Так, дополнительная масса вспомогательных элементов в стропильной ферме из гнутосварных профилей с бесфасоночными соединениями элементов сосредоточена преимущественно в опорных узлах и узлах укрупнительных стыков и почти отсутствует в узлах сопряжения раскосов с поясами фермы. Структуру собственного веса конструкции в этом отношении можно иллюстрировать следующим образом (рис. 1).



Рис. 1. Структура собственного веса конструкции

Для точного учета собственного веса строительной конструкции предлагается следующая формула:

$$G_t = G_m + G_{sf} + G_{sd}, \quad (2)$$

где G_{sf} – вес закрепленных вспомогательных элементов, кН; G_{sd} – вес распределенных вспомогательных элементов, кН.

При вычислении дополнительных узловых нагрузок от веса вспомогательных элементов стоит учитывать уменьшение нагрузки от веса основного элемента. В физически точной модели конструкции основные элементы «подрезаются» по граням в узлах сопряжения. В идеализированной конечно-элементной (КЭ) модели элементы создаются от узла до узла по линиям центров тяжести. В идеализированной КЭ модели узлы сопряжения могут моделироваться как с применением жестких вставок, так и без их применения.

При формировании загружения от собственного веса по упрощенной модели в обоих случаях целесообразно приложить нагрузку по всей длине основного элемента, а также на жесткие вставки, при их наличии. В таком случае нагрузка от собственного веса «завышается» в запас и экономятся трудозатраты проектировщика на вычисление точного значения нагрузок.

При формировании загружения по уточненной модели следует учесть, что основные элементы «подрезаются» в узлах сопряжения, то есть не прикладывать распределенную нагрузку на те участки основных элементов, где они пересекаются.

В качестве примера рассмотрим узел примыкания ригелей к колонне. В информационной модели узел формируется таким образом, чтобы наиболее точно отражать расположение элементов в конструкции, тогда как в расчетном комплексе элементы идеализированно пересекаются в узле (рис. 2).

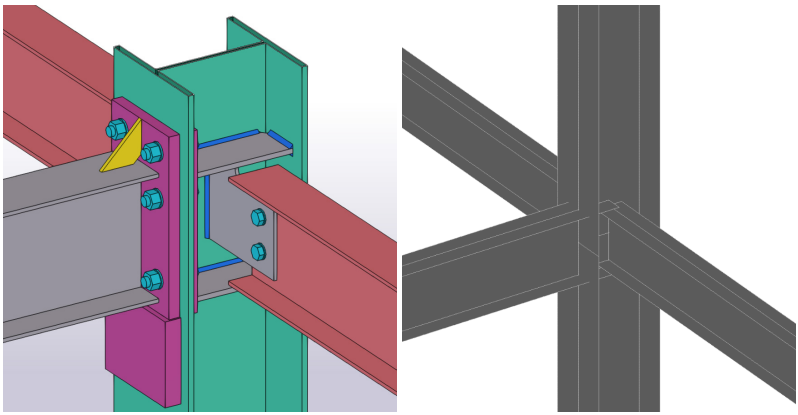


Рис. 2. Физически точное представление в информационной модели (*слева*) и идеализированное представление в расчетном комплексе (*справа*) узла примыкания ригелей к колонне

Для уточненного задания нагрузки в данном случае необходимо не задавать нагрузку от собственного веса на жесткие вставки в узле, а нагрузку от вспомогательных элементов задать в виде дополнительной узловой.

Следовательно, уточненное определение нагрузки от собственного веса несущих конструкций, по-видимому, должно быть необходимо для таких конструкций, в который нагрузка от собственного веса является наиболее значимой по сравнению с остальными нагрузками.

В табл. 1 приведена характеристика упрощенного и уточненного подходов к определению нагрузки от собственного веса несущих конструкций.

Таблица 1

Характеристика моделей формирования загружения от собственного веса

	Упрощенная модель	Уточненная модель
Нагрузка от собственного веса основного элемента	Задана равномерно распределенной по всей длине КЭ	Задана равномерно распределенной по физически точной длине с учетом «подрезки» в узлах
Нагрузка от собственного веса узловых (закрепленных) вспомогательных элементов	Учитывается равномерно распределенной по длине основного элемента. Значение приблизительно определяется по известным строительным коэффициентам	Вычисляется точное значение веса узловых вспомогательных элементов по данным информационной модели. Прикладывается в узлах сопряжения элементов
Нагрузка от собственного веса распределенных вспомогательных элементов	Учитывается равномерно распределенной по длине основного элемента. Значение приблизительно определяется по известным строительным коэффициентам	Вычисляется точное значение веса распределенных вспомогательных элементов по данным информационной модели. Прикладывается распределенной по длине основного элемента

Блок-схема алгоритма формирования загружения от собственного веса по уточненной модели в общем виде представлена на рис. 3.

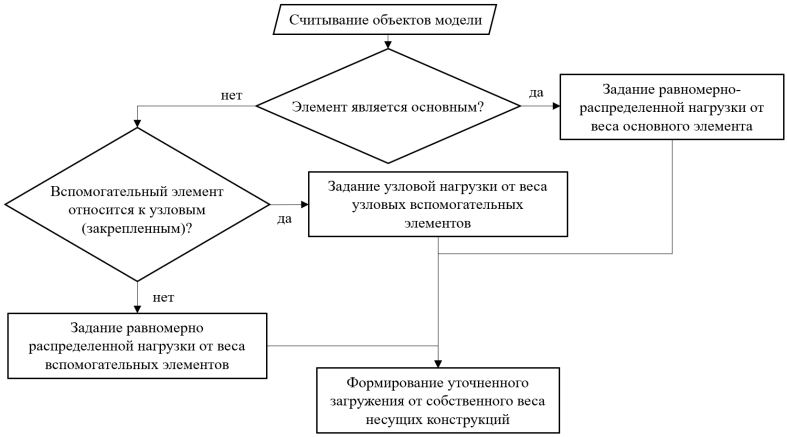


Рис. 3. Алгоритм формирования загружения от уточненного собственного веса несущих конструкций

Предложенный алгоритм может стать частью интегрированного подхода к проектированию несущих конструкций с использованием информационного моделирования [8]. Использование визуального программирования позволит автоматизировать процесс формирования уточненных загружений от собственного веса несущих конструкций и снизить трудоемкость проектирования [9, 10]. Практическая реализация алгоритма в среде визуального программирования планируется автором в следующих работах.

Данный алгоритм также может использоваться при проектировании усиления конструкций. В таких случаях оценка фактического собственного веса конструкций критически важна и может быть реализована с использованием информационного моделирования [11]. Наличие цифрового двойника здания в таком случае значительно снизит трудоемкость создания расчетной модели [12].

1. Проведенный анализ позволяет сделать вывод о необходимости учёта веса вспомогательных строительных конструкций, а также веса деталей узловых соединений элементов при расчёте нагрузок от собственного веса стальных несущих конструкций.

2. Предложенный алгоритм учета собственного веса конструкций позволяет максимально полно оценить величину нагрузки от собственного

веса конструкций, что может быть особенно актуально при проектировании большепролетных конструкций.

3. Дальнейших исследований заслуживает вопрос границ целесообразности применения предложенного алгоритма.

В исследовании выдвинута гипотеза о рациональности применения разработанной методики определения нагрузки от собственного веса конструкций при проектировании большепролетных покрытий.

Литература

1. *Тарануха Н.Л., Семенова С.В., Панков С.Н.* Цифровой двойник – эффективный инструмент цифровой трансформации промышленных предприятий // Интеллектуальные системы в производстве. 2023. Т. 21, № 3. С. 11–26. DOI: 10.22213/2410-9304-2023-3-11-26. EDN: XWFCAG.

2. *Конин Д.В.* Типичные ошибки проектирования металлических каркасов. URL: https://rutube.ru/video/7bb6cebf7e2cab3ffe7abd8475ec0b8e/ (дата обращения: 05.02.2025).

3. *Перельмутер А.В., Сливкер В.И.* Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. Изд. 4-е, перераб. и доп. М. : Изд-во СКАД Софт, 2011. EDN: QNPDKR.

4. *Лихтарников Я.М.* Вариантное проектирование и оптимизация стальных конструкций. М. : Стройиздат, 1979. 319 с.

5. *Гарифуллин М.Р., Семенов С.А., Беляева С.В., Порываев И.А., Сафиуллин М.Н., Семенов А.А.* Поиск рациональной геометрической схемы пространственной металлической конструкции покрытия большепролетного спортивного сооружения // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 2(17). С. 107–124. EDN: RWGNQF.

6. *Семенов А.А., Демидова Д.А., Нафикова А.А., Зимин С.С., Николаев Д.И.* Вариантное проектирование конструкции покрытия большепролетного спортивного сооружения // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2018. № 5(68). С. 24–35. DOI: 10.18720/CUBS.68.3. EDN: YLUYLZ.

7. *Порываев И.А., Семенов А.А., Шигапов Р.Р., Беляева С.В., Кокорева А.А.* Вариантное проектирование покрытия стадиона «ФИШТ» в городе Сочи // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. № 6(45). С. 7–33. EDN: WEFRCT.

8. *Клековкин Е.А.* Параметризация моделирования каркасов одноэтажных промышленных зданий с балочной системой покрытия в среде Grasshopper // Информационное моделирование в задачах строительства и архитектуры : мат-лы VII Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб. : СПбГАСУ, 2024. С. 340–347. DOI: 10.23968/BIMAC.2024.046. EDN: CGIKEJ.

9. *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.

10. *Георгиев Н.Г., Шумилов К.А., Семенов А.А.* Визуальное программирование в задачах моделирования строительных конструкций // Инженерно-строительный

вестник Прикаспия. 2021. № 4(38). С. 117–123. DOI: 10.52684/2312-3702-2021-38-4-117-123. EDN: ZPSGCJ.

11. *Коршунова Е.М., Тарануха Н.Л., Боршова П.А., Коршунов А.Ф.* Факторы, ограничивающие применение современных BIM-технологий в проектах реконструкции // Интеллектуальные системы в производстве. 2020. Т. 18, № 3. С. 53–57. DOI: 10.22213/2410-9304-2020-3-53-57. EDN: YXWIKH.

12. *Степанов И.О., Крайнов Д.В.* Применение цифрового двойника на стадии эксплуатации здания // Информационное моделирование в задачах строительства и архитектуры : мат-лы VII Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб. : СПбГАСУ, 2024. С. 237–244. DOI: 10.23968/BIMAC.2024.032. EDN: MRYYPN.

УДК 658.52.011.56:69.059.14
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.031

Кондратьев Станислав Олегович, канд. техн. наук,
начальник отдела разработки систем мониторинга
(ООО «Георекострукция – ПО»)
E-mail: kondratev.s@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-8841-2023
Бакусов Павел Анатольевич, ведущий инженер
(ООО «ИСП «Георекострукция»)
E-mail: bakusovpavel@gmail.com, ORCID: 0000-0003-1215-1183

Kondratev Stanislav Olegovich, PhD in Sci. Tech., Department Head
(LLC "Georeconstruction – PO")
Bakusov Pavel Anatolevich, Lead Engineer
(LLC "ISP "Georeconstruction")

ИНТЕГРАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В ИНФОРМАЦИОННУЮ МОДЕЛЬ ЗДАНИЯ

INTEGRATION OF GEOTECHNICAL MONITORING RESULTS INTO BUILDING INFORMATIONAL MODEL

В статье приводятся краткие сведения о нормативно-технической документации, связанной с информационным моделированием и проектированием систем мониторинга инженерных конструкций, а также регламентирующей порядок проведения и состав геотехнического мониторинга. Отмечается основной недостаток сложившегося «дискретного» подхода к наблюдениям за зданиями и сооружениями, заключающийся в невозможности дистанционного и непрерывного контроля за ходом строительных работ. Отсутствие средств автоматизированного контроля контролируемых при мониторинге параметров не позволяет фиксировать рост рисков механической безопасности. Исходя из данной проблематики приводится опыт разработки и применения на практике автоматизированной системы отслеживания изменений контролируемых параметров в рамках проведения геотехнического мониторинга.

Ключевые слова: геотехнический мониторинг, интернет вещей, измерительное оборудование, LoRaWAN, механическая безопасность.

The article presents a short summary of regulatory and technical documentation on the order and contents of information modeling, monitoring systems design and geotechnical monitoring. The primary disadvantage of the current approach to buildings and structures monitoring, which relies on "discrete" methods, is the inability to remotely and continuously monitor construction work progress. The absence of automated

monitoring tools for controlled parameters prevents the identification of increasing mechanical safety risks. Based on these issues, an overview of the experience with the development and implementation of an automated system for monitoring and tracking changes in key building parameters is provided.

Keywords: Geotechnical Monitoring, Internet of Things, Measuring Equipment, LoRaWAN, Mechanical Safety.

В настоящее время при создании информационной модели объекта капитального строительства по СП 333.1325800.2020[1] в её состав должны включаться сведения, документы и материалы, перечисленные в Постановлении Правительства № 1431[2] от 15.09.2020. В данном постановлении указано, что в состав должны входить результаты инженерных изысканий, являющихся основой для последующего проектирования. Однако состояние грунтов основания на этапе осуществления строительно-монтажных работ, реконструкции, ремонта объекта капитального строительства полностью игнорируется. В то же время любые строительные работы (новое строительство, реставрация, реконструкция) обязаны проводиться в соответствии с Федеральным законом № 384-ФЗ[3]: в процессе перечисленных работ необходимо обеспечивать механическую безопасность как вновь возводимого, или реконструируемого (реставрируемого) здания, так и зданий и сооружений, попадающих в зону влияния строительных работ. Сбор и анализ информации для оценки состояния грунтов основания и инженерных конструкций производится в рамках геотехнического мониторинга, который регламентируется СП 305.1325800.2017[4], СП 22.13330.2016[5], ГОСТ 31937-2024[6], а на

[1] Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла.

[2] Об утверждении Правил формирования и ведения информационной модели объекта капитального строительства, состава сведений, документов и материалов, включаемых в информационную модель объекта капитального строительства и представляемых в форме электронных документов, и требований к форматам указанных электронных документов, а также о внесении изменения в пункт 6 Положения о выполнении инженерных изысканий для подготовки проектной документации, строительства, реконструкции объектов капитального строительства.

[3] Федеральный закон «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» от 30.12.2009 № 384-ФЗ.

[4] Здания и сооружения. Правила проведения геотехнического мониторинга при строительстве.

[5] СНиП 2.02.01-83* Основания зданий и сооружений.

[6] Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния.

территории Санкт-Петербурга – ТСН 50-302-2004[1]. Основная цель геотехнического мониторинга – это предупреждение возможных аварийных ситуаций [1]. Кроме того, для уникальных зданий и сооружений должна быть разработана и установлена система мониторинга инженерных конструкций (СМИК) по ГОСТ Р 22.1.12-2005[2].

Таким образом, если следовать логике СП 333.1325800.2020, то в информационной модели объекта капитального строительства также должны храниться данные о состоянии грунтов основания и инженерных конструкций как на стадии возведения, так и на стадии эксплуатации. Тем более что эти данные имеют высокую научно-практическую ценность и позволяют понять истинную «работу» конструкций [2].

Целью данной работы является подсветить проблему отсутствия интеграции данных геотехнического мониторинга в информационную модель здания и представить имеющийся опыт автоматизации и хранения таких данных.

На данный момент результаты геотехнического мониторинга представляются в виде отчётов, что затрудняет анализ геотехнической ситуации, если он оказывается необходим через какое-то время. Тем более инженерам сторонних организаций. Поэтому требуется разработка норм по сбору, хранению и передаче данных геотехнического мониторинга. А для этого изначально нужно понимать, какие данные нужно хранить, в каком виде хранить и можно данный процесс автоматизировать.

В качестве контролируемых параметров в рамках геотехнического мониторинга выделяют следующие:

– осадка фундаментов;

– крен несущих и ограждающих конструкций;

– ширина раскрытия трещин;

– деформации (смещения) шпунтового ограждения, подпорных стенок, барьеров при производстве работ нулевого цикла;

– смещение массива грунта при производстве работ нулевого цикла;

– уровень грунтовых вод строительной площадки;

– уровни вибрации при производстве строительно-монтажных работ [3].

Одной из проблем геотехнического мониторинга является периодичность измерений. Чаще всего контролируемые параметры фиксируются один или два раза за цикл мониторинга. Причем контролируемые

[1] Проектирование фундаментов зданий и сооружений в Санкт-Петербурге.

[2] Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений.

параметры могут измеряться в разные моменты времени. Из-за этого, во-первых, данных оказывается мало, и они сильно разнесены во времени, а во-вторых, оказывается затруднительно сопоставлять контролируемые параметры между собой. Таким образом, анализ текущей геотехнической ситуации и прогноз становится затруднительным.

Для решения данной проблемы необходимо развивать направление непрерывного мониторинга контролируемых параметров, включающего в себя регистрацию и передачу значений, их хранение и анализ. В рамках анализа должен производиться контроль превышения установленных критериев и, в случае реализации такового превышения, информация об этом должна поступать лицу, ответственному за объект [4, 5].

На данный момент практически для всех указанных выше контролируемых параметров существуют различные решения. При этом данные решения можно разбить на проводные и беспроводные. Проводные предполагают подключение системы мониторинга к сети 220V, беспроводные же работают на различного вида аккумуляторах.

Основным «плюсом» проводных систем является возможность работать непрерывно и производить регистрацию контролируемых параметров с довольно большой частотой (десятки и сотни значений в секунду). В свою очередь, беспроводные системы ограничены объемом батареи: чем чаще происходит регистрация параметров, тем быстрее заканчивается заряд батареи, и система нуждается в ее замене. При этом не все контролируемые параметры требуют высокой частоты регистрации: все перечисленные параметры, кроме вибрации, достаточно фиксировать с периодичностью раз в час. Более того, по опыту ведения геотехнического мониторинга Институтом «Георекнструкция», развёртывание на строительной площадке проводных систем чаще всего оказывается затруднительно (далеко не всегда в нужной точке измерения имеется электрощит, или он оказывается временным) и, в некоторых случаях, всё равно требует беспроводного решения (например, использовать аккумуляторные батареи или солнечные батареи, см. рис. 1).

Наиболее перспективным, по мнению авторов, является применение беспроводных датчиков, работающих по протоколу LoRaWAN. Поэтому, начиная с 2020 г., данное направление «удаленного» мониторинга («геотехнического интернета вещей») развивается и используется для оценки ряда контролируемых параметров конструкций (наклон, перемещений и т.д.). Для функционирования данных систем мониторинга создана сетевая инфраструктура, позволяющая производить настройки приборов и анализировать получаемые значения. Датчики такого типа передают

данные на сервер организации, занимающейся мониторингом, через базовую станцию, работающую по принципу прозрачного шлюза между измерителем и сервером (см. рис. 2).



а) *б*)

Рис. 1. Реализация проводных систем с использованием:
а – аккумуляторной батареи; *б* – солнечной панели

На данный момент Институт «Георекнструкция» использует в своей практике четыре вида датчиков. Примеры установленного на объектах оборудования представлены на рис. 3.

Для регистрации крена несущих и ограждающих конструкций используются наклономеры, ширины раскрытия трещин – датчики перемещения, уровня грунтовых вод – пьезометр, температуры – температурный датчик. В случае с датчиком вибрации проводятся исследования применения решений для других отраслей промышленности – в щите-укрытии на рис. 3, *е* совместно установлен короткопериодный проводной велосиметр для непрерывных измерений, и беспроводной акселерометр, предназначенный для мониторинга состояния промышленного оборудования.

Из-за отсутствия на рынке какого-либо программного обеспечения, позволяющего в режиме «единого окна» контролировать всю совокупность наблюдаемых параметров [6], силами инженеров Института «Георекнструкция» начата разработка такого ПО. Все данные хранятся на сервере в базе данных. В качестве системы управления базой данных используется PostgreSQL. Запросы реализованы через собственный API, а результаты данных обрабатываются с помощью программ, написанных на Python и MatLab.



Рис. 2. Принципиальная схема передачи данных по протоколу LoRaWAN

Таким образом, возможно сделать следующие выводы:

1. При кажущемся многообразии контрольно-измерительного оборудования, потенциально применимого для решения задач геотехнического мониторинга, на сегодняшний день на рынке отсутствуют «коробочные» решения, позволяющие «закрыть» весь комплекс стоящих задач. Доступные к приобретению приборы, как правило, требуют доработки для нужд наблюдений за строительными конструкциями и зданиями в целом, так как зачастую имеют изначально иные сферы применения (например, мониторинг машин и механизмов).

2. Имеющиеся решения ПО для отдельных приборов несовместимы между собой, и часто являются минимально жизнеспособными продуктами, что негативно сказывается на качестве анализа и геотехнического прогноза.

3. Разработка средств автоматизации и цифровая трансформация процессов геотехнического мониторинга направлены на исследование как «быстрых», так и «длительно протекающих» изменений наблюдаемых зданий и сооружений, и является актуальной научно-технической задачей, направленной на объективную оценку факторов риска механической безопасности.



а) *б*) *в*) *г*) *д*) *е*)

Рис. 3. Примеры установленного оборудования на объектах: *а* – базовая станция; *б* – инклинометр; *в* – трещиномер; *г* – пьезометр; *д* – термометр; *е* – виброметр

Литература

1. *Шашкин А.Г., Шашкин К.Г., Евсеев Н.А., Лукин В.М.* Система мониторинга высотного здания при эксплуатации // Жилищное строительство. 2020. № 12. С. 3–12. DOI: 10.31659/0044-4472-2020-12-3-12. EDN: KHVNFZ.

2. *Кондратьев С.О.* Оценка корреляции наклона и температуры конструкций по результатам автоматизированного мониторинга // Новые информационные технологии в архитектуре и строительстве : мат-лы VII Междунар. научно-практ. конф. Екатеринбург : УрГАХУ, 2024. С. 52. EDN: CYIBBK.

3. *Шашкин М.А.* Вибродинамический мониторинг здания в режиме реального времени с функцией управления технологией ремонтно-строительных работ // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 12. С. 53–59. EDN: YLSUNO.

4. *Шашкин К.Г., Шашкин А.Г.* Основы построения систем интерактивного мониторинга зданий и сооружений // VIII Междунар. симп. «Актуальные проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений». Тамбов : ТГТУ, 2023. С. 415–416. EDN: KLPPLT.

5. *Sarkar D., Dhaneshwar D., Raval P.* Automation in Monitoring of Construction Projects Through BIM-IoT-Blockchain Model // Journal of The Institution of Engineers (India): Series A. 2023. Vol. 104, No. 9. P. 317–333. DOI: 10.1007/s40030-023-00727-8. EDN: WCWFUI.

6. *Кондратьев С.О.* Актуальность разработки АИС «Геотехнический мониторинг» // Новые информационные технологии в архитектуре и строительстве : мат-лы VI Междунар. научно-практ. конф. Екатеринбург : УрГАХУ, 2023. С. 43. EDN: AZAKET.

УДК 692.44/.47
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.032

Кузнецов Дмитрий Николаевич, канд. техн. наук, ст. преподаватель
(Воронежский государственный технический университет)
E-mail: kuznecov82@bk.ru, ORCID: 0000-0001-6648-1511
Кузнецов Иван Алексеевич, студент
(Воронежский государственный университет)
E-mail: mrlolca228@yandex.ru

Kuznetsov Dmitry Nikolaevich, PhD in Sci. Tech., senior lecturer
(Voronezh State Technical University)
Kuznetsov Ivan Alekseevich, student
(Voronezh State University)

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕШЕТЧАТЫХ ПОКРЫТИЙ СИНУСОИДАЛЬНОГО ВИДА

MODELING OF GRATING COVERS WITH SINUSOIDAL GEOMETRY

В статье рассматривается разработка методики информационного моделирования пространственных решетчатых покрытий с образующей в виде синусоиды. Разработана последовательность действий в среде программного комплекса Autodesk Revit. Выполнено тестирование разработанной методики для покрытия пролетом 30 м с двумя вариантами системы решетки. Каждый вариант системы решетки создан в виде отдельного семейства, которое загружается в проект с построенной моделью для дальнейшего назначения системы решетки всей конструкции покрытия. Семейство с определенным видом решетки назначается с шагом равным изопараметрическим линиям, которые делят синусоидальную поверхность в двух взаимно ортогональных направлениях, таким образом, получены две параметрические модели покрытия с различными вариантами решетки. Геометрия модели покрытия с наиболее эффективным вариантом решетки может быть экспортирована в вычислительный комплекс. Разработанная методика позволяет добиться значительной автоматизации при проектировании покрытий волнистой формы в виде заданной синусоиды, а также выполнить вариантное проектирование.

Ключевые слова: методика моделирования, моделирование покрытия, автоматизация проектирования, волнистая поверхность, покрытие синусоидального вида, решетчатое покрытие.

This paper presents a methodological approach to the information modeling of spatial grating covers featuring a sinusoidal generatrix. Information modeling technologies has been developed within the Autodesk Revit software environment. The proposed

methodology was validated through the design of a 30-meter-span covering, considering two different grating system configurations. Each configuration was created as a distinct parametric family and integrated into a project containing the base model to assign the grating system to the overall structure. The grating family was applied along isoparametric lines that divide the sinusoidal surface in two mutually orthogonal directions. This approach resulted in two parametric models of the covering, each featuring a different grating configuration. The most efficient grating geometry was subsequently exported to a computational platform. The developed methodology significantly enhances automation in the design of sinusoidal structural coverings while also facilitating design optimization through variant modeling.

Keywords: modeling methodology, structural covering modeling, design automation, sinusoidal surface, sinusoidal covering, grating cover.

Проектирование покрытий зданий и сооружений волнистой геометрической формы – это сложная инженерная задача, которая требует специальной подготовки и опыта, как на этапе формообразования, так и при дальнейшем расчете и конструировании. Волнистая геометрия может служить не только приемом для достижения архитектурной выразительности покрытия, но и обладает рядом функциональных достоинств, а именно: обеспечивает отвод атмосферных осадков, создает возможности для хорошей инсоляции внутреннего пространства, обладает периодичностью и другие. К числу недостатков таких покрытий можно отнести: сложность изготовления и повышенные снеговые отложения в нижних экстремумах. В качестве образующей для построения волнистой геометрии покрытия хорошо подходит график тригонометрической функции в виде синусоиды. График синуса изучен и позволяет точно задавать различные геометрические параметры для построения покрытий зданий и сооружений. Ввиду геометрической сложности волнистой поверхности для ее проектирования целесообразно использовать технологии информационного моделирования (далее ТИМ). Несмотря на то что программные комплексы, реализующие ТИМ, активно применяются в проектировании [1, 2], существует необходимость в разработке эффективных методик моделирования конструкций сложной формы. Указанная необходимость связана с тем, что при больших объемах исследовательских работ по тематике ТИМ [3–6], лишь незначительная их часть направлена на разработку методик моделирования сложных конструктивных форм [7–9].

Для автоматизации процессов проектирования решетчатых покрытий с синусоидальной поверхностью предлагается определенная последовательность моделирования (табл. 1). В указанной последовательности на начальном этапе строится синусоида, график которой будет являться образующей поверхности модели проектируемого покрытия:

$$y = b\sin ax = b\sin\left(\frac{\pi}{L/n}\right)x, \quad (1)$$

где y – значение независимой переменной функции; b – множитель функции, приводящей к растяжению или сжатию ее графика вдоль оси ординат; a – множитель аргумента функции, приводящий к сжатию или растяжению ее графика вдоль оси абсцисс; L – пролет здания, м; n – число полуволн образующей синусоиды; x – значение зависимой переменной, м; π – математическая постоянная, ≈ 3,1416.

Для тестирования методики моделирования построим информационную модель решетчатого покрытия синусоидального очертания с размерами в плане 30×90 м. Образующую синусоиды тестовой модели зададим с периодом повторения полуволн 6 м. Геометрия покрытия пролетом 30 м имеет пять полуволн (n = 5) по 6 м каждая, с экстремумами равными 1 м в средних точках полуволн синусоиды.

Таблица 1

Последовательность моделирования покрытий с синусоидальной поверхностью

№	Последовательность моделирования
1	Построение графика синусоиды, образующей поверхность покрытия
2	Моделирование поверхности покрытия по заданной синусоиде
3	Разделение поверхности изопараметрическими линиями с шагом необходимым для назначения системы решетки
4	Создание семейств с эффективной системой решетки, если такие семейства ранее не были созданы
5	Загрузка семейства с определенной системой решетки в проект модели поверхности
6	Назначение системы решетки поверхности по сетке изопараметрических линий
7	Выбор варианта поверхности с более эффективной системой решетки
8	Подготовка файла в формате «dxf» для дальнейшего экспорта геометрии в вычислительный комплекс

Геометрическая схема синусоиды, образующей поверхность тестовой модели, показана на рис. 1. На графике синусоиды значение образующей y, дающее синус угла числа x, принято отображать отрезками пропорционально следующему масштабу: 1 = 1 м = 1000 мм (см. рис. 1).

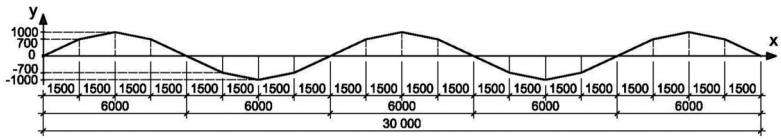


Рис. 1. График синусоиды, образующей поверхность покрытия, мм

Далее при помощи продольных и поперечных образующих выполнено разбиение поверхности модели покрытия по двум взаимно ортогональным направлениям. Пролет 30 м поделен на 20 равных частей по 1,5 м, а по длине поверхность поделена на 45 равных частей по 2 м каждая (рис. 2).

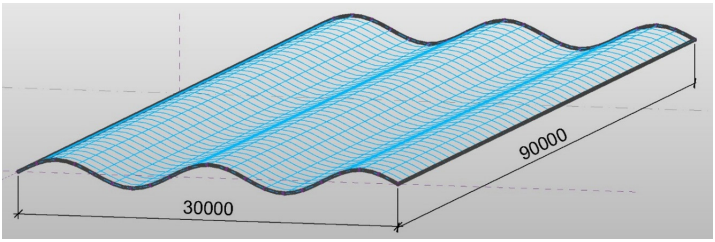
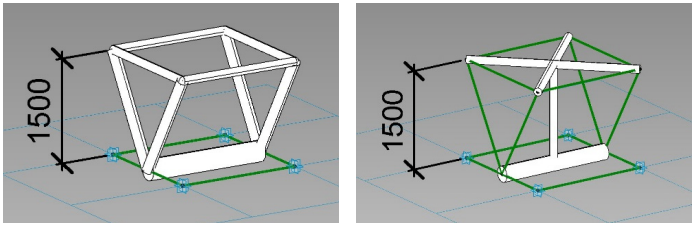


Рис. 2. Общий вид синусоидальной поверхности с сеткой из образующих

Чтобы задать систему решетки для всего покрытия, необходимо создать новые семейства с рациональными видами решетки или загрузить в проект ранее созданные семейства. Для построения решетки тестовой модели в проект поочередно были загружены два ранее созданных семейства с двумя вариантами решетки: призматическая, перекрестно-стоечная (см. рис. 3, *а* и 3, *б*).

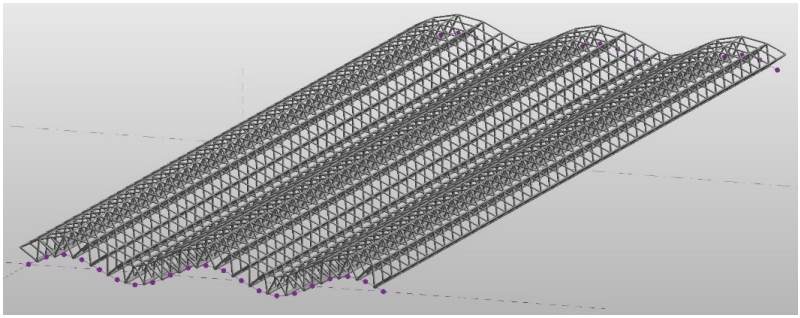


а) *б*)

Рис. 3. Семейства с системой решетки для модели конструкции покрытия:
а – призматическая, семейство № 1; *б* – перекрестно-стоечная, семейство № 2

После загрузки необходимого семейства в проект с ранее уже созданной поверхностью покрытия, при помощи вкладки «Свойства» в среде Autodesk Revit назначена решетка соответствующего вида, которая описывает поверхность с шагом заданным изопараметрическими линиями. Высота решетки принята 1,5 м для двух вариантов семейств. В результате построены две модели покрытия с различными системами решетки (см. рис. 4, *а* и 4, *б*).

а)



б)

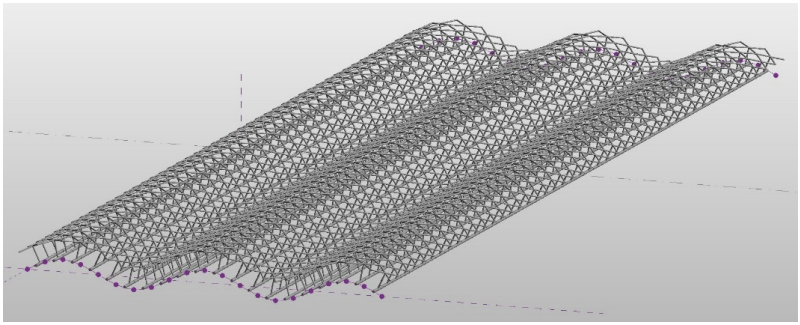


Рис. 4. Общий вид модели решетчатого покрытия синусоидального очертания: *а* – призматическая система решетки; *б* – перекрестно-стоечная система решетки

На основании полученных информационных моделей возможно выполнить сравнение вариантов покрытий [10, 11] синусоидального вида с различными системами решетки. После выбора окончательного варианта в информационную модель покрытия добавляются связевые элементы, обеспечивающие геометрическую неизменяемость конструкции, далее

в формате «dxf» выполняется экспорт геометрии модели в вычислительный комплекс. В вычислительном комплексе выполняется определение напряженно-деформированного состояния решетчатой конструкций покрытия [12, 13], а на основании выполненного расчета назначаются поперечные сечения стержневых элементов покрытия. Для решетчатой конструкции покрытия в виде синусоиды подходящим профилем поперечного сечения являются стальные круглые трубы, указанный вид профиля целесообразно применять из-за сложности сопряжения элементов, примыкающих в узлах под различными углами.

Для более эффективного применения ТИМ при проектировании, необходимо разрабатывать последовательность и приемы моделирования конструкций со сложным формообразованием [14, 15]. Геометрически сложные конструкции целесообразно моделировать при помощи структурной ячейки в виде созданного семейства, с последующим назначением системы решетки для всей мегаструктуры конструкции. Именно такая методика разработана и апробирована в данной статье, применительно к решетчатым покрытиям синусоидального вида.

На основании тестирования разработанной методики можно сделать вывод, что алгоритмизация последовательности моделирования с помощью ТИМ позволяет автоматизировать процессы проектирования покрытий с поверхностью синусоидального вида, создавать модели с различными вариантами решетки, выполнять проектные работы с высокой скоростью и точностью.

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. научно-практ. конф. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб. : СПбГАСУ, 2024. С. 196–203. DOI: 10.23968/BIMAC.2024.027. EDN: OGAOGO.

2. *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.

3. *Мищенко В.Я., Горбанева Е.П., Косовцева И.А.* Информационное моделирование процессов энергоснабжения в области проектирования строительства и эксплуатации // Научный журнал строительства и архитектуры. 2023. № 1(69). С. 80–92. DOI: 10.36622/VSTU.2023.69.1.006. EDN: ACLCJT.

4. *Алексеева А.С., Бузало Н.А., Постовалов А.И., Черныховский Б.А.* Уровни детализации цифровых моделей стальных конструкций // Жилищное строительство. 2022. № 8. С. 17–21. DOI: 10.31659/0044-4472-2022-8-17-21. EDN: QBXWHN.

5. *Пименов С.И.* Анализ современных программных комплексов для виртуального строительства (4D-моделирования) // Научный журнал строительства и архитектуры. 2022. № 3(67). С. 92–104. DOI: 10.36622/VSTU.2022.67.3.009. EDN: OPJFKX.

6. *Потехин И.А., Добросоцких М.Г., Понявина Н.А., Сотникова М.А.* Развитие организации строительного производства за счет усиления интеграции геотехнических функций в BIM-системах // Инженерные системы и сооружения. 2023. № 4(54). С. 8–19. EDN: CCEWIS.

7. *Царитова Н.Г., Курбанов А.И., Курбанова А.А.* Энергоэффективные здания на основе трансформируемых каркасов // Строительство и реконструкция. 2022. № 6(104). С. 91–103. DOI: 10.33979/2073-7416-2022-104-6-91-103. EDN: WRCQIB.

8. *Емельянов Д.И., Кузнецов Д.Н., Федосова Л.А., Глушков А.А.* Применение BIM-технологий для проектирования криволинейных покрытий на основе пространственных решетчатых конструкций // Строительная механика и конструкции. 2019. № 1(20). С. 71–81. EDN: YZOZHV.

9. *Свентиков А.А., Кузнецов Д.Н.* Автоматизированное проектирование пространственных решетчатых стальных конструкций покрытий сложной формы // Строительство и реконструкция. 2021. № 1(93). С. 38–49. DOI: 10.33979/2073-7416-2021-93-1-38-49. EDN: NMUKBS.

10. *Кетова Е.В., Цупренко Д.В.* Возможности оболочечных конструкций и их применение в нелинейной архитектуре // Качество. Технологии. Инновации. мат-лы VI междунар. научно-практ. конф. Новосибирск : НГАСУ, 2023. С. 336–344. TSSNOV.

11. *Кривошапко С.Н.* Примеры архитектурных стилей, направлений и стилевых течений для строительных сооружений криволинейной формы // Строительство и реконструкция. 2023. № 6(110). С. 111–130. DOI: 10.33979/2073-7416-2023-110-6-111-130. EDN: CPCIFK.

12. *Колодежнов С.Н., Гладких Е.Н.* Исследование влияния компоновочных параметров сводчатого структурного покрытия на НДС несущих конструкций // Строительная механика и конструкции. 2017. № 1(14). С. 52–60. EDN: YRLIJP.

13. *Кузнецов Д.Н.* Малый стальной сферический купол с решеткой из шестигранников // Строительная механика и конструкции. 2020. № 3(26). С. 53–64. EDN: WREZTL.

14. *Семикин П.П., Бацунова Т.П.* Динамическая архитектура. Кинетические фасады // Изв. вузов. Строительство. 2018. № 6(714). С. 86–96. EDN: YLJRVB.

15. *Царитова Н.Г., Тумасов А.А., Курбанова А.А., Штанкевич А.В.* Формообразование зданий на основе стержневых арок с изменяемой геометрией // Строительство: наука и образование. 2023. Т. 13, № 2. С. 6–19. DOI: 10.22227/2305-5502.2023.2.1. EDN: ORSBSV.

УДК 004.942+712.00
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.033

Мазняк Елена Владиславовна, BIM-инженер
(ООО «Проектный институт № 2»)
E-mail: emazniak@yandex.ru, ORCID: 0009-0008-2849-1477

Mazniak Elena Vladislavovna, BIM-engineer
(LLC “Design institute No. 2”)

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЛАНДШАФТОВ НА ПРИМЕРЕ БЛАГОУСТРОЙСТВА ТЕРРИТОРИИ ЖИЛОГО КОМПЛЕКСА

APPLICATION OF LANDSCAPE INFORMATION MODELING IN RESIDENTIAL COMPLEX

В статье описаны ключевые компоненты применения информационного моделирования в ландшафтном проектировании. Поставлена задача цифрового представления пространственных и физических характеристик основных элементов раздела генплан для автоматизированного сбора количественных данных, являющихся основой при формировании ведомостей объемов работ. Описан принцип для системной параметризации элементов, позволяющий комплектовать табличные формы раздела генплан, согласно требованиям законодательства РФ. Представлены результаты практического применения технологий информационного моделирования ландшафтов на примере информационной модели планировки территории объекта жилого комплекса. Сформирована ЦИМ раздела Генплан в динамической связи ведомостей объемов работ с геометрией планировочных решений. В модели реализовано автоматизированное заполнение таблиц по технико-экономическим показателям и интеграция в сводную информационную модель по объекту проектирования. Отмечена важность работы как для оценки и обоснования проектных и управленческих решений по проекту, так и актуальность цифрового представления данных по этому разделу.

Ключевые слова: информационное моделирование в ландшафтах, LIM, генплан, ведомости объемов работ, автоматизированное заполнение документации, системная параметризация элементов, анализ и управление данными.

The article describes the key components of the application of information modeling in landscape design. The task has been set to digitally represent the spatial and physical characteristics of the elements of the general plan section for the automated collection of quantitative data, which is the basis for the formation of bills of quantities. The principle for system parameterization of elements is described, which allows you to

complete the tabular forms of the general plan section, in accordance with the requirements of the legislation of the Russian Federation. The results of the practical application of landscape information modeling technologies are presented using the example of an information model for planning the territory of a residential complex. Conclusions have been drawn.

Keywords: Landscape Information Modeling, LIM, general planning, statements of quantities, automated completion of documentation, system parameterization of elements, analysis and data management.

Использование технологий информационного моделирования ландшафтов (Landscape Information Modeling, LIM) является закономерным расширением технологий информационного моделирования зданий (Building Information Modeling, BIM) на ландшафтное проектирование. В российской строительной отрасли оно лишь начинает свое развитие и открывает перспективы для развития информационных градостроительных моделей[1], где элементами являются не только здания, сооружения, зоны благоустройства, а целые кварталы и даже районы, города, собранные в цифровые модели и функционирующие в едином информационном пространстве данных [1, 2].

Суть LIM состоит в связывании 3D-геометрии проектируемой территории в заданной детализации с системной параметризацией элементов проектируемого ландшафта в едином формате прочтения с цифровой информационной моделью (ЦИМ) самого объекта капитального строительства (ОКС) [3]. Цифровое представление пространственных и физических характеристик планировки территории дает возможность сформировать автоматизированным образом комплексный и динамический обзор ландшафтных решений и их эффективности, а также осуществлять интеграцию раздела в сводную ЦИМ объекта проектирования.

В настоящей статье описаны результаты пилотного проекта по применению LIM на объекте жилой квартальной застройки (ЖК). Работа была проведена в рамках внедрения ИМ во все разделы проектирования. Для этого руководителем BIM отдела были поставлены задачи BIM-специалистам по разделам. Для раздела СПОЗУ (схема планировки организации земельного участка) задачи были следующие:

– изучить нормативные документы и проанализировать существующие методы проектирования данного раздела в компании;

[1] Стандарт комплексного развития территорий // Минстрой РФ от 15 марта 2019 г.

– собрать наборы характеристик элементов раздела и предложить решения по выбору инструментов и методик информационного моделирования для:

а) выпуска проектной документации;

б) анализа технико-экономических показателей;

– реализовать пилотный проект объекта квартальной застройки (выпуск документации раздела СПОЗУ стадии П в ИМ в части Планировочные решения), провести анализ подхода к проектированию пилотной модели, сделать выводы.

В качестве пилотного проекта был взят жилой комплекс, представляющий собой малоэтажные жилые дома (2/5 этажей, включая один подземный) со встроенными помещениями, подземным гаражом и объекты коммерческого назначения со свободными планировками (4 корпуса). Общая площадь земельного участка для проектирования более 11,5 га. Архитектурно-планировочное решение по объекту предполагает 133055 кв. м. жилой и коммерческой застройки.

ЦИМ создавалась по элементам раздела СПОЗУ, Генплан, в части состава Планировочных решений, таких как: зоны надземной и подземной застройки, проезды, тротуары, площадки и дорожки, территории посадок и газона, зоны парковок, дорожной разметки и мест сбора твердых бытовых отходов, элементов озеленения, освещения и малых архитектурных форм. В ЦИМ отражены только основные перепады высот. План организации рельефа реализован в отдельном ПО для работы с рельефом. Проектная документация по наружным инженерным сетям была подгружена в формате *.dwg в 2D-виде, и соответствующие компоненты соотнесены с осями *x*, *y*.

Территория проектирования была разбита на участки, как показано на рис. 1, содержащие такие элементы как: отдельные здания, массовые парковки, тепловая подстанция и т.п. Внутри участков выделены зоны вида застройки, общие и дворовые зоны, а также над подземными частями зданий, различные виды состава покрытий (проезды, тротуары, площадки, газон). Формирование технико-экономических показателей проводилось как по общей территории проектирования, так и по отдельным участкам.

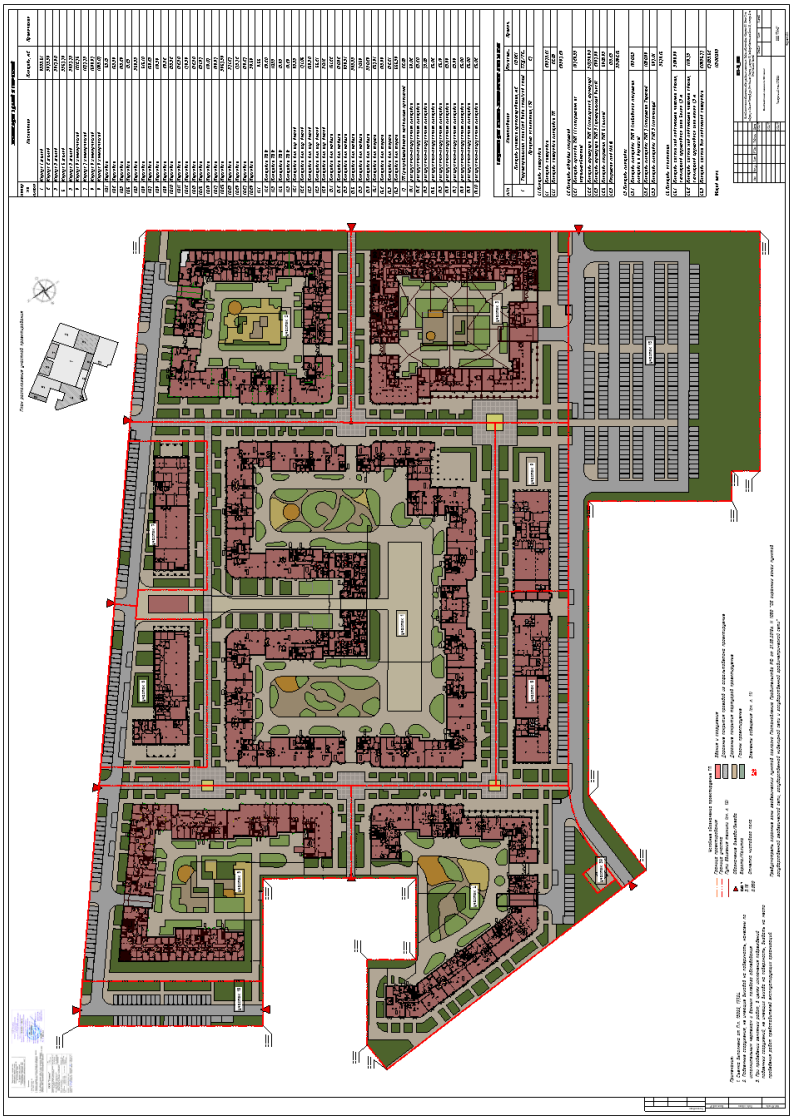


Рис. 1. Лист 2. Генеральный план (с выделением участков для анализа ТЭП)

Назначены параметры системной организации данных по элементам раздела СПОЗУ(Генплан), в соответствии с разработанной структурой параметризации, которая обеспечивает отражение данных в ведомостях и спецификациях пакета документации.

Состав и графическое представление табличных форм приняты согласно законодательным нормам в части состава элементов раздела[1], для отражения в графической части проектной документации. Основная сложность параметризации состоит в том, что табличные данные содержат информацию из различных информационных слоев [4, 5]: например, функциональные зоны, площадные показатели или данные по количеству одних и тех же элементов. Ряд элементов имеют комплексный функционал с различными наборами характеристик. Например, парковочное место является отдельным элементом с собственными характеристиками, и в то же время является частью проезжей части. Необходимо отметить элементы, которые проектируются в других разделах, но отражаются в данном разделе в виде условных обозначений, а данные по ним собираются в табличных формах раздела (например, опоры освещения и т.п.).

Для решения поставленной задачи потребовалась общая иерархическая организация общего набора характеристик элементов раздела. Это было реализовано путем распределения характеристик по системе таблиц и структуре параметров по категориям, типам и экземплярам элементов проектирования. При этом, помимо автоматического заполнения ведомостей, требовалось соблюсти один из ключевых принципов информационного моделирования – значение каждого атрибута должно заноситься только один раз в определенном месте для исключения дублирования данных.

Для этого была разработана отдельная инструкция, имеющая вложенную структуру назначения параметров. Сформированы библиотеки условных обозначений, как для самой проектной поверхности, так и для отражения в модели проектных решений по смежным отделам, которые также необходимо было собрать в таблицы.

Была сформирована ЦИМ раздела Генплан с рабочей документацией по проекту (кроме ПОР, План земляных масс частично) в динамической связи ведомостей объемов работ с геометрией планировочных решений. В ЦИМ были отражены только основные перепады проектного рельефа (ПОР и картограмма в отдельном ПО для работы с рельефом).

[1] ПП РФ от 16.02.2008 № 87 (ред. от 28.12.2024) «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию».

Эффективные планировочные решения представляют собой результат анализа возможных вариантов расположения и вида элементов благоустройства, требуемых в рамках технического задания, на множестве ограничений, норм и правил. Такой анализ проводится на основе таблиц технико-экономических показателей (рис. 2), по заданным элементам. Отображение планировочных решений в виде ИМ позволяет назначать атрибуты для сбора и анализа ТЭП в необходимой степени детализации на любых, даже самых ранних этапах, обеспечить преемственность модели от одной стадии к другой и избежать многих коллизий.

ЦИМ раздела Генплан в динамической связи ведомостей объемов работ с геометрией планировочных решений, сформированная согласно описанной выше методике, позволяет автоматизировано заполнять таблицы по технико-экономическим показателям и интегрировать ее в сводную информационную модель по объекту проектирования, что является очень важными факторами для оценки и обоснования как проектных, так и управленческих решений по проекту, обеспечивая актуальность цифрового представления данных.

Сводная модель ОКС на рис. 3 представляет собой ИМ ОКС, собранную из отдельных ИМ по нескольким разделам объекта, скоординированным в пространстве, и интегрированную в ИМ раздела Генплан.

По сравнению с традиционными методами проектирования Генплана в 2D и ПО для рельефа, такой подход позволяет в рамках единой модели собрать проектную геометрию, документацию и визуальное представление. Обеспечивается целостность и уникальность информации в проектной документации. Параметризация элементов модели Генплана в непосредственной связи с ее геометрическим представлением позволяет проводить анализ, редактирование и масштабное управление данными о ландшафте, а также работать над формализованным представлением требований заказчика в цифровом формате.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПО ПОКРЫТИЯМ НА УЧАСТКАХ

№	Наименование	Количество, м. кв.												
		участок 1	участок 2	участок 3	участок 4	участок 5	участок 6	участок 7	участок 8	участок 9	участок 13	участок 18	участок 39	Итого
1.1	Площадь застройки над отм. 0.000	9753.27	3975.39	3811.80	3347.78	3631.75	1212.74	1071.75	1083.07	1469.67	0.00	0.00	22.05	29397.27
1.2	Площадь твердых покрытий	14725.16	4268.82	4766.38	5561.08	5859.25	2406.75	2069.56	2039.05	1834.99	10681.97	1570.25	108.58	55092.14
1.2.1	-Площадь проездов ТИП 1 (асфальтовое)	193.87	94.26	406.00	809.53	1246.29	915.92	938.26	410.75	334.99	9271.63	1245.84	0.00	16126.34
1.2.2	-Площадь тротуаров ТИП 2 (пожарное, тротуар)	9734.14	2889.71	3674.82	4394.54	3338.45	1306.01	942.64	1333.37	1287.69	1404.34	326.41	108.58	30738.90
1.2.3	-Площадь тротуаров ТИП 3 (центральный въезд)	2566.68	0.00	0.00	0.00	0.00	436.06	60.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2662.99
1.2.4	-Площадь площадок ТИП 4 (газон)	2178.13	431.48	645.30	338.79	457.76	143.76	128.41	275.12	204.90	0.00	0.00	0.00	4803.65
1.2.5	-Площадь покрытий под МАФ	52.64	0.37	40.26	18.22	16.75	0.00	0.00	19.81	7.21	0.00	0.00	0.00	155.26
1.3	Площадь площадок	1321.54	559.27	400.41	620.17	576.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3478.13
1.3.1	-Площадь площадок ТИП 5 (песок)	146.30	44.21	50.12	171.84	85.33	0	0	0	0	0	0	0	497.80
1.3.2	-Площадь площадок ТИП 6 (набивное покрытие)	1023.03	70.48	350.29	283.15	243.50	0.00	0	0	0	0	0	0	1950.45
1.3.3	-Площадь площадок ТИП 7 (травяной)	152.21	444.58	0.00	165.98	247.91	0.00	0	0	0	0	0	0	1030.68
1.4	Площадь озеленения	5788.51	2856.14	2924.17	3154.12	2714.88	715.27	563.58	510.45	635.38	64.10.00	754.16	26.76	21053.42
1.4.1	-Площадь газона над подземной частью здания при толщине дренажного слоя более 1.5 м	2364.83	589.29	697.98	715.98	704.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5072.13
1.4.2	Площадь газона над подземными частями здания, с толщиной дренажного слоя менее 1.5 м	452.63	146.79	186.58	113.30	220.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	1119.76
1.4.3	-Площадь газона (вне подземной части)	2971.05	2120.06	2039.61	2324.84	1790.37	715.27	563.58	510.45	635.38	64.10.00	754.16	26.76	20861.53

Рис. 2. Аналитическая таблица технико-экономических показателей по участкам в границах территории проектирования жилого комплекса



Рис. 3. Сводная информационная модель (ИМ) жилого комплекса

Литература

1. *Захарова Г.Б.* Как BIM перерастает в CIM и в цифровой двойник города // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : мат-лы IV Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб. : СПбГАСУ, 2021. С. 27-36. DOI: 10.23968/BIMAC.2021.003. EDN: SBXCVG.

2. *Мазняк Е.В.* Применение технологии информационного моделирования для ландшафтного проектирования // Новые информационные технологии в архитектуре и строительстве : мат-лы VI Междунар. научно-практ. конф. Екатеринбург : УрГАХУ, 2023. С. 53. EDN: PYVDFY.

3. *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. научно-практ. конф. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб. : СПбГАСУ, 2024. С. 356–362. DOI: 10.23968/BIMAC.2024.048. EDN: LCHXXK.

4. *Bayer S., Yeler O., Demİrel F.Ş.* Designing Landscape Projects with BIM (Building Information Modeling) Support: The Example of Van YYU // JENAS Journal of Environmental and Natural Studies. 2023. Vol. 5, No. 2. P. 123–135. DOI: 10.53472/jenas.1299838. EDN: CJVYYA.

5. *Zheng Z.* Analysis of nonlinear landscape structure components accurate construction information delivery based on Rhino+Grasshopper parametric modeling // Advances in Operation Research and Production Management. 2023. Vol. 1, No. 1. P. 35–44. DOI: 10.54254/3029-0880/1/2023007. EDN: WXWITB.

УДК 72:004.8:004.9
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.034

Максимова Светлана Валентиновна, д-р техн. наук, заведующий кафедрой
(Пермский национальный исследовательский политехнический университет)
E-mail: svetlana-maximova@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-3216-8732
Полыгалова Анна Александровна, аспирант
(Пермский национальный исследовательский политехнический университет)
E-mail: polygalovaann2020@yandex.ru, ORCID: 0009-0000-8445-9916
Белякова Дарья Павловна, магистрант
(Пермский национальный исследовательский политехнический университет)
E-mail: goldyreva-d@mail.ru, ORCID: 0009-0008-0692-5086

Maximova Svetlana Valentinovna, Dr. in Sci. Tech., Head of Chair
(Perm State National Research Polytechnic University)
Polygalova Anna Aleksandrovna, postgraduate student
(Perm State National Research Polytechnic University)
Belyakova Daria Pavlovna, Master's degree student
(Perm State National Research Polytechnic University)

НЕЙРОСЕТЕВОЕ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАМЯТНИКА АРХИТЕКТУРЫ ПО ФОТОГРАФИИ

NEURAL NETWORK 3D MODELING OF AN ARCHITECTURAL MONUMENT BASED ON PHOTOGRAPHY

В статье приводятся примеры применения предварительно обученных нейросетей в сфере сохранения историко-культурного наследия, дается общая характеристика применяемых нейросетей, показан результат моделирования разрушенной Благовещенской церкви в Пермском крае с помощью нейросети Tripo3D. Рассматриваются достоинства и недостатки полученной модели, подчеркивается роль качества фотографий, используемых для моделирования. Время и ресурсы, затраченные на создание Благовещенской церкви, показывают преимущества применения нейросетей перед традиционными подходами, такими как фотограмметрия и ручное моделирование в задачах визуализации.

Ключевые слова: архитектурное наследие, информационные технологии, виртуальная реконструкция, трехмерное моделирование, нейронные сети.

The article provides examples of the use of pre-trained neural networks in the field of historical and cultural heritage preservation, provides a general description of the neural networks used, and shows the result of modeling the destroyed Church of the Annunciation of the Blessed Virgin Mary in the Perm Region using the Tripo3D neural

network. The advantages and disadvantages of the obtained model are considered, the role of the quality of photographs used for modeling is emphasized. The time and resources spent on the creation of the Annunciation Church show the advantages of using neural networks over traditional approaches such as photogrammetry and manual modeling in visualization tasks.

Keywords: architectural heritage, information technology, virtual reconstruction, three-dimensional modeling, neural networks.

В современном мире, где скорость и доступность информации играют ключевую роль, традиционные методы сохранения культурного наследия, полагающиеся на физическую реставрацию и бумажные архивы, постепенно устаревают. Активное внедрение информационных технологий во все сферы жизни активно подталкивает к поиску более передовых решений, основанных на искусственном интеллекте. Моделирование памятников архитектуры с помощью нейросетей имеет широкие перспективы особенно в случаях полуразрушенного или утраченного наследия, представление о котором сохранилось в виде старых фотографий и текстовых описаний.

Можно отметить несколько исследований, проведенных с использованием нейросетей. Одним из примеров, является восстановление фресок Дионисия в соборе Ферапонтова монастыря XVI века, частично утраченных из-за времени и человеческого вмешательства [1]. Проект реализуется Кирилло-Белозерским музеем-заповедником совместно с Институтом космических исследований Российской Академии Наук. Используется нейросеть Stable Diffusion, обученная на мультиспектральных съемках 2016 года и репродукциях фресок аналогичного стиля. Нейросеть успешно восстанавливает фоновый цвет, узоры и фрагменты фигур, хотя есть ошибки, например, в изображении праматери Евы [2]. Результаты останутся виртуальными, так как дописывать оригинальные фрески запрещено.

В исследовании Т. Н. Третьяковой и Р. Р. Гатиятуллина рассматривается потенциал применения нейросетей для создания базы данных объектов историко-культурного наследия челябинского купечества, что способствует автоматизированной систематизации и интеграции этих объектов в туристические маршруты, стимулируя развитие городского туризма [3]. Стоит отметить исследование В. А. Джагаева и соавторов, в котором рассматривается применение технологий компьютерного зрения для идентификации и анализа памятников золотоордынской эпохи, расположенных за пределами объектов культурного наследия, с акцентом на методологию автоматизации распознавания и классификации, при этом конкретные примеры памятников не приводятся [4].

В мировой практике аналогичные технологии применяются в проекте RePAIR для восстановления фресок Помпеи [5], а также в Китае и Индии для сохранения росписей Дуньхуана [6] и Аджанты [7].

В работе Синклера и др. рассматриваются возможности применения глубоких нейронных сетей для анализа и цифровой реконструкции разрушенных архитектурных объектов. Авторы обсуждают применение нейронных сетей для создания точных 3D-моделей, основанных на данных термографии и фотограмметрии [8].

Воссоздание объектов культурного наследия по фотографиям с помощью нейросетевого 3D-моделирования представляет научный интерес не только с точки зрения фиксации текущего состояния памятника или виртуальной реконструкции его первоначального вида. Возможности нейросетей могут быть использованы на подготовительном этапе создания полноценной информационной модели памятника архитектуры для оптимизации трудоемкой работы по получению и обработке облаков точек.

В данной статье на примере Благовещенской церкви в селе Покча Пермского края показаны результаты трехмерного моделирования с помощью предварительно обученных нейросетей.

Благовещенская церковь, возведенная в 1785 году, представляет собой прекрасный образец уральской архитектуры 18-19 века и значимый исторический памятник, продолжающий традиции деревянных храмов Благовещения и Георгия XVI века в Покче [6, 9] и реконструированный в 1910 году известным Пермским архитектором А. Б. Турчевичем (рис. 1).



Рис. 1. Архивное фото Благовещенской церкви в селе Покча. 1910 г.[1]

[1] URL: https://sobory.ru/photo/409415

Сведения о ее первоначальном виде немногочисленны, архивные фотографии относятся к 1910, 1915, 1956 годам. Подобно многим другим провинциальным культовым зданиям, в результате исторических событий XX века церковь постепенно разрушилась, утратила главный купол и шатровое завершение колокольни, находится в аварийном состоянии и ее восстановление в ближайшей перспективе затруднено (рис. 2).



Рис. 2. Благовещенская церковь в селе Покча. 2005 г.[1]; 2020 г.[2]

В этой ситуации виртуальная реконструкция является практически единственным способом восстановить памятник в историческом виде или зафиксировать его текущее состояние.

В мире 3D-моделирования и обработки изображений существует множество нейросетевых моделей, имеющих разные функции и характеристики. В нашем исследовании применялись предварительно обученные нейросети, способные создавать 3D-модели по фотографиям: NeRF[3], Tripo3D[4], Luma AI[5]. Они находятся в открытом доступе, могут быть дообучены для специфических задач и имеют возможность экспорта полученных моделей. Характеристика рассмотренных нейросетей и результаты трехмерного моделирования приведены в табл. 1 на примере обработки современных фотографий Благовещенской церкви.

[1] URL: https://www.drive2.ru/c/3055073/

[2] URL: https://59.ru/text/culture/2020/07/14/69364930/

[3] URL: https://www.matthewtancik.com/nerf

[4] URL: https://www.tripo3d.ai/app/home

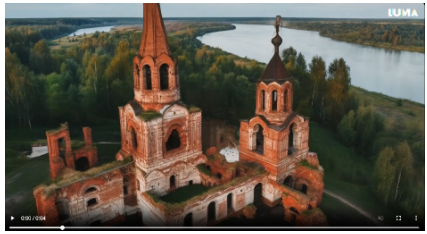
[5] URL: https://lumalabs.ai/dream-machine?roistat_visit=351011

Таблица 1

Характеристика нейросетей NeRF, LumaAI, Tripo3D

№ п/п	Название нейросети	Описание	Результаты моделирования
1	NeRF	Восстанавливает 3D-сцены из 2D-фотографий с разных ракурсов. NeRF обучает нейронную сеть предсказывать цвет и плотность каждой точки в 3D-пространстве, что позволяет создавать детализированные 3D-модели	
2	Tripo3D	Tripo3D не акцентирует внимание на создании 3D-моделей исключительно по фотографиям, ее основное направление – создание и рендеринг 3D-объектов, где фотографии могут быть лишь частью процесса	

Окончание табл. 1

№ п/п	Название нейросети	Описание	Результаты моделирования
3	LumaAI	LumaAI может использовать фотографии в контексте анализа и обработки 3D-форм, однако прямое превращение 2D-изображений в 3D-модели не является его основной функцией	

Сравнивая полученные результаты моделирования, можно отметить следующее.

Нейросеть NeRF работает не на всех устройствах и требует значительных вычислительных ресурсов и времени для обучения. Для качественного результата ей необходим большой объем обучающей выборки: фотографий с разных ракурсов. Плохо работает с фоном.

В отличие от NeRF, Tripo3D не требует высокой производительности устройств, при этом работает с высокой скоростью и хорошо иллюстрирует текстовые запросы; способна накладывать текстуры (рис. 3).

LumaAI на самом деле не генерирует трехмерную модель, а просто создает 3D-эффект. Модель быстро выдает результат, хорошо работает с фоном, однако не поддерживает текстовые запросы.

Несмотря на то, что NeRF считается эффективным инструментом для создания 3D-моделей по фотографиям [10], нейросеть Tripo3D оказалась более подходящей при используемом довольно небольшом объеме исходных данных и размере обучающей выборки. Кроме того, все необходимые функции в ней, в отличие от NeRF, доступны без подписки.

Генерация 3D-модели с помощью Tripo3D по историческому фото заняла 9–10 минут (рис. 3).



Рис. 3. 3D-модель Благовещенской церкви, полученная с помощью Tripo3D по фотографии 1910 г. (показаны два ракурса с текстурой и без текстуры)

Нейросеть успешно справилась с общим архитектурным обликом церкви, неплохо генерировала геометрию и дорисовала невидимую часть объекта, но детализация архитектурных элементов довольно слабая. Причиной этого, по нашему мнению, является не столько работа нейросети, сколько низкое качество входного изображения. Фотографии Благовещенской церкви, полученные с помощью современной техники и имеющие высокое разрешение, при загрузке в Tripo3D позволяют получить достаточно четкие изображения (см. табл. 1). Время генерации по современным фотографиям составило 5–6 минут, что также свидетельствует в пользу качества вводимых фотографий.

Трехмерное моделирование с помощью предварительно обученных доступных нейросетей позволяет сделать следующие выводы.

1. Для восстановления облика архитектурного памятника требуется дообучение нейросети на выборке, объем которой обеспечит требуемое качество трехмерной модели.

2. Для задач, связанных с виртуальным восстановлением утраченной или руинированной архитектуры, которая по объективным причинам не будет физически реконструирована, достаточно нейросетей, которые хорошо визуализируют исторический облик, дают возможность сделать «облет» памятника, восстановить текстуру и характерные детали.

3. Сложная реалистичная детализированная 3D-модель, нуждающаяся в больших вычислительных мощностях и инфраструктуре, часто не требуется, так как ее возможности оказываются невостребованными или избыточными для текущих задач проекта.

В заключение, стоит отметить, что несмотря на несомненные преимущества использования нейросетей для 3D-моделирования исторических зданий, существуют определенные сложности и ограничения. Основные проблемы связаны с сложностью геометрии архитектурных объектов и множеством деталей на фасадах, что требует доработки полученных 3D-моделей. Тем не менее время и ресурсы, затрачиваемые на создание моделей из фотографий, показывают, что этот метод значительно более эффективен по сравнению с традиционными подходами, такими как фотограмметрия и ручное моделирование и может успешно их заменить для определенного рода задач.

С учетом активного развития технологий искусственного интеллекта в последние годы, нейросети обладают потенциалом для улучшения качества создаваемых моделей и повышения уровня автоматизации процессов. Учитывая, что сегодня существует множество специализированных программных продуктов, таких как Adobe Photoshop, GIMP, Affinity

Photo, PhotoGlory, Fotor, онлайн-сервис VanceAI, позволяющих улучшить качество архивных фотографий, в будущем данный метод может привести не только к более высоким результатам, но и открыть новые возможности для восстановления утраченного или разрушенного архитектурного наследия.

Литература

1. *Шелкова Е.Н.* Открытие, изучение и реставрация стенописи Дионисия в соборе Рождества Богородицы Ферапонтова монастыря (конец XIX – XXI века) // Милютинские чтения. Общество, бизнес и культура провинциальной России второй половины XIX – начала XXI века : сб. научных работ. Вып. VIII. Череповец : Череповецкий государственный университет, 2016. С. 100–115. EDN: XYHHRV.

2. Нейросети с подачи реставраторов начали мыслить по-дионисийски // The Art Newspaper Russia. URL: https://www.theartnewspaper.ru/posts/20240423-brru/ (дата обращения: 20.01.2025).

3. *Третьякова Т.Н., Гатиятуллин Р.Р.* Создание базы данных объектов историко-культурного наследия челябинского купечества в контексте развития городского туризма // Человек. Спорт. Медицина. 2024. Т. 24, № S1. С. 176–181. DOI: 10.14529/hsm24s123. EDN: JZIGSP.

4. *Джагаев В.А., Дубов И.А., Серякова В.Н., Синицын И.С.* Применение компьютерного зрения для идентификации неизвестных памятников золотоордынской эпохи вне границ объекта культурного наследия // Развитие городского строительства и хозяйства в трудах молодых ученых. Волгоград : ВГТУ, 2021. С. 12–13. EDN: BQUQMP.

5. *Tsesmelis T. et al.* Re-assembling the past: The RePAIR dataset and benchmark for real world 2D and 3D puzzle solving // arXiv preprint. 2024. arXiv:2410.24010. DOI: 10.48550/arXiv.2410.24010.

6. *Wang Sh., Sandu I., Ivashko Yu., Krupa M., Krukowiecka-Brzęczek A., Yevdokimova T., Stavroyany S., Kravchuk O., Sandu A.V.* Methods for the Preservation and Restoration of Dunhuang Wall Paintings: Foreign Experience // International Journal of Conservation Science. 2024. Vol. 15, No. 1. P. 731–748. DOI: 10.36868/IJCS. 2024.01.24. EDN: XJAGFT.

7. *Tribhuvan A.P.* Digital Heritage of Asian Buddhist Caves Using Cultural Computing and AI: Special Reference to Ajanta Caves. In: Futuristic Trends in Artificial Intelligence. 2024. Vol. 3. P. 28–37. DOI: 10.58532/V3BKAI11P1CH3.

8. *Casillo M., Colace F., Gupta B., Lorusso A., Marongiu F., Santaniello D.* A Deep Learning Approach to Protecting Cultural Heritage Buildings Through IoT-Based Systems // 2022 IEEE International Conference on Smart Computing (SMARTCOMP). 2022. P. 252–256. DOI: 10.1109/SMARTCOMP55677.2022.00063.

9. *Чагин Г.Н.* Чердынские храмы. Вып. II. Пермь : Фонд «Благое дело», 2020. 386 с.

10. *Мохрат М.* A Review of Neural Radiance Field for 3D Reconstruction Task // Сб. тезисов докл. конгресса молодых ученых. СПб. : Университет ИТМО, 2023. URL: https://kmu.itmo.ru/digests/article/10667

УДК 69.034.4+004.9+69.059.4+69.058
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.035

Осипова Оксана Николаевна, канд. техн. наук, заведующий кафедрой
(Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова)
E-mail: oksana.osipova9@mail.ru, ORCID: 0000-0002-5698-8631
Пономаренко Андрей Дмитриевич, аспирант
(Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова)
E-mail: ponomarenko.rvt@yandex.ru, ORCID: 0009-0009-8827-5597
Скиба Алина Андреевна, магистрант
(Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова)
E-mail: skiba.rvt@yandex.ru, ORCID: 0009-0008-5982-9231

Osipova Oksana Nikolaevna, PhD in Sci. Tech., Head of Chair
(Southern Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platov)
Ponomarenko Andrew Dmitrievich, postgraduate student
(Southern Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platov)
Skiba Alina Andreevna, Master's degree student
(Southern Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platov)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ СОЗДАНИЯ BIM-МОДЕЛИ ЗДАНИЯ НА ЭТАПЕ ОБСЛЕДОВАНИЯ

DETERMINING THE FEASIBILITY OF CREATING A BIM MODEL OF A BUILDING DURING THE INSPECTION STAGE

Рассмотрены преимущества создания BIM-модели здания с использованием технологий лазерного сканирования на этапе обследования. На начальном этапе проектирования реконструкции крайне важна качественная BIM-модель здания, основанная на облаке точек и дополненная данными, полученными во время инструментального обследования. Имея точную цифровую копию существующего здания, можно достичь максимального качества проекта реконструкции. В данной статье описан процесс создания информационной модели обследования одного из ключевых гидротехнических сооружений Донского магистрального канала (ДМК), которая может служить основой для последующих проектных работ и разработки эксплуатационной модели.

Ключевые слова: обследование, лазерное сканирование, облако точек, BIM, проектирование.

The advantages of creating a BIM model of a building using laser scanning technologies at the inspection stage is considered. At the initial stage of reconstruction design, a high-quality BIM model of the building based on a point cloud and supplemented with data obtained during instrumental surveys is extremely important. Having an accurate digital copy of an existing building can achieve maximum quality in the reconstruction project. This article describes the process of creating an information model for surveying one of the key hydraulic structures of the Don Main Canal (DMC), which can serve as the basis for subsequent design work and the development of an operational model.

Keywords: inspection, laser scanning, point cloud, BIM, design.

Уровень распространения технологий информационного моделирования в РФ значительно ниже, чем в странах, являющихся лидерами по использованию BIM-технологий [1]. Однако строительная отрасль Российской Федерации находится на стадии активного внедрение цифровых технологий, включая технологии информационного моделирования зданий (Building Information Modeling, BIM). Они обеспечивают создание многомерных цифровых моделей для комплексного управления жизненным циклом объектов капитального строительства. Настоящая работа посвящена исследованию возможностей применения BIM-технологий на стадии обследования технического состояния строительных конструкций [2]. Основная цель исследования заключается в определении целесообразности создания информационной модели здания на этапе обследования.

Создание BIM-модели существующего здания подразумевает под собой два основных этапа:

1) моделирование строительных конструкций здания на основе данных облака точек, полученных методом лазерного сканирования;

2) наполнение модели информацией, полученной в ходе проведения инструментального обследования.

Лазерное 3D-сканирование – это технология измерения поверхностей, а точнее, получения пространственных координат характерных точек поверхностей при помощи лазерного сканера [3]. В контексте строительства эта технология применяется для создания высокоточных цифровых копий зданий и сооружений, находящихся на этапе строительства или эксплуатации.

Лазерное сканирование основано на использовании специальных устройств – лазерных сканеров, которые излучают световые импульсы и измеряют время их возвращения после отражения от поверхности объекта. На основе этих данных строится трёхмерная модель объекта, представляющая собой совокупность точек, каждая из которых имеет свои координаты в пространстве.

В наше время лазерное сканирование играет ключевую роль в обследовании. С его помощью можно выявлять дефекты конструкций, трещины и деформации, которые требуют ремонта или усиления. Эта технология позволяет проводить обследование опасных или труднодоступных мест без необходимости присутствия людей, снижая тем самым риски для здоровья и жизни специалистов [4].

Лазерные сканеры обеспечивают максимальную точность измерений, что критически важно при создании BIM-модели. Процесс сканирования занимает относительно немного времени по сравнению с традиционными методами измерения. Лазерное сканирование подходит для любых типов объектов вне зависимости от их размеров и сложности. Автоматизированный сбор данных сводит вероятность человеческих ошибок к минимуму.

Технология также используется для мониторинга изменений в зданиях, например, осадки фундамента, прогибов балок и других деформаций. Информационная модель, дополненная соответствующими параметрами, становится основой для реализации цифрового двойника здания с целью мониторинга его состояния. Это особенно актуально для высотных зданий и сложных инженерных сооружений. В процессе реставрации лазерное сканирование помогает создавать точные копии архитектурных элементов, что существенно упрощает процесс их будущего восстановления.

Инструментальное обследование – техническое исследование строительных конструкций зданий и сооружений, характеризующееся детальными и точными измерениями и сопровождающееся использованием специального сертифицированного оборудования. Выполняется на основе результатов визуального (предварительного) обследования.

Инструментальное обследование позволяет получить точные данные о текущем состоянии объекта, его конструктивных элементах, инженерных системах, материалах и других характеристиках. Полученные данные позволяют создать BIM-модель реального объекта, что важно для принятия обоснованных решений на всех этапах жизненного цикла здания.

После камеральной обработки полученные результаты используются для наполнения информацией построенной ранее модели. Эти данные затем используются для создания или актуализации BIM-модели здания, которая служит основой для различных видов анализа, проектирования, эксплуатации и управления объектом. Наличие актуальной BIM-модели помогает избежать ошибок и лишних затрат на этапе проектирования и строительства.

В теории, созданная при помощи описанных ранее процессов BIM-модель здания является практически не имеющей отрицательных качеств основой для создания проекта его реконструкции.

С практической точки зрения рассмотреть предложенный алгоритм можно на примере обследования головного сооружения Багаевского канала Донского магистрального канала. Это гидротехническое сооружение предназначено для подачи воды в Багаевский канал из Донского магистрального канала. Оно состоит из следующих элементов: понур, входная секция, секция затворов, выходная секция, рисберма, автодорожный мост. Здание затворов – бескаркасное, прямоугольное в плане формы. Вертикальные несущие конструкции здания представлены стенами и пилонами из керамического полнотелого кирпича, которые смонтированы на подпорные стенки секции затворов. Покрытие здания выполнено из сборных железобетонных плит покрытия.

Первый этап работ – создание BIM-модели сооружения на основе данных лазерного сканирования. Оно производилось с помощью сканера FARO Focus S150. Полученное в процессе сканирования облако точек после сведения в специализированном ПО экспортировалось в Autodesk ReCap, где было переведено в формат *.rcs (рис. 1). Далее облако точек было интегрированно в среду Autodesk Revit, где уже непосредственно начинается процесс создания BIM-модели.

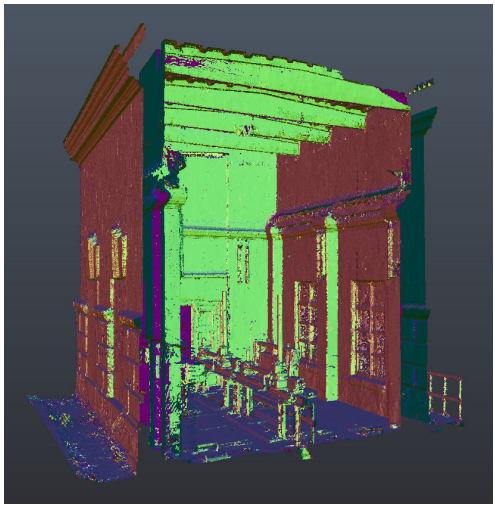


Рис. 1. Облако точек, полученное в результате сканирования

Второй этап работ – наполнение BIM-модели сооружения информацией, полученной после камеральной обработки данных инструментального обследования. Принципиально важными данными, отражение которых было необходимо в рамках создания цифрового двойника гидротехнического сооружения, являются класс бетона по прочности на сжатие для каждой железобетонной конструкции и марка по прочности на сжатие керамического кирпича.

Фактическая прочность бетона была определена при помощи разрушающего и неразрушающего методов. Марка керамического кирпича определялась в лабораторных условиях, испытания проводились на образцах, отобранных из кладки существующего здания. Все полученные данные были отражены в свойствах элементов BIM-модели [5] (рис. 2).

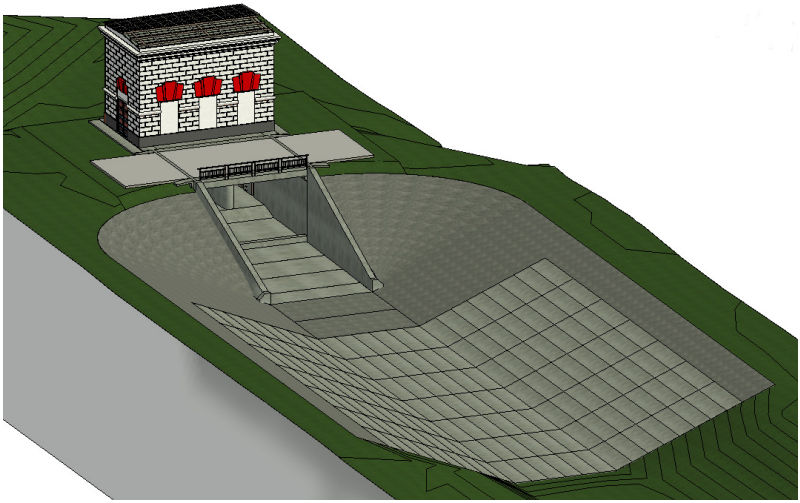


Рис. 2. BIM-модель обследования головного сооружения Багаевского канала

При создании цифрового двойника головного сооружения Багаевского канала Донского магистрального канала на этапе обследования, получилось достигнуть следующего:

1) сократить время, необходимое на создание проекта реконструкции;

2) уменьшить вероятность допущения ошибок при проектировании;

3) максимизировать точность подсчета объемов работ и материалов в рамках составления сметы реализации проекта реконструкции.

После корректировки данной модели в соответствии с разработанным проектом реконструкции, она может быть передана в эксплуатирующую организацию и послужить основой для реализации цифрового двойника.

Таким образом, создание BIM-модели на основе данных, полученных на этапе обследования, несмотря на дополнительные затраты рабочего ресурса и финансов, целесообразно.

Литература

1. *Шеина С.Г., Виноградова Е.В., Денисенко Ю.С.* Пример применения BIM технологий при обследовании зданий и сооружений // Инженерный вестник Дона. 2021. № 6(78). С. 340–346. EDN: HSBYQC.

2. *Чеботарев С.В., Красильников И.В.* Применение метода наземного лазерного сканирования на разных этапах жизненного цикла объектов строительства // Инновационные методы проектирования строительных конструкций зданий и сооружений : сб. науч. тр. 4-й Всеросс. научно-практ. конф. Курск : ЮЗГУ, 2022. С. 546–548. EDN: VQYTOW.

3. *Грязнов С.А.* Использование технологий информационного моделирования // Modern Science. 2022. № 2-1. С. 68–71. EDN: SZHKMB.

4. Силаева А.А., Халимончик Д.А. Особенности применения BIM-технологий при проведении технического обследования зданий и сооружений // Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения. 2022. № 3. С. 97–102. DOI: 10.33764/2687-041X-2022-3-97-102. EDN: EVKXZS.

5. *Горбачев А.Ю., Ласкарев А.И., Гулякин Д.В.* Роль BIM технологий в обследовании зданий и сооружений // Тенденции развития науки и образования. 2023. № 95-5. С. 137–139. DOI: 10.18411/trnio-03-2023-257. EDN: DXOEPV.

УДК 528+69.05
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.036

Ромашкина Юлия Эдуардовна, инженер по информационному моделированию
(ООО «ЛИИС Инженерные решения»)
E-mail: rue@liis.su, ORCID: 0000-0002-1641-2582
Копейкин Артем Борисович, аспирант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: ab.kopeykin@bk.ru, ORCID: 0009-0001-5903-3136

Romashkina Iuliia Eduardovna, BIM specialist
(LLC "LIIS Engineering solutions")
Kopeykin Artem Borisovich, postgraduate student
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ НА СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕМА ЗЕМЛЯНЫХ МАСС

APPLICATION OF LASER SCANNING TECHNOLOGY ON THE CONSTRUCTION SITE FOR VOLUME DETERMINATION GROUND MASSES

В статье рассмотрено применение технологии лазерного сканирования для решения задач нулевого цикла в строительстве, включая сбор данных о строительной площадке и расчет объемов земляных масс. На основании опыта использования мобильного сканера XGRIDS Lixel L2 продемонстрирован технологический процесс сканирования, обработки данных и формирования облака точек. Приведены примеры получаемых облаков точек, сценарий их обработки и визуализация расчетов объемов земляных масс. Предложен алгоритм работы с ручным сканером, включающий этапы настройки, съемки, обработки и анализа результатов. Статья является иллюстрацией того, как технология лазерного сканирования позволяет сократить сроки и издержки проекта, повысив эффективность производственных процессов и качество получаемых данных.

Ключевые слова: трехмерное лазерное сканирование, геодезия, облако точек, наземное лазерное сканирование, мобильное лазерное сканирование, SLAM, IMU.

The article explores the application of laser scanning technology to address tasks in the zero cycle of construction, including data collection on construction sites and calculation of earthwork volumes. Drawing on the experience of using the XGRIDS Lixel L2 mobile scanner, the technological process of scanning, data processing, and point cloud generation is demonstrated. Examples of obtained point clouds, their processing

workflow, and visualization of earthwork volume calculations are provided. An algorithm for working with a handheld scanner is proposed, covering the stages of setup, scanning, processing, and result analysis. The article illustrates how laser scanning technology can reduce project timelines and costs while enhancing the efficiency of production processes and the quality of obtained data.

Keywords: 3D laser scanning, geodesy, point cloud, ground laser scanning, mobile laser scanning, SLAM, IMU.

Производство работ нулевого цикла имеет стоимость, эквивалентную 20 % от общей стоимости будущего объекта. Низкая информационная обеспеченность на этом этапе влечет за собой группу рисков, которые могут встать на пути его реализации [1]. Поэтому необходимо, чтобы работа на строительной площадке сопровождалась использованием точных данных, полученных с помощью современных геодезических приборов.

Эффективным инструментом, обеспечивающим получение исчерпывающей информации об объекте, выступает технология лазерного сканирования [2].

Трехмерное лазерное сканирование – это востребованное и современное направление геодезических исследований [3]. Результат съемки лазерным сканером – облако точек [4], оно позволяет без выезда на объект производить измерения, выполнять контроль и осуществлять мониторинг отклонений фактических показателей от плановых [5]. Мониторинг актуальных данных дает возможность выявлять и своевременно устранять критические ошибки на стадии строительства, сокращая тем самым издержки на последующих этапах работ.

В данной статье поставлена цель рассмотреть на практическом примере применение технологии лазерного сканирования для решения задач нулевого цикла: получить исчерпывающие данные о ситуации на строительной площадке и произвести подсчет объема земляных масс с использованием мобильного сканера и специализированного ПО, а также сформировать алгоритм работы с ручным сканером.

Мобильные сканеры позволяют быстро строить трехмерные модели без специальной подготовки оператора. Сбор данных происходит в движении по технологии SLAM (Simultaneous Localization And Mapping), одновременной локализации и построения карты [6]. Данные лазерного сканирования совмещаются с результатами измерений встроенной инерциальной системы (IMU) прибора. Облака точек с разных траекторий движения соединяются автоматически по характерным формам окружающих объектов. Лазерные сканеры со SLAM-алгоритмами обеспечивают оперативный сбор данных со скоростью движения исполнителя и полноту результатов за счет достаточной точности и дальности лазера.

Для съемки строительной площадки использовался ручной лазерный сканер XGRIDS Lixel L2 (рис. 1).



Рис. 1. Лазерный сканер XGRIDS Lixel L2

На первом этапе съемки была проведена настройка прибора, в ходе которой он был привязан к локальной системе координат. Для этого оператор установил сканер над точками с известными координатами перекрестием на рукояти и задал ее как начальную для формирования облака точек. Строительная площадка была скоординирована ранее тахеометром.

После настройки оператор взял прибор одной рукой и выполнил обход по площадке. Сканирование выполнялось в широком диапазоне,

не захватывая в моменте только исполнителя. Сканер формировал облако точек в режиме реального времени по технологии SLAM с относительной точностью 1 см, что является достаточным для большинства видов работ. Собранные данные были записаны во встроенное цифровое хранилище сканера.

Съемка на строительной площадке производилась зимой при температуре –15 °С и шел небольшой снег, что не является помехой, так как сканер гарантирует бесперебойную работу в диапазоне от –20 °С до +50 °С и при осадках благодаря высокому классу пылевлагозащиты IP 54 [7].

Съемка строительной площадки размером 100 м × 170 м заняла 16 минут. За это время сканером было получено облако объемом более 40 миллионов точек (рис. 2).

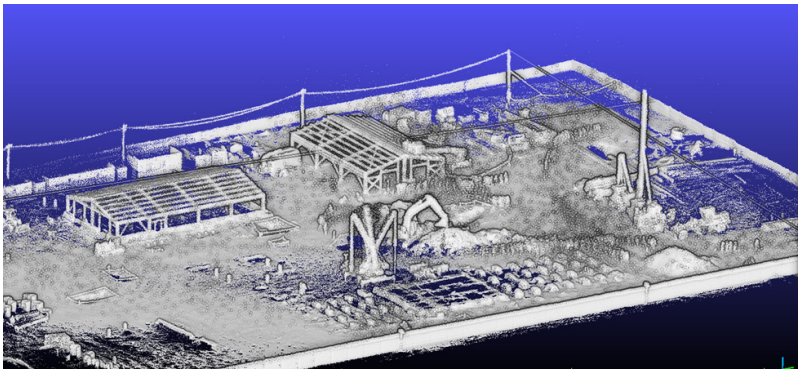


Рис. 2. Облако точек строительной площадки, полученное со сканера XGRIDS Lixel L2

Полученные данные с внутреннего накопителя перенесли на персональный компьютер с помощью кабеля USB. Обработка данных выполнялась в специализированном ПО – LixelStudio.

На рис. 2 видно, что сканирование охватывает даже крупные объекты и дает представление об общих габаритах, сооружениях и их конструкциях, строительной технике, расположенной на промышленной площадке. В специализированном ПО можно выполнить необходимые измерения и очистку облаков от артефактов.

Целью съемки был подсчет земляных масс, поэтому поверхность земли была отделена от строительной техники и прочих объектов посредством очистки облака точек (рис. 3).

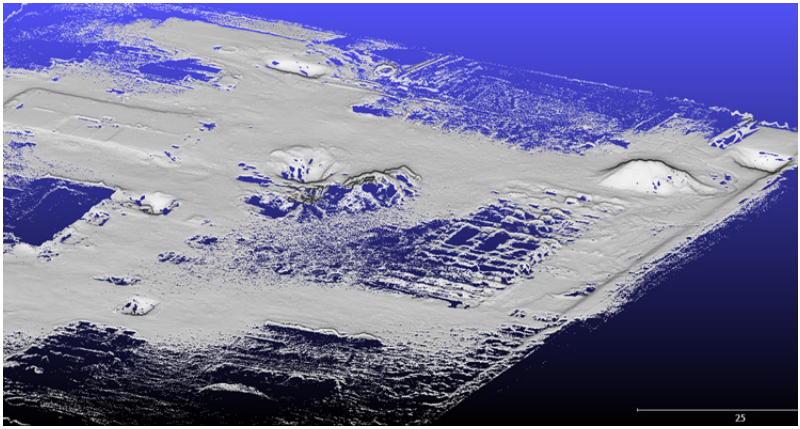


Рис. 3. Отдельное облако точек поверхности земли

По облаку точек был произведен подсчет объема земляной массы в специализированном ПО и выполнена визуализация результатов (рис. 4).

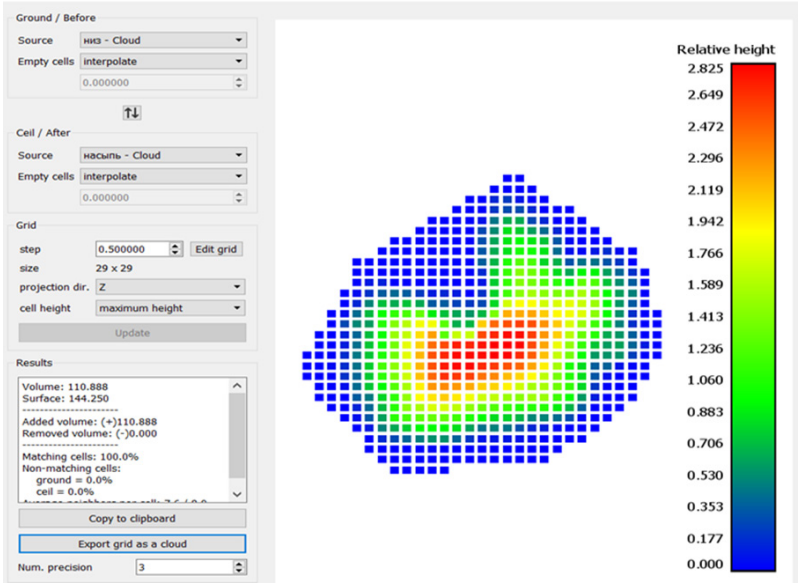


Рис. 4. Подсчет объема насыпи

Подводя итог, можем сформировать алгоритм для выполнения лазерного сканирования ручным сканером:

1. Настройка – привязка прибора к локальной системе координат.
2. Съемка – обход оператором площадки съемки.
3. Обработка – перенос и обработка данных.
4. Аналитика – расчет и визуализация результатов.

Применение технологии лазерного сканирования при производстве работ нулевого цикла позволило повысить эффективность производственных процессов, собрать и обработать большое количество полезной информации. Тем самым повысилась точность исходных данных, открылась возможность детального и комплексного планирования строительных процессов. Приведенный пример является иллюстрацией того, как эффективно лазерное сканирование позволяет решать геодезические задачи. Ранее для подобных задач требовалось наличие команды геодезистов для съемки точек координат, разработки чертежей и расчета объемов вертикальной планировки. Эта работа могла бы растянуться на продолжительное время, тогда как лазерное сканирование решает поставленные задачи в считанные минуты, а специальное ПО автоматизировано считает объемы земляных масс. Таким образом, многократно возрастает объем получаемой информации и точность данных, а также облака точек позволяют удаленно анализировать актуальную ситуацию на площадке. В совокупности перечисленные достоинства технологии существенно сокращают издержки проекта и открывают возможности углубленной аналитики для предупреждения рисков.

Литература

1. *Кретов Р.И.* Организационная деятельность производства работ нулевого цикла // Актуальные проблемы экономики и управления в строительстве : мат-лы II Национ. (всеросс.) научно-практ. конф. СПб. : СПбГАСУ, 2024. С. 309–313. EDN: HHOGRL.

2. *Бовтеев С.В., Карен К.А.* Оценка эффективности применения лазерного сканирования при организации реставрационных работ на объектах культурного наследия // Инновации и инвестиции. 2024. № 9. С. 590–593. EDN: LTMBJT.

3. *Кулеш А.А.* Возможности и преимущества лазерного сканирования при 3D-проектировании промышленных объектов // Инновации и инвестиции. 2023. № 2. С. 265–267. EDN: UILKGL.

4. *Ярославцева Е.А.* О получении облака точек и его дальнейшей обработке // Инновации в сфере информационных технологий: от идеи к внедрению (ИвСIT-2023): сб. мат-лов II Междунар. научно-практ. конф. Казань : ООО «Бук», 2024. С. 47–51. EDN: FKKBZD.

5. *Гаврилов В.С., Честнов Р.Б., Шуляковский В.Г.* Лазерное сканирование или традиционные методы съемки? Применение наземного лазерного

сканирования для проверки положения внутренних инженерных сетей гипермаркетов на соответствие проекту // Инженерные изыскания. 2009. № 8. С. 64–68. EDN: KVQXYZ.

6. *Алексеев М.Д., Ромашкина Ю.Э.* Технология ручного лазерного сканирования как дополнительный инструмент BIM-моделирования // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : мат-лы III Междунар. научно-практ. конф. СПб. : СПбГАСУ, 2020. С. 193–197. DOI: 10.23968/BIMAC.2020.024. EDN: DCLHNY.

7. Технические характеристики сканера Lixel L2. URL: https://www.rusgeo-com.ru/files.php?urlas=/ftp_kav/lazernye-skanery/xgrids/xgrids_lixel_l2.pdf

УДК 004.89+728.03
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.037

Семина Анастасия Евгеньевна, канд. архит., доцент
(Пермский национальный исследовательский политехнический университет)
E-mail: semina.ae@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-7786-5526
Кривелева Эльвира Шамилевна, аспирант
(Пермский национальный исследовательский политехнический университет)
E-mail: elya.kriveleva@mail.ru, ORCID: 0009-0004-5303-4287

Semina Anastasia Evgenievna, PhD in Arch., Associate Professor
(Perm National Research Polytechnic University)
Kriveleva Elvira Shamilevna, postgraduate student
(Perm National Research Polytechnic University)

3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕКОРАТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ А. Б. ТУРЧЕВИЧА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТЕЙ

A. B. TURCHEVICH'S ARCHITECTURAL HERITAGE DECORATIVE ELEMENTS MODELING USING NEURAL NETWORKS

В статье рассмотрены нейронные сети для трехмерного моделировании элементов архитектуры и отдельных объектов культурного наследия, построенных по проектам А. Б. Турчевича. А. Б. Турчевич – архитектор, внесший значительный вклад в архитектуру города Перми, работавший в период конца XIX – начала XX веков в стилях модерна с региональными особенностями и эклектики. В статье показан потенциал, возможности и проблемы нейронных сетей на данном этапе их развития для применения в качестве инструментов трехмерного моделирования, не требующих больших объемов натурных данных и трудозатрат. Применение нейронных сетей в задачах трехмерного моделирования в скором времени сможет стать частью обычного процесса построения информационной модели зданий или наполнения библиотек трехмерных архитектурных элементов.

Ключевые слова: нейронные сети, 3D-моделирование, информационная модель, архитектура Перми, архитектор Турчевич, культурное наследие.

The article considers neural networks for three-dimensional modeling of architectural elements and individual objects of cultural heritage built by the projects of A. B. Turchievich. A. B. Turchievich is an architect who made a significant contribution to the architecture of the city of Perm, who worked in the period of the late XIX – early XX centuries in the styles of Art Nouveau with regional features and eclecticism. The article shows the potential, opportunities and problems of neural networks at this

stage of their development for use as tools for three-dimensional modeling, which do not require large amounts of field data and labor costs. Application of neural networks in three-dimensional modeling tasks can soon become part of the usual process of building information model construction or filling libraries of three-dimensional architectural elements.

Keywords: neural networks, information model, 3d-modeling, architect Turchevich, Perm architecture, cultural heritage.

Сохранение объектов культурного наследия является важнейшей задачей для обеспечения преемственности культурных традиций и защиты исторического облика общества. Существенным аспектом охраны таких объектов является точная и полная документация их состояния и структуры, что требует внедрения современных инструментов для эффективного и оперативного сбора, хранения и использования данных [1, 2].

Александр Бонавентурович Турчевич – русский архитектор, работавший в период конца XIX – начала XX веков, по проектам которого построено около 150 зданий в Перми, Осе, Кунгуре, Сарапуле, Верхотурье и Екатеринбурге. Отличительной особенностью архитектурных объектов, построенных по проектам А. Б. Турчевича, стал архитектурный стиль модерн с региональными особенностями, некоторые здания имеют черты эклектики [3]. Из значимых зданий, построенных по проектам А. Б. Турчевича в Перми, можно выделить Дом Е. И. Любимовой (сейчас Театр юного зрителя, 1899-1902), Дом Тупицыных (здание Крестьянского поземельного банка, сейчас РУ ФСБ, 1888), Здание Епархиального женского училища (1889), церковь Марии-Магдалины (1892), Дом Грибушина (сейчас – Пермский научный центр УрО РАН, 1897), Дом Мешкова (сейчас – здание Пермского краевого музея,1881).

Несколько зданий разрушены полностью, а некоторые утратили свои части или декор фасадов. Виртуальная реконструкция поврежденных временем зданий и декоративных элементов требует высокой точности и глубоких знаний в области архитектуры и истории, а также способности моделировать сложные формы и детали, соответствующие историческому контексту [4].

Создание достоверных и точных моделей объектов культурного наследия происходит с помощью обработки облаков точек, полученных с помощью лазерного сканирования или фотограмметрии, с последующим информационным моделированием. Трудоемким оказывается моделирование декора фасадов, особенно когда здание богато украшено и все декоративные элементы разные.

Современные технологии, такие как глубокое обучение и нейронные сети, предлагают уникальные способы визуализации и взаимодействия

с объектами культурного наследия, в том числе и при создании информационных моделей зданий, а также при виртуальной реконструкции памятников архитектуры. В некоторых случаях, нейронные сети обеспечивают возможность интеграции различных технологий, таких как лазерное сканирование, фотограмметрия и 3D-моделирование, что позволяет создать точные и детализированные цифровые модели объектов [5].

Для моделирования декоративных элементов фасадов на объектах культурного наследия можно использовать несколько видов нейросетей, которые отличаются своими возможностями в обработке изображений, данных и создании точных цифровых моделей. Наиболее развитые из таких нейронных сетей указаны в табл. 1.

Однако не все нейронные сети позволяют выгрузить трехмерные модели в подходящих для работы форматах. Так, например, DepthLab и ZoeDepth позволяют скачать полученную карту глубины [6] или сразу трехмерный объект в формате obj. Meshy.ai позволяет не только выгрузить модель в разных форматах (в том числе obj и stl), но и дополнительно преобразовать модель, детализируя ее, накладывая текстуру из фото или описания, применяя текстовое описание для дополнительной генерации или стилизуя модель.

Таблица 1

Нейронные сети для генерации трехмерных моделей на основе фотографий

Название	Тип сети	Описание	Ссылка	Качество моделей
NeRF	Неявная нейронная сеть	Обучается на наборе изображений объекта и создает непрерывное представление его объемной формы и внешнего вида	https://www.matthewtancik.com/nerf	Высокая детализация, текстуры зависят от исходных данных
DepthLab	Полностью сверточная сеть (FCN)	Извлекает карту глубины из одного или нескольких изображений, которую затем можно преобразовать в трехмерную модель	https://github.com/ant-research/DepthLab	Хорошая геометрия на основе карты глубины, нужна доработка в других программах
DeepSDF	Неявная нейронная сеть	Для генерации трехмерной формы DeepSDF берет в качестве входных данных положение точки в пространстве и вычисляет значение поля функции расстояния от поверхности для этой точки	https://github.com/facebookresearch/DeepSDF	Низкая детализация, общий силуэт моделируемой поверхности узнается, модель без текстуры
GRAF (Generative Radiance Fields)	Неявная нейронная сеть (является расширением NeRF)	Для генерации новых изображений сцены GRAF берет в качестве входных данных положение камеры и направление луча и вычисляет цвет и нормаль луча, проходящего через объемное поле	https://github.com/autonomousvision/graf	Хорошая детализация, текстуры зависят от исходных данных

Окончание табл. 1

Название	Тип сети	Описание	Ссылка	Качество моделей
Meshy.ai	На основе графов+ Конволюционные (CNN)+Неявные нейронные сети	Использует комбинацию нейронных сетей для точного и эффективного преобразования фотографий в трехмерные модели	https://www.meshy.ai/	Высокая детализация, поддержка текстур
ZoeDepth	Двухпоточная сверточная нейронная сеть (CNN)	Сеть берет в качестве входных данных изображение низкого качества и предсказывает соответствующую карту глубины и улучшенное изображение	https://github.com/isl-org/ZoeDepth https://huggingface.co/spaces/shariqfarooq/ZoeDepth	Хорошая геометрия, без текстур, на основе карты глубины, нужна доработка в других программах
Instantmesh	Нейронная сеть на основе графов	Использует графовый подход для представления и обработки данных	https://github.com/TencentARC/InstantMesh https://huggingface.co/spaces/TencentARC/InstantMesh	Хорошая детализация, текстуры зависят от исходных данных
Kling AI	Модель преобразования текста в видео	Генерация изображений и видео по текстовому запросу. Использует описание естественного языка в качестве входных данных для создания видео, соответствующего входному тексту	https://klingai.com/	Хорошая детализация, текстуры зависят от исходных данных

На рис. 1 представлено преобразование архитектурных элементов для объектов культурного наследия «Дом пароходчика Н. В. Мешкова» в городе Перми. Нужно отметить, что сгенерированные таким образом модели не имеют нужной для информационной модели точности, не обладают параметрическими данными, но имеют большой потенциал.

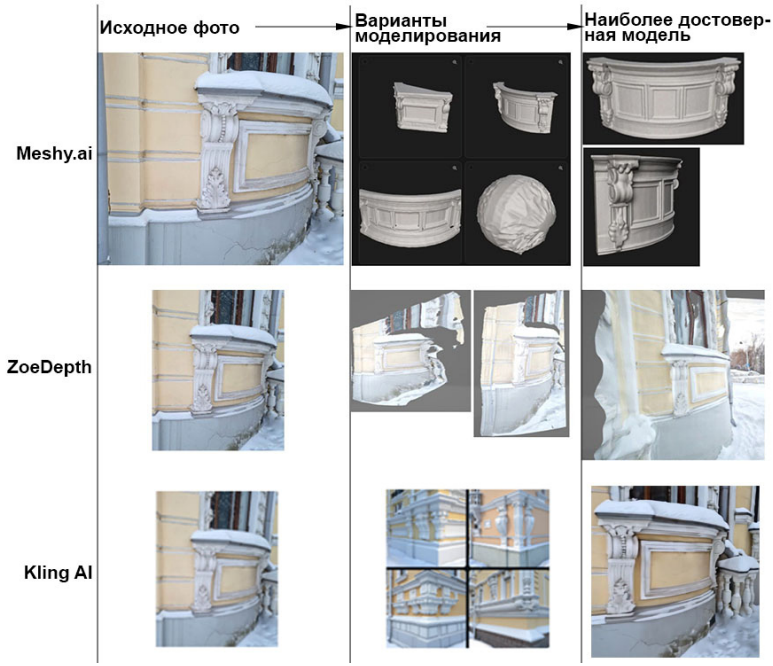


Рис. 1. Сравнение трехмерной модели фрагмента фасада, полученной с помощью различных нейросетей

По результатам генерации стоит подчеркнуть, что не все нейронные сети на данном этапе их развития способны создавать достоверные модели. Лучшие результаты (с достаточной достоверностью и детальностью геометрии) показали Meshy.ai, Kling AI, NeRF, Instantmesh. Не у всех нейронных сетей есть понятный и удобный интерфейс для работы. Так, например, для DepthLab, GRAF, Instantmesh можно найти сайты с демонстрационной версией, но сама модель в открытом доступе в виде кода на Github. А для Meshy.ai и Kling AI созданы удобные сайты и приложения, но есть ограничения в бесплатном использовании. Нейронные

сети, способные определять карту глубины (ZoeDepth, DepthLab) могут использоваться как вспомогательный инструмент для моделирования декора фасадов (с доработкой в программах трехмерного моделирования). После обработки модели декоративных элементов можно включить в состав архитектурного атласа или библиотеки трехмерных элементов архитектуры А. Б. Турчевича, а также интегрировать при моделировании отдельных памятников архитектуры.

Одним из интересных направлений может стать моделирование по историческим фото или другим архивным материалам, в том числе и описаниям. Таким образом, появляется возможность быстро восстановить утраченные исторические виды памятников архитектуры напрямую с архивного документа.

Роль новых технологий в сохранении культурного наследия трудно переоценить. Они открывают новые горизонты для точного восстановления утраченных элементов, улучшения качества реставрационных работ и расширения доступа к культурным ценностям. Нейронные сети могут стать инструментом автоматизации, ускорения процессов решения рутинных задач, например таких, как моделирование зданий по собранным натурным данным.

Литература

1. *Абрукова Е.Р.* Использование технологий AR, AI, VR в реставрации объектов культурного наследия в России и мире // Культура и цивилизация. 2023. Т. 13, № 12-1. С. 174–182. DOI: 10.34670/AR.2023.79.24.026. EDN: POQFNS.

2. *Савчиков А.В., Нахимовский А.И., Короткова А.С.* Методика управления объектами культурного наследия в среде общих данных // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2024. № 5. С. 55–69. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-5-55-69. EDN: LQMFKQ.

3. *Шутова О.А., Спирова Т.А.* К 160-летию со дня рождения А.Б. Турчевича // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2015. № 4. С. 113–121. DOI: 10.15593/2224-9826/2015.4.09. EDN: VBWZCD.

4. *Ромашина Е.О., Князева М.В.* Использование технологий информационного моделирования в проектах сохранения и приспособления объектов культурного наследия // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : мат-лы VI Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб. : СПбГАСУ, 2023. С. 181–186. DOI: 10.23968/BIMAC.2023.025. EDN: BROCHV.

5. *Cao M., Jiang J., Zhang H.* Enhancing environmental modeling and 3D point cloud construction for unmanned vehicles using laser SLAM and stereo vision with Convolutional Neural Networks // Applied and Computational Engineering. 2024. Vol. 103, No. 1. P. 57–67. DOI: 10.54254/2755-2721/103/20241027. EDN: QPGMFT.

6. *Mullins C., Esau T., Zaman Q., Al-Mallahi A., Farooque A.* Exploiting 2D Neural Network Frameworks for 3D Segmentation Through Depth Map Analytics of Harvested Wild Blueberries (Vaccinium angustifolium Ait.) // Journal of Imaging. 2024. Vol. 10, No. 12. P. 324. DOI: 10.3390/jimaging10120324. EDN: VEGFZV.

УДК 528.74
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.038

Сорокин Владислав Витальевич, аспирант
(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)
E-mail: vladislavs2018@mail.ru, ORCID: 0009-0005-3149-7341
Конюшков Владимир Викторович, канд. техн. наук, доцент
(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)
E-mail: konyushkov_vv@spbstu.ru

Sorokin Vladislav Vitalievich, postgraduate student
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)
Konyushkov Vladimir Viktorovich, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ОБЪЕКТОВ МЕТРОПОЛИТЕНА

APPLICATION OF INFORMATION MODELING IN THE RECONSTRUCTION OF METRO FACILITIES

В статье рассмотрено применение технологии информационного моделирования (BIM) для реконструируемого объекта метрополитена на основе фотограмметрической съемки. В рамках реконструкции подстанции метро требовалось выполнить монтаж несущей системы водоотведения. Основной сложностью при выполнении данных работ являлось отклонение элементов обделки тоннеля относительно проектного положения, полученное в течение эксплуатации объекта. По этой причине в ходе монтажных работ возможны изменения радиуса дуг и как следствие высоты помещений. Для увязки каркаса с элементами обделки тоннеля применено 3D-сканирование. По данным сканирования определены наиболее выступающие точки тюбингов на участках тоннеля, а также вычислены положения осей для этих участков. На основании полученных результатов было разработано корректное конструктивное решение каркаса водоотводных зонтов.

Ключевые слова: BIM, 3D-сканирование, фотограмметрическая съемка, метрополитен, тоннель, облако точек.

This article examines the use of Building Information Modeling (BIM) for a reconstructed metro (subway) facility based on a photogrammetric survey. As part of the metro substation reconstruction, it was necessary to install a supporting drainage system. The main challenge in carrying out this work was the deviation of the tunnel lining elements from their design position, which occurred during the facility's operation. For this reason, changes in the radius of the arcs and, as a result, the height of the premises

are possible during installation work. 3D scanning was used to coordinate the frame with the tunnel lining elements. Based on the scan data, the most protruding points of the tunnel segments were identified, and the positions of the axes for these segments were calculated. Based on the results obtained, a correct structural solution for the drainage umbrella frame was developed.

Keywords: BIM, 3D scanning, photogrammetric survey, metro, tunnel, point cloud.

Необходимость проведения работ по реконструкции производственных объектов в основном обусловлена увеличением нагрузок от технологического оборудования или же приведением в соответствие актуальным нормам.

При реконструкции эксплуатируемых зданий и сооружений необходимо иметь представление об их архитектурно-планировочных и конструктивных решениях. Следовательно, начальным этапом при реконструкции является анализ исходных материалов. Часто архивная документация не в полной мере отражает те или иные особенности строительных конструкций, а в некоторых случаях и вовсе отсутствует, что усложняет разработку проекта. Следующим этапом является проведение обследования технического состояния объекта и определение степени его износа.

Внедрение BIM-проектирования существенно сокращает трудозатраты на проведение обмерных работ и составление чертежей. Наиболее эффективной технологией при создании цифрового двойника объекта является 3D-лазерное сканирование. Данная технология компенсирует такие основные недостатки как трудоемкость и погрешность традиционных методов измерения [1, 2]. Результатом сканирования является облако точек, на основе которого воспроизводится пространственная конфигурация объекта [3–5].

Цель исследования: выявить преимущества технологии 3D-лазерного сканирования перед классическими методами мониторинга эксплуатируемых объектов метрополитена.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

1. Провести обзор известных методов мониторинга деформаций тоннелей.

2. Выявить недостатки традиционных подходов по сравнению с 3D-сканированием.

При мониторинге деформаций тоннелей применяются следующие классические методы:

1) **геодезические**, включающие в себя нивелирование, теодолитную съемку и устройство траншей непосредственно в обделке тоннеля;

2) **инструментального обследования**, при котором используются различные приборы, например, штангенциркуль для измерения ширины раскрытия трещин или тензодатчики для измерения деформаций и напряжений в элементах обделки;

3) **визуальный осмотр**.

К современным методам мониторинга деформаций тоннелей относятся: 3D-лазерное сканирование; использование георадаров для выявления пустот во вмещающем грунтовом массиве, а также трещин в элементах обделки тоннеля; применение инклинометров для измерений углов наклона конструкций.

Основными работами при проведении мониторинга являются непосредственно проведение измерений и обработка данных. По этой причине многие из классических методов имеют следующие общие недостатки: высокую трудоемкость и продолжительность измерений; необходимость в непосредственном доступе к точкам измерения; ограниченную точность результатов. При устройстве траншей основным недостатком является нарушение целостности обделки тоннеля.

Технология 3D-лазерного сканирования используется для получения данных облака точек туннеля, что обеспечивает воспроизведение пространственной конфигурации туннеля в трехмерной модели. С помощью программного обеспечения на основе данных облака точек туннеля выполняется аппроксимация центральной оси туннеля, а также определяется фактический контур поперечного сечения.

Технология 3D-лазерного сканирования записывает 3D-координаты, коэффициенты отражения и другую информацию сканируемого объекта со скоростью нескольких десятков тысяч или даже миллионов точек в секунду. Все 3D-лазерные сканеры в основном состоят из лазерного передатчика, приемника, камеры, таймера, системы управления питанием и других компонентов.

Передатчик излучает лазер перед вращающейся линзой, после чего лазер отражается от поверхности измеренного объекта. Затем отраженный лазер собирается приемником практически по той же траектории. Далее таймер вычисляет время отражения и поглощения отраженного лазера и по нему определяет пройденный путь. В то же время кодировщик одновременно по текущему положению линзы измеряет углы горизонтального и вертикального вращения. Таким образом, в прямоугольной системе координат вычисляются координаты X, Y и Z сканируемой точки.

Рабочий процесс применения технологии 3D-лазерного сканирования в тоннелях можно разделить на четыре этапа: предварительная

подготовка, сбор данных облака точек, обработка данных облака точек и анализ деформации.

В процессе обработки данных облака точек выполняется аппроксимация оси тоннеля для определения точного положения и сечения тоннеля, а также построение кривой продольной деформации тоннеля вдоль оси. В данной работе на основе метода проекции используется метод аппроксимации центральной оси данных облака точек [3].

В данной статье представлены результаты применения технологии 3D-лазерного сканирования на стадии разработки рабочей документации по реконструкции эксплуатируемого тоннеля подстанции метрополитена. Работа заключалась в проектировании новой системы защиты от влаги в помещении над электрооборудованием. Применяемое оборудование – сканер Trimble SX10 со скоростью сканирования до 26600 точек в секунду и дальностью сканирования до 600 м.

По результатам визуального обследования были выявлены неравномерные деформации элементов обделки тоннеля. Данные дефекты могут стать препятствием при производстве строительно-монтажных работ (СМР). Также нормативные документы предъявляют требования к высоте технических помещений объектов метрополитена, которая должна быть не менее минимально установленной допустимой величины. Таким образом, при разработке рабочей документации необходимо учесть неравномерность высоты помещений вдоль всего тоннеля для исключения простоев бригад при производстве СМР. По этой причине для уточнения фактической геометрии внутреннего объема подстанции было проведено лазерное сканирование. Точный мониторинг деформаций строительных конструкций является важным средством для оперативного контроля строительства и при необходимости корректировки проекта, а также необходимым условием для обеспечения безопасности строительства [6, 7].

Конструкция (каркас) водоотводных зонтов представляет собой систему шарнирно соединенных между собой металлических дуговых стоек с прогонами, закрепленных к железобетонным тюбингам металлическими крюками. К каркасу крепятся сами картины водоотводных зонтов при помощи винтов (рис. 1).

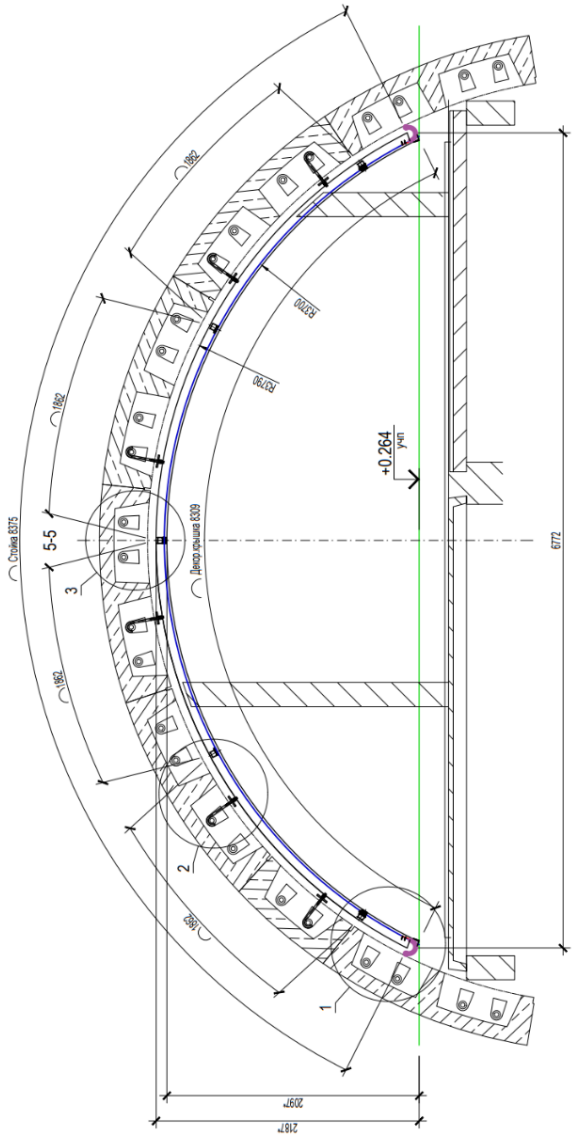


Рис. 1. Поперечный разрез подстанции с конструкциями водоотводных зонтов

На рис. 2 представлено облако точек, полученное при сканировании тоннеля. По координатам облака точек поверхности тоннеля появляются данные о сечении тоннеля, выполняется аппроксимация поперечного сечения для определения центральных координат, а затем аппроксимация центральной линии (рис. 3, 4).

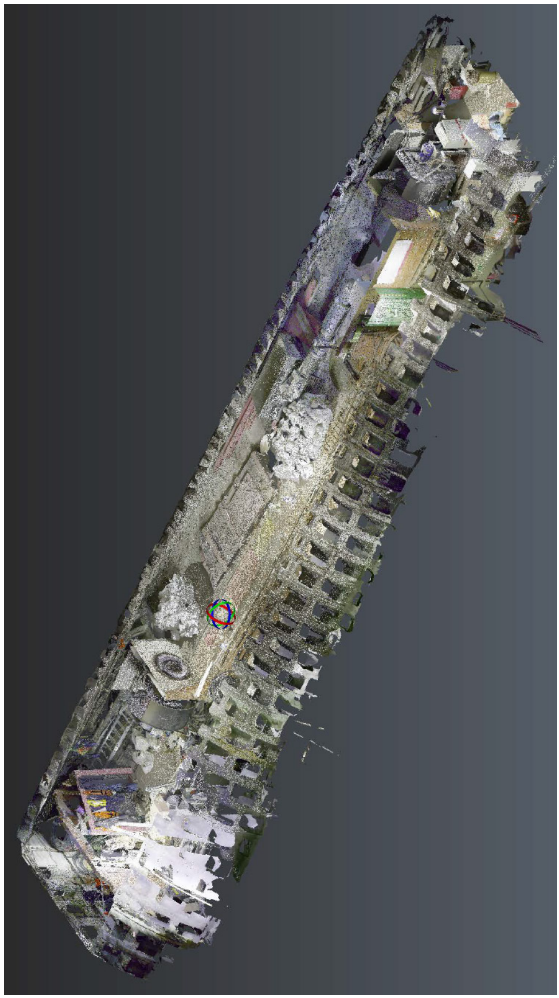


Рис. 2. Облако точек подстанции по результатам 3D-сканирования

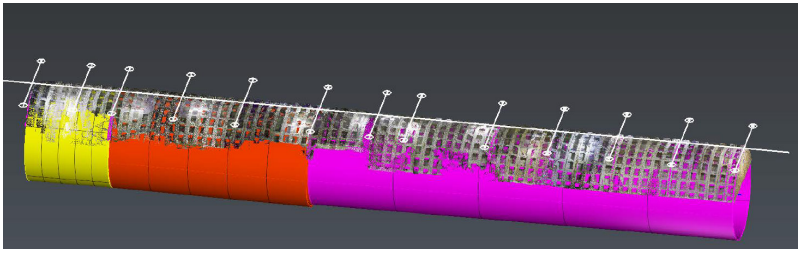


Рис. 3. Вписывание цилиндров проектных участков по самым выступающим точкам внутри тюбингов

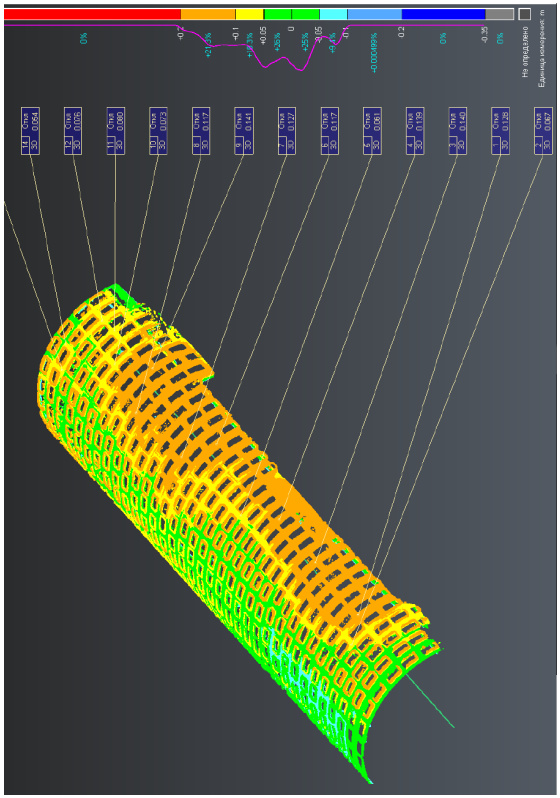


Рис. 4. Фрагмент облака точек проектного участка. Отклонения со знаком «плюс» – отклонения вверх, отклонения со знаком «минус» – к оси тоннеля

В данной работе показана эффективность BIM-проектирования применительно к эксплуатируемому объекту метрополитена. При разработке проекта реконструкции сделаны следующие выводы:

1. Применение лазерного сканирования и последующее построение цифровой модели значительно сокращает трудоемкость проведения работ по обследованию технического состояния строительных конструкций сооружения.

2. В сравнении с объектом-аналогом, на котором проводилась традиционная геодезическо-маркшейдерская съемка, сроки обработки данных при 3D-сканировании были сокращены на 50 %.

3. Разработка BIM-модели позволила исключить потери времени на корректировку документации при обнаружении возможных коллизий в ходе производства СМР, а как следствие, завершить работы в срок.

Литература

1. *Cacciari P.P., Futai M.M.* Mapping and characterization of rock discontinuities in a tunnel using 3D terrestrial laser scanning // Bulletin of Engineering Geology and the Environment. 2016. Vol. 75, No. 1. P. 223–237. DOI: 10.1007/s10064-015-0748-3. EDN: YSZQIR.

2. *Wang Q., Qian P., Liu Y., Li T., Yang L., Yang F.* Geometric Accuracy Evaluation Method for Subway Stations Based on 3D Laser Scanning // Applied Sciences (Switzerland). 2022. Vol. 12, No. 19. P. 9535. DOI: 10.3390/app12199535. EDN: AORYLP.

3. *Xiang J.* Research on deformation monitoring of tunnel engineering based on 3D laser scanning // Applied Mathematics and Nonlinear Sciences. 2023. Vol. 8, No. 2. P. 513–528. DOI: 10.2478/amns.2021.2.00204. EDN: IWZWTY.

4. *Jang A., Ju Y.K., Park M.J.* Structural Stability Evaluation of Existing Buildings by Reverse Engineering with 3D Laser Scanner // Remote Sensing. 2022. Vol. 14, No. 10. P. 2325. DOI: 10.3390/rs14102325. EDN: WMLUUV.

5. *Cui H., Ren X., Mao Q., Hu Q., Wang W.* Shield subway tunnel deformation detection based on mobile laser scanning // Automation in Construction. 2019. Vol. 106. P. 102889. DOI: 10.1016/j.autcon.2019.102889.

6. *Hu D., Li Y., Yang X., Liang X., Zhang K., Liang X.* Experiment and Application of NATM Tunnel Deformation Monitoring Based on 3D Laser Scanning // Structural Control and Health Monitoring. 2023. Vol. 2023. P. 3341788. DOI: 10.1155/2023/3341788. EDN: PLNRNE.

7. *Yu J., Lv D., Tian M., Zhang Y., Lin J., Xu F., Shi G.* Automatic extraction of tunnel centerline and cross-sections from 3D point clouds // Engineering Research Express. 2022. Vol. 4, No. 1. P. 015026. DOI: 10.1088/2631-8695/ac5468. EDN: JEKORG.

УДК 69.05.04
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.039

Чумакова Екатерина Алексеевна, магистрант
(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)
E-mail: katychumhptbs@gmail.com, ORCID: 0000-0001-7116-7148
Стрелец Ксения Игоревна, канд. техн. наук, доцент
(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)
E-mail: strelec_ki@spbstu.ru, ORCID: 0000-0002-5975-139X

Chumakova Ekaterina Alekseevna, Master's degree student
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)
Strelets Ksenia Igorevna, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)

МЕТОДИКА АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОГРАНИЧЕНИЯ ПРЕПЯТСТВИЙ ПОСАДОЧНЫХ ПЛОЩАДОК ДЛЯ ВЕРТОЛЕТОВ

METHODOLOGY FOR AUTOMATING THE DESIGN OF OBSTACLE LIMITATION SURFACES FOR HELICOPTER LANDING PADS

В статье предложена методика автоматизации построения поверхностей ограничения препятствий для вертолетных площадок с учетом требований международных стандартов. Для автоматизации был разработан алгоритм построения поверхностей, учитывающий требования Международной организации гражданской авиации. При разработке методики, выведены формулы для определения координат характерных точек поверхностей ограничения препятствий. Сделаны выводы о полезности полученных результатов в связке с ГИС при проектировании объектов авиации в условиях городской застройки. Продемонстрировано применение методики при проектировании вертолетной площадки на существующем здании.

Ключевые слова: посадочная площадка, поверхность ограничения препятствий, поверхность взлета, автоматизация проектирования, посадочная площадка на кровле.

The article proposes a methodology for automating the design of obstacle limitation surfaces for helipads, taking into account the requirements of international standards. A surface design algorithm has been developed for automation, considering the requirements of the International Civil Aviation Organization. As part of the development of the methodology, formulas have been derived for the determination of the coordinates of the characteristic points of the surface boundaries. Conclusions are

made regarding the usefulness of the results obtained in conjunction with GIS in the design of aviation facilities in urban areas. The application of the methodology to the design of a helipad on an existing building is demonstrated.

Keywords: landing pad, obstacle limitation surface, takeoff surface, design automation, rooftop landing.

Важным направлением в проектировании объектов строительства в BIM в России является развитие отечественного ПО для адаптации к местным нормативным требованиям, специфике строительства и отсутствия проблем с лицензированием. Цель построения поверхностей ограничения препятствий (далее – ПОП) при проектировании посадочных площадок состоит в определении потенциальных опасностей и эффективном использовании воздушного пространства. Создаваемые ПВП (планы воздушных подходов) идентифицируют объекты, проникающие через поверхности, для обеспечения отсутствия препятствий на траектории полета. При планировании будущей застройки или при реставрации существующей, связь ГИС с автоматизированным построением ПВП позволит целесообразно использовать воздушное пространство и предотвратить ошибки при проектировании.

Университет гражданской авиации Китая исследовал проблему эффективного использования воздушного пространства, предлагая решения по оптимизации ПВП для ПП (посадочных площадок) с несколькими зонами приземления (TLOF), в результате получив модели для проектирования площадок с зонами приземления без слияния, с частичным слиянием и с полным слиянием [1–2].

Без использования точных инструментов анализа ошибки ручного построения ПВП могут привести к негативным последствиям. Используя возможности ГИС, современные исследования предлагают модели, например, GIS Obstruction Model [3], которые способны точно рассчитать параметры ПВП и создать визуализацию возможных препятствий. Предложенная автором Л. А. Мицевич методика оценки препятствий, которая использует разработанную в России фотограмметрическую систему PHOTOMOD, позволяет по смоделированным ПОП и построенному по аэрофотоснимкам рельефу анализировать препятствия в стереомодели и формировать базы данных по препятствиям [4, 5]. Проведенная в исследовании проверка экономической целесообразности применения технологии показала, что фотограмметрическая технология анализа препятствий требует в 20 раз меньше трудовых затрат, чем геодезический способ. Описанные методики применимы для самолетных взлетно-посадочных полос. Однако, если говорить о вертолетах, выполняющих полеты

«по-вертолетному» в условиях городской застройки, форма и размеры поверхностей ограничения препятствий имеют иной вид.

До 2022 года в российской нормативной документации отсутствовали документы, регламентирующие требования к ПП для вертолетов, приподнятым над поверхностью земли. При анализе документации компаний ООО «Хелипойнтс» и АО «ПИиНИИ ВТ Ленаэропроект»[1], выполненной до 2022 года, было выявлено, что проектирование ППП (приподнятых посадочных площадок) выполнялось в соответствии с требованиями Приказа Минтранса РФ от 04.03.2011 № 69 «Об утверждении Федеральных авиационных правил «Требования к посадочным площадкам, расположенным на участке земли или акватории», что не являлось целесообразным ввиду существенных отличий при реализации и эксплуатации ПП на земле и ППП. Введение в 2022 году СП 511.1325800.2022 «Посадочные площадки. Правила проектирования» частично решило проблему. Однако, требования, приведенные в своде правил, были не полными и содержали разночтения. Ввиду чего, в феврале 2024 года была выпущена поправка № 1 к СП 511.1325800.2022, содержащая, что данный свод правил более не распространяется на ППП. При реализации подобных объектов, следует обращаться к требованиям Тома II Вертодромы[2]. Данный нормативный документ выпущен международной организацией гражданской авиации (ICAO), членом которой Российская Федерация является с 1970 года.

В рамках выпускной квалификационной работы В. В. Овчинников автоматизировал построение ПОП на базе платформы nanoCAD. В работе[3] автор получил ПОП, построенные в соответствии с СП 511.1325800.2022. На текущий момент, использование методики автора ограничено Изменением № 1 к СП 511. Ввиду чего исследование требует доработки по требованиям ICAO.

Целью является разработка методики по автоматизации построения ПОП для ПП с учетом требований международных стандартов. Параметры принимаются согласно требованиям ICAO. Категории градиентов

[1] ООО «Хелипойнтс» и АО «ПИиНИИ ВТ Ленаэропроект» – компании, специализирующиеся на проектировании и строительстве аэродромов и объектов авиационной инфраструктуры.

[2] ICAO, International Civil Aviation Organization, Annex 14 to the Convention on International Civil Aviation – Aerodromes, Volume II, Heliports, 6th Ed., Montreal, 2020.

[3] *Овчинников В.В.* Здание бизнес-центра с посадочной площадкой для вертолетов на кровле: выпускная квалификационная работа специалиста: 08.05.01. СПб. : СПбПУ, 2024. DOI: 10.18720/SPBPU/3/2024/vr/vr24-1634

наклона определяются в зависимости от класса ЛТХ (летно-технические характеристики) вертолета. Категория наклона А принимается для вертолетов с ЛТХ класса 1, категория В – для класса 3, а категория С – для класса 2. На основании этого была разработана блок-схема для определения параметров ПОП (рис. 1). Для создания автоматизированного процесса построения используется система отсчета, в которой за начальную точку принимается центр ПП с координатами X_0, Y_0, Z_0. Пусть k – коэффициент, выражающий обратный тангенс угла расхождения поверхности, определяемый по формуле

$$k = \frac{1}{tg\alpha} = \frac{100\%}{\alpha_{\%}}, \tag{1}$$

где $\alpha_{\%}$ – процентное выражение отклонения первого сектора поверхности согласно блок-схеме, %; $tg\alpha$ – тангенс угла расхождения первого сектора поверхности.

Тангенсы углов наклона β и φ выражаются аналогично $tg\alpha$, при этом $\beta_{\%}$, $\varphi_{\%}$ – процентные выражения углов наклона согласно блок-схеме. Таким образом, например, при классе 1 летно-технических характеристик вертолета для точки на поверхности взлета и захода на посадку, образуемой линией расхождения поверхности и линией продолжения поверхности, координаты X, Y, Z определяются по формулам:

$$X = X_0 + \frac{L + k \cdot (nd - W)}{2}, \tag{2}$$

$$Y = Y_0 + \frac{nd}{2}, \tag{3}$$

$$Z = Z_0 + tg\beta \cdot (\mathrm{X}_0 + \frac{k \cdot (nd - W)}{2}), \tag{4}$$

где L – ширина зоны безопасности по оси X, м; W – ширина зоны безопасности по оси Y, м; n – коэффициент условий полета (дневные или ночные), который может принимать значения 7 или 10; d – диаметр несущего винта вертолета, м; β – угол наклона первого сектора поверхности, град.

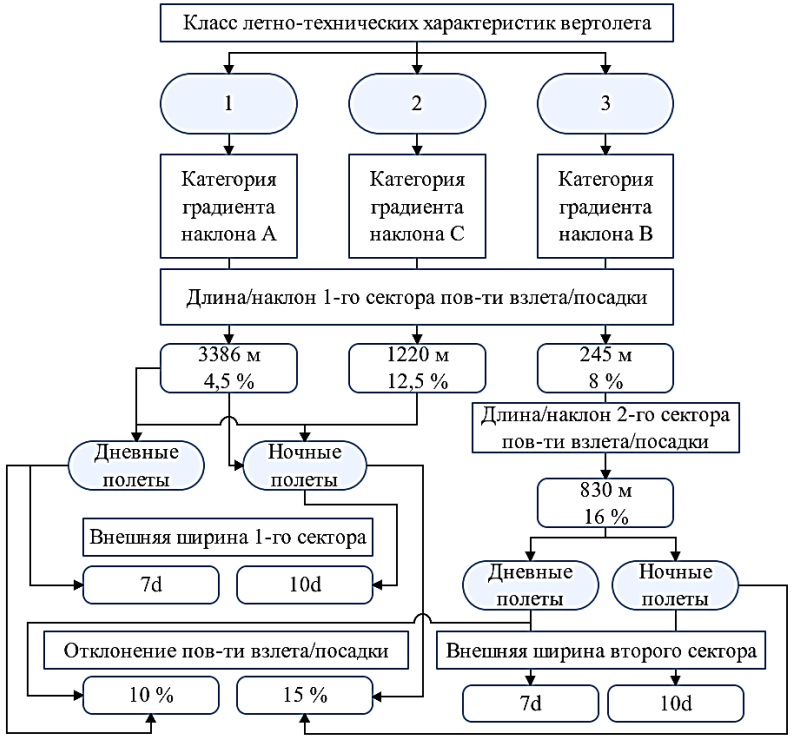


Рис. 1. Блок-схема для определения параметров поверхности взлета и захода на посадку

В случае использования воздушного судна с классом 3 летно-технических характеристик, поверхность взлета/посадки имеет два сектора с разными углами наклона, тогда координата Z точки преломления уклона поверхности и крайней точки поверхностей определяется по формулам:

$$Z = Z_0 + S_1 \cdot tg\beta, \tag{5}$$

$$Z = Z_0 + S_1 \cdot tg\beta + S_2 \cdot tg\varphi, \tag{6}$$

где S_1 – длина первого сектора поверхности, м; S_2 – длина второго сектора поверхности, м; φ – угол наклона второго сектора поверхности, град.

Результат определения координат всех характерных точек поверхностей представлен на схемах (рис. 2, 3).

В результате была разработана методика автоматизации построения поверхностей ограничения препятствий для ПП с учетом требований ICAO.

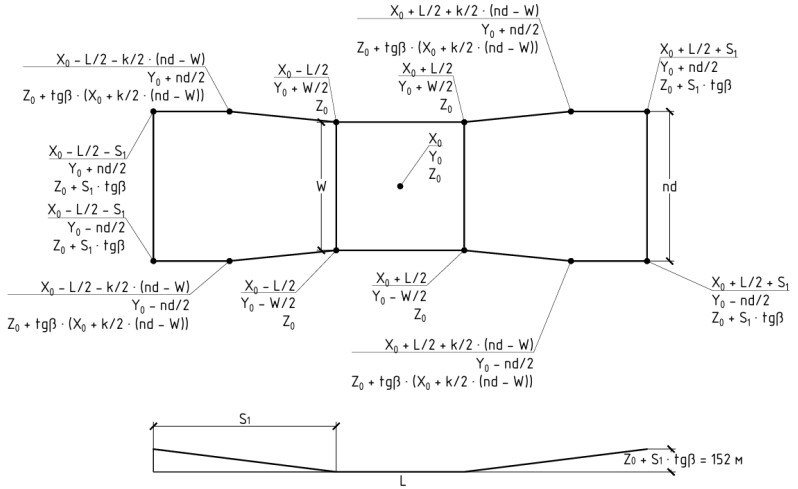


Рис. 2. Результат определения координат точек поверхности для классов 1 и 2

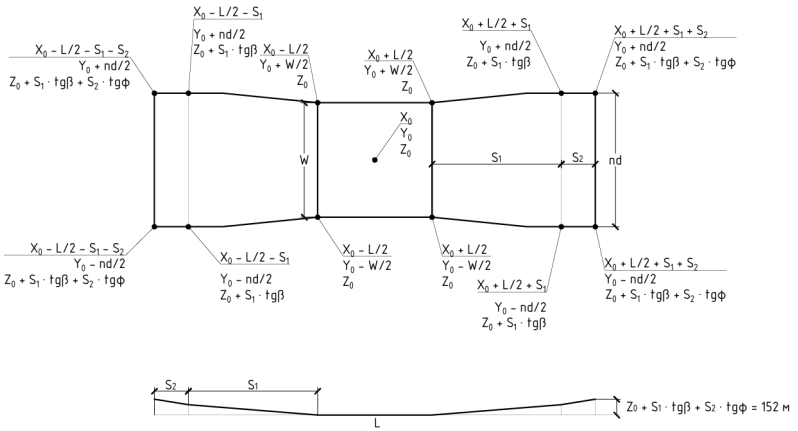
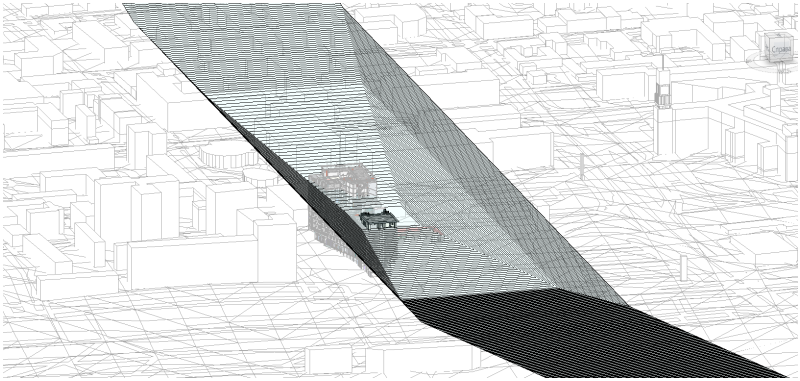


Рис. 3. Результат определения координат точек поверхности для класса 3

Полученная методика оптимизирует построение ПВП и была применена в связке с ГИС на этапе предпроектного анализа возможных курсов взлета/посадки для проектируемой посадочной площадки на кровле существующего здания в г. Красноярск. Применение ГИС позволило быстро и с высокой точностью определить возможные препятствия при выполнении полетов (рис. 4).

а)



б)

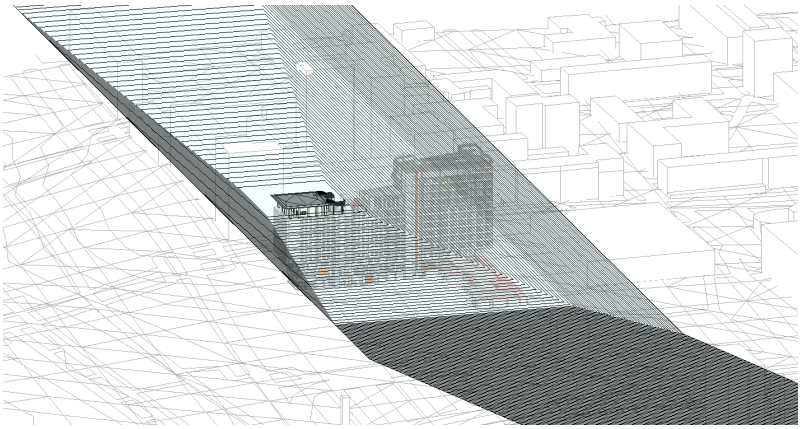


Рис. 4. Анализ предпочтительного курса взлета по направлению:
а – север-юг; *б* – запад-восток

При решении задачи были выведены формулы по определению координат характерных точек ПОП для вертолетов с различными ЛТХ. Предложенная методика, учитывающая требования ICAO, может значительно ускорить процесс проектирования объектов авиации в условиях городской застройки, особенно при использовании совместно с ГИС. Применение методики сократило трудозатраты на анализ предпочтительного курса взлета в пять раз, а также снизило вероятность ошибок по сравнению с ручным методом, включающим человеческий фактор в большей мере.

Литература

1. *Lei Y., Qin R., Li Q., Chen D.* TLOF final approach methodology proposal utilizing dual landing pads // IET Intelligent Transport Systems. 2023. Vol. 17, No. 10. P. 2052–2062. DOI: 10.1049/itr2.12395. EDN: KNOLBQ.

2. *Cho J., Yoon Y.* How to assess the capacity of urban airspace: A topological approach using keep-in and keep-out geofence // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. 2018. Vol. 92. P. 137–149. DOI: 10.1016/j.trc.2018.05.001.

3. *Chang S.-W.* A GIS Model for Analyzing Airspace Obstructions and Safety near Airports // Journal of Civil Engineering and Architecture. 2016. Vol. 10, No. 5. P. 35–47. DOI: 10.17265/1934-7359/2016.05.004.

4. *Мицевич Л.А.* Разработка технологии создания цифровой модели препятствий для аэродромов и приаэродромных территорий по данным аэрокосмических съемок : дис. канд. тех. наук: 25.00.34. М. : МИИГАиК, 2022. 184 с. EDN: JGMCCT.

5. *Mitsevich L., Zhukovskaya N.* 3D modeling and GIS analysis for aerodrome forest obstacle monitoring // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences – ISPRS Archives. 2021. Vol. 43. P. 753–757. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLIII-B2-2021-753-2021. EDN: HKYSBX.

УДК 624.072.221
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.040

Яковлев Прохор Сергеевич, магистрант
(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)
E-mail: yakovlev.ps@mail.ru
Астафьева Наталья Серафимовна, канд. экон. наук, доцент
(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)
E-mail: natalia.astafeva@inbox.ru, ORCID: 0000-0003-0386-1781

Yakovlev Prokhor Sergeevich, Master's degree student
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)
Astafieva Natalya Serafimovna, PhD in Sci. Ec., Associate Professor
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)

ПРИМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗОК НА БАЛОЧНЫЕ СИСТЕМЫ

APPLICATION OF PARAMETRIC MODELING TO DETERMINE BEAM LOADS

Балочные системы являются одним из наиболее распространенных типов конструкций зданий и сооружений. По результатам критического анализа существующих методов расчета было выявлено, что нагрузка от плит и покрытия на балочную систему собирается для каждой конфигурации отдельно. Применяя современные цифровые технологии, представляется возможность автоматизации данного процесса, что существенно сокращает время проектирования. Использование среды визуального программирования позволяет в реальном времени производить корректировки в геометрии и данных. В статье предлагается методика определения нагрузок на балочные системы с применением инструментов параметрического моделирования. Данный подход базируется на определении точных форм и значений грузовых площадей при их разбиении по диаграмме Вороного. Разработанный алгоритм в среде визуального программирования показывает свою эффективность при сложных геометрических формах балочной системы, а также при неравномерной прикладываемой нагрузке.

Ключевые слова: параметрическое моделирования, грузовые площади, диаграмма Вороного, балочные системы, Grasshopper.

Beam systems are one of the most common types of structures for buildings and structures. Based on the results of a critical analysis of the existing calculation methods, it was revealed that the load from the plates and the coating on the beam system is collected separately for each configuration. By applying modern digital technologies, it is possible to automate this process, which significantly reduces the design time. Using

visual programming environment allows you to adjust geometry and data in real time. The article proposes a method for determining the loads on beam systems using parametric modeling tools. This approach is based on determining the exact shapes and values of tributary areas when they are divided according to the Voronoi diagram. The developed algorithm in the visual programming environment shows its effectiveness with complex geometric shapes of the beam system, as well as with uneven applied load.

Keywords: parametric design, tributary areas, Voronoi diagram, beams, Grasshopper.

Балочные системы повсеместно используются в строительстве благодаря их способности эффективно распределять нагрузки, обеспечивая надежность конструкций. Однако с увеличением сложности проектов использование традиционных подходов к анализу и расчету элементов становится не всегда применимым [1]. Возникает необходимость внедрения передовых методик, способных учитывать нестандартные геометрические формы сооружений. В основе таких методик может использоваться параметрическое моделирование на основе алгоритмов в среде визуального программирования. Такой подход позволяет избежать неточностей и потери информации, а также крайне эффективен при возрастании количества повторяющихся элементов [2].

В строительной литературе классический расчет балочной системы начинается со сбора нагрузки, то есть процедуры приведения поверхностной нагрузки к линейному или сосредоточенному виду. При таком подходе формируется две задачи: определение последовательности передачи нагрузки от одного элемента к другому и вычисление значения нагрузки на элемент. Иерархическая структура передачи нагрузки для плитно-балочных сооружений, зачастую совпадает с последовательностью этапов монтажа элементов сооружения.

Переход от площадной нагрузки к линейной связан с нахождением грузовой площади. Однако в строительной литературе[1] нет четких инструкций по ее определению. Под грузовой площадью обычно понимают участок поверхности, с которого нагрузка передается на конструктивный элемент.

Таким образом, величина распределенной нагрузки зависит от интенсивности поверхностной нагрузки и габаритов грузовой площади. Для определения этой площади принимается, что вся нагрузка распределяется пропорционально между несущими элементами одного уровня иерархии.

Линия, делящая поверхность на грузовые площади, называется линией раздела нагрузки. В случае параллельности балок раздел нагрузки

[1] СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Акт. ред. СНиП 2.01.07-85*.

будет проходить по середине плиты, в противном случае – по биссектрисе угла между ними.

Одним из перспективных подходов к формирования пропорционального разделения площадей является тесселяция поверхности по диаграмме Вороного. Поверхность разбивается относительно заданного набора точек таким образом, что каждая ячейка состоит из всех точек плоскости, находящихся ближе к ней, чем к любой точке. В статье [3] рассматривается использование тесселяции Вороного для определения рациональных размеров ячеек в структуре материала. В работе [4] авторы предлагают аналогичный алгоритм использования тесселяции с помощью параметрического моделирования для пористых пространственных элементов. В статьях [4, 5] по диаграмме Вороного определяется положение несущих конструкций, в том числе балочных систем, для зданий различных геометрических форм.

В статье рассматривается алгоритм автоматизации сбора нагрузки с плит и покрытий на балочную систему с применением параметрического моделирования и разбиением грузовой площади по диаграмме Вороного.

В качестве исходных данных принимается балочная система прямоугольной формы с размером ячейки 6х3 метра с приложенной вертикальной площадной нагрузкой величиной 10 кПа (рис. 1, *а*). Нагрузка распределяется пропорционально между задействованными балками, образуя «конверты» (рис. 1, *б*).

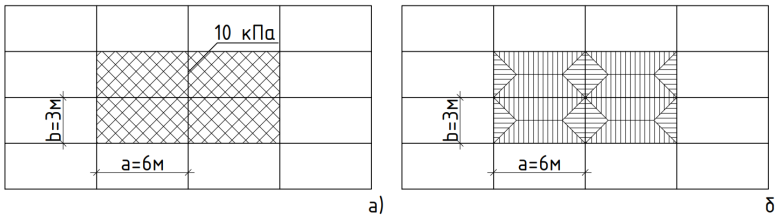


Рис. 1. Исходная схема и распределение нагрузки

Собранная сосредоточенная сила может быть вычислена по формуле

$$P = A \cdot q, \tag{1}$$

где P – сосредоточенная сила, кН; A – грузовая площадь фигуры, м^2; q – приложенная площадная нагрузка, кПа.

Для наиболее загруженной балки площадь будет складываться из двух трапеций по формуле

$$A = 2 \cdot \left(\frac{a+d}{2} \right) \cdot \frac{b}{2} = 2 \cdot \frac{b\left(2a - \frac{b}{4} \cdot \arctan\left(45^\circ\right) \right)}{4}, \quad (2)$$

где a, d – основания трапеции, м; b – сторона ячейки балочной системы, м.

Подставляя данные в формулы 1 и 2:

$$P = 13{,}5 \cdot 10 = 135 \text{ кН}.$$

Полученная сосредоточенная сила является частью площадной нагрузки, распределенной на эту балку с приложением в центральной точке.

Выполненные действия целесообразно преобразовать в алгоритм в среде визуального программирования Grasshopper в несколько этапов:

1. Создание схемы балочной системы с помощью инструментов параметрического моделирования.

2. Разбиение линий схемы для образования точек, по которым выполняется тесселяция Вороного, выбор нужных грузовых площадей (рис. 2).

3. Вычисление сосредоточенных сил по значениям умножения распределенной площадной нагрузки на грузовую площадь.

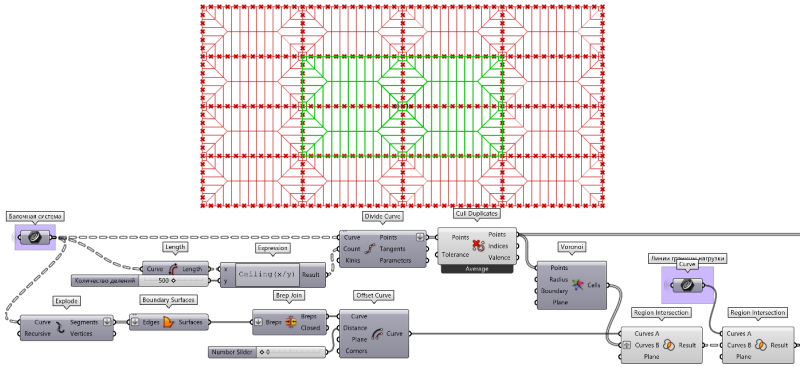


Рис. 2. Применение тесселяции Вороного для определения грузовых площадей

В результате работы разработан алгоритм для автоматизированного получения значений распределения площадной нагрузки на балочную систему (рис. 3). Сложив набор сосредоточенных нагрузок на балку, можно

получить результат ручного расчета, что говорит о достоверности работы алгоритма.

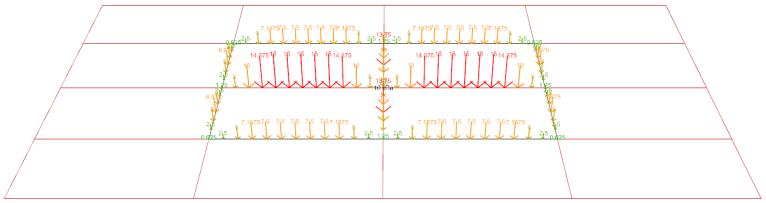


Рис. 3. Результат работы алгоритма

Инструменты параметрического моделирования и визуального программирования позволяют решать широкий спектр инженерных задач, включая расчеты как стандартных, так и уникальных конструкций (рис. 4). Общий вид алгоритма представлен на рис. 5.

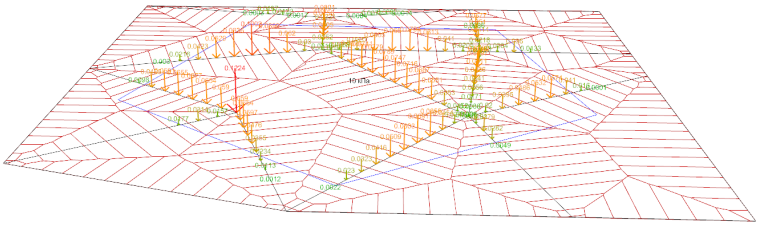


Рис. 4. Применение алгоритма для сложной геометрии

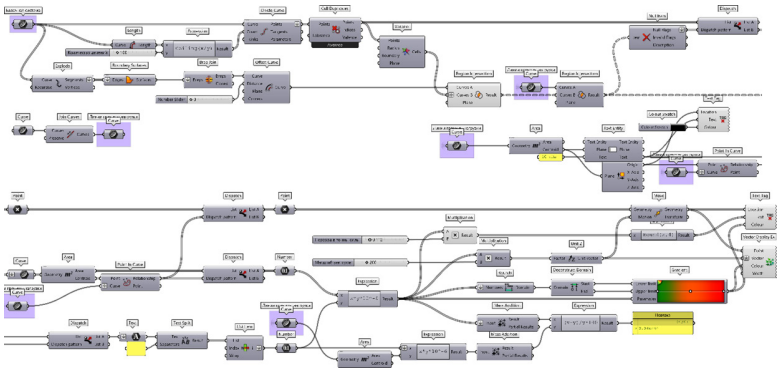


Рис. 5. Общий вид алгоритма

По результатам проведенного исследования можно сделать выводы:

1) Результат работы алгоритма для ортогональных балочных систем совпадает с ручным расчетом.

2) Для сложных балочных систем различие между площадной и суммарной нагрузкой варьируется в пределах 5 %, что связано с количеством делений отрезка для тесселяции Вороного и погрешности вычислений.

3) Применение визуального программирования при сборе нагрузок на балочные системы показывает наибольшую эффективность при наличии нагрузок сложной формы и нестандартных расчетных схем, где вычисление происходит в режиме реального времени, что в свою очередь существенно сокращает время проектирования.

Литература

1. *Гоголкина О.В.* Особенности формирования конструкций в параметрической архитектуре // Архитектура и современные информационные технологии. 2018. № 1(42). С. 355–363. EDN: YONSVZ.

2. *Бузало Н.А., Царитова Н.Г., Платонова И.Д., Лысенко В.Н.* Параметрическое моделирование конструкций в среде визуального программирования // Вестник Евразийской науки. 2021. Т. 13, № 4. С. 2. EDN: PSJZHP.

3. *D'Addetta G.A., Kun F., Ramm E.* On the application of a discrete model to the fracture process of cohesive granular materials // Archive for History of Exact Sciences. 2002. Vol. 4, No. 2. P. 77–90. DOI: 10.1007/s10035-002-0103-9. EDN: BDURCL.

4. *Lei H.Yu., Li J.R., Xu Zh.J., Wang Q.H.* Parametric design of Voronoi-based lattice porous structures // Materials & Design. 2020. Vol. 191. P. 108607. DOI: 10.1016/j.matdes.2020.108607. EDN: SDTSCU.

5. *Sehat S., Khatami A.* Parametric study on application of Voronoi patterns in design of 2-D beams // Advances in Structural Engineering. 2021. Vol. 24, No. 11. P. 2375–2389. DOI: 10.1177/1369433221999740. EDN: XKYPMU.

ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ, ВЛАДЕЮЩИХ ТИМ (BIM)

УДК 004.94+69
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.041

Баженова Елизавета Александровна, инженер 1-й категории
(ООО «РЛ Проект»)
E-mail: hrukotamm@gmail.com
Самодурова Юлия Павловна, ТИМ-менеджер
(ООО «РЛ Проект»)
E-mail: samodurova.01@bk.ru
Воронцова Наталья Сергеевна, канд. техн. наук, доцент
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: vorontsova.ns@gmail.com, ORCID: 0000-0003-0081-4680

Bazhenova Elizaveta Aleksandrovna, engineer 1st category
(LLC “RL Project”)
Samodurova Julia Pavlovna, BIM-manager
(LLC “RL Project”)
Vorontsova Natalia Sergeevna, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СПЕЦИАЛИСТОВ ПРОЕКТНЫХ ГРУПП В СРЕДЕ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

INTERACTION FEATURES OF PROJECT TEAM SPECIALISTS IN THE INFORMATION MADELING ENVIRONMENT

Совместная работа с применением технологий информационного моделирования (ТИМ) играет ключевую роль в современном проектировании. В данной статье рассматривается опыт реализации комплексного ТИМ-диплома в Санкт-Петербургском государственном архитектурно-строительном университете (СПбГАСУ) в 2023 году. Работа над проектом включала в себя создание, увязку и уточнение цифровой информационной модели (ЦИМ), автоматизированное получение на ее основе данных для разработки проектных разделов. Несмотря на преимущества автоматизированного проектирования, высокий уровень итогового результата и приобретение практических навыков, был выявлен ряд недостатков подобного формата работы, а также предложены меры по совершенствованию аналогичных командных проектов.

Ключевые слова: технологии информационного моделирования, информационная модель, среда общих данных, совместная работа, проектирование.

Collaborative work using Building Information Modeling (BIM) technologies plays a key role in modern engineering and construction. This article examines the experience of implementing a comprehensive BIM-based diploma project at Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPbGASU) in 2023. The project involved the creation, coordination, and refinement of a digital information model (DIM), as well as the automated extraction of data for the development of project sections. Despite the advantages of automated modeling, the high quality of the final results, and the acquisition of practical skills, several drawbacks of this workflow were identified. Additionally, measures for improving similar team-based projects were proposed.

Keywords: building information modeling, information model, data environment, collaboration, engineering.

В настоящее время качественная организация совместной работы над проектами имеет решающее значение для слаженного функционирования команды и является одной из ключевых компетенций, которой должны обладать современные проектировщики.

Применение ТИМ, а в частности – организация совместной работы над ЦИМ в программном комплексе для автоматизированного проектирования [1] и создание среды общих данных (СОД), способствует решению следующих задач:

– повышению качества взаимодействия между участниками проекта смежных разделов, а именно – возможностям выдачи заданий и обмена сообщениями внутри СОД, координации моделей и устранению внутренних и междисциплинарных коллизий;

– использованию ЦИМ в качестве основы для формирования расчетных моделей;

– автоматизации формирования точных спецификаций и ведомостей;

– формированию сметной документации на основе ЦИМ.

Формат совместной работы над учебным проектом с использованием ТИМ имеет ряд преимуществ, не связанных с автоматизацией процесса проектирования:

– приобретение практических навыков работы со специалистами смежных разделов;

– установление и налаживание контактов с будущими специалистами;

– развитие навыков планирования и организации;

– получение проекта, соответствующего современным тенденциям в проектировании и способного помочь в последующем трудоустройстве.

Целью статьи является анализ опыта реализации комплексного ТИМ-диплома, выявление его недостатков и разработка предложений по совершенствованию командных проектов. Основными задачами являлись описание этапов работы над цифровой информационной моделью, анализ влияния командного взаимодействия на качество полученного результата, определение основных проблем реализованного формата и путей их решения.

Для подготовки специалистов к подобной командной работе в СПбГАСУ с 2022 года реализуются защиты выпускных квалификационных работ в формате комплексных ТИМ-проектов. В настоящей работе представлен опыт реализации комплексного ТИМ-диплома в 2023 году.

Командой из 14 студентов была разработана цифровая информационная модель (ЦИМ) Криптокомплекса, на основе которой были сформированы пояснительная записка и графическая часть выпускных квалификационных работ. В разработке принимали участие архитектор, 4 конструктора, геотехник, ТИМ-координатор, 6 проектировщиков инженерных сетей и сметчик.

Проектируемое здание расположено по адресу г. Салехард, улица Чупрова, 2А. Архитектурные решения разработаны архитектором Полиной Рахимовой с учетом особенностей активно развивающегося северного региона Российской Федерации.

Работу над комплексным ТИМ-дипломом можно разделить на три основных этапа: подготовительный, основной и заключительный.

На **подготовительном этапе** ТИМ-координатором была настроена среда общих данных Pilot-BIM для выполнения требований к обмену информацией[1], разработана инструкция по принципу работы в ней для исполнителей проекта, а также подготовлены шаблоны проектных дисциплин в используемом ПО с настройкой общих координат.

Архитектором были предоставлены все требуемые исходные данные для смежных разделов, такие как район строительства, первоначальные планировки, состав конструкций перекрытий, покрытий и перегородок и т. д., а также предварительная ЦИМ архитектурного облика здания. Общий вид здания представлен на рис. 1.

[1] СП 404.1325800.2018. Информационное моделирование в строительстве. Правила разработки планов проектов, реализуемых с применением технологии информационного моделирования. 28 с.

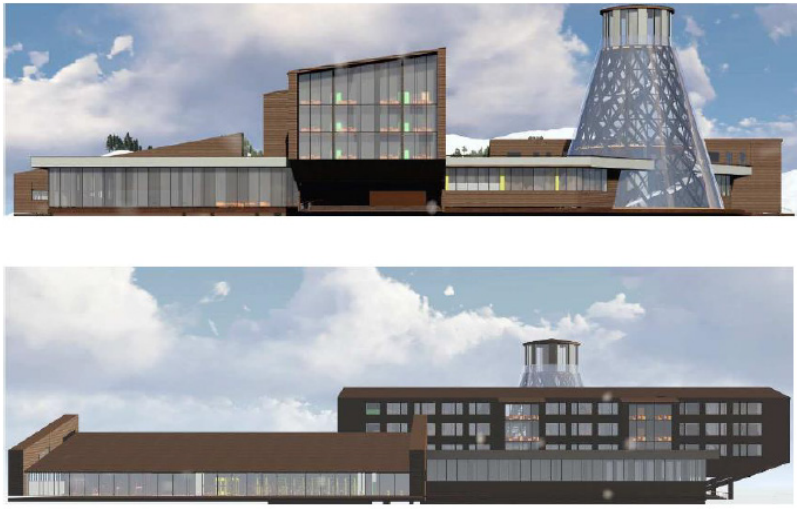


Рис. 1. Общий вид Криптокомплекса

Полученные материалы были проанализированы, а объем здания разделен конструкторами на деформационные блоки совместно с архитектором (рис. 2).

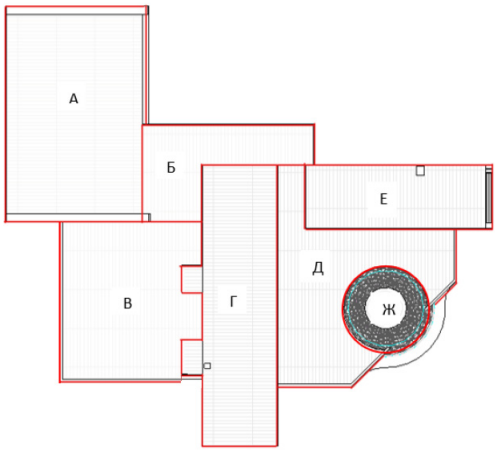


Рис. 2. Схема расположения блоков проектируемого здания

Основными задачами конструкторской группы на подготовительном этапе являлись корректный подбор несущих элементов, определение их начальных геометрических размеров и материалов, расположение и привязка конструкций в плане. Совместно с проектировщиками инженерных сетей, архитектором и инженером-геотехником увязана высота подвала. Первоначальная ЦИМ раздела конструктивных решений (КР) использовалась для создания расчетной модели путем интеграции ЦИМ в САПФИР-3D, а затем в ЛИРА-САПР [2–4] и выполнения предварительных расчетов в соответствии с действующими нормативными документами[1,2,3], после чего были внесены корректировки в конструктивную схему здания. Полученные решения были переданы смежным разделам для дальнейшего анализа.

Проектировщикам инженерных сетей необходимо было проанализировать исходные данные, подготовить и выгрузить задания (расположение и габариты отверстий, расположение и характеристики тяжелого оборудования и т. д.) смежным разделам в СОД для учета в работе.

Во время **основного этапа** главной задачей всех участников являлась непосредственная разработка ЦИМ по отведенному разделу. Полученные данные позволили сформировать ведомости объемов материалов для разработки сметного раздела и календарного графика строительства.

В процессе всей работы в среде информационного моделирования было настроено постоянное взаимодействие молодых специалистов для оперативного принятия общих решений и отработки коллизий для получения готовых моделей[4] [5]. Схема междисциплинарного взаимодействия приведена на рис. 3.

[1] СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения.

[2] СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия.

[3] СП 430.1325800.2018. Монолитные конструктивные системы. Правила проектирования.

[4] СП 333.1325800.2020. Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла.

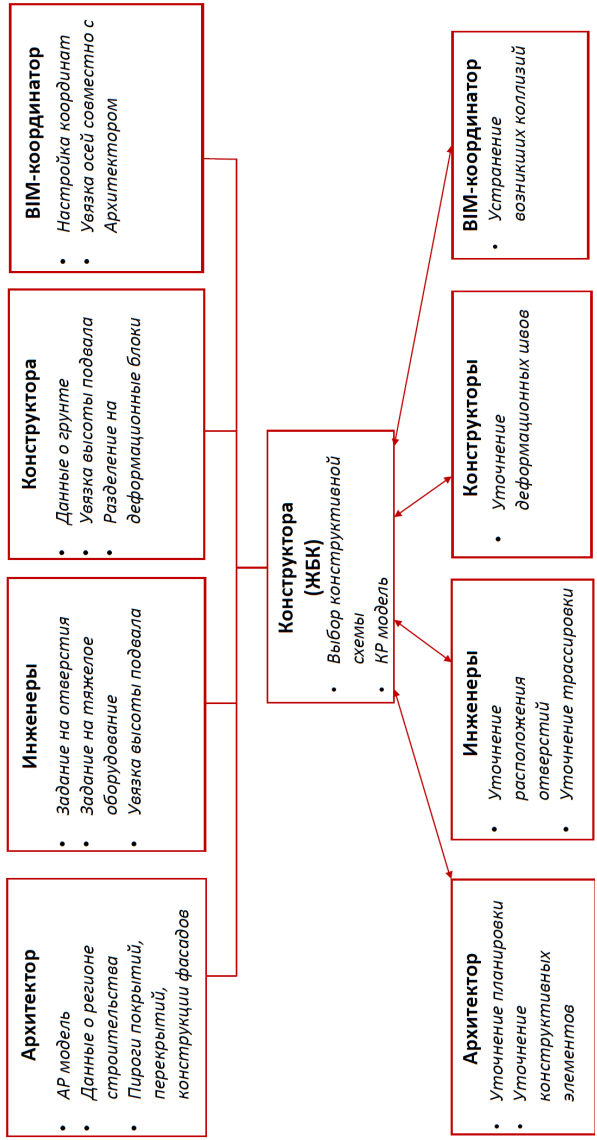


Рис. 3. Схема междисциплинарного взаимодействия участников проекта

На **заключительном этапе** требовалось проанализировать полученные ЦИМ и создать полный объем документации, требуемый для дипломного проекта каждого из исполнителей.

Выпускные квалификационные работы по разработке основных несущих конструкций корпусов Б, В и Г заняли вторые места в конкурсе НОПРИЗ в номинации «Лучший проект общественных зданий и сооружений, включая объекты спорта и здравоохранения».

Специфика подобных комплексных ТИМ-дипломов несет в себе большое количество очевидных преимуществ. Однако в связи с тем, что данный проект являлся «пилотным», существовал ряд недочетов в организации работы. Для возможности осуществления подобных программ в полной мере, а также для обеспечения студентов максимально прикладным опытом работы следует рассмотреть введение следующих усовершенствований:

1. Увеличение временных рамок выполнения комплексных дипломов с введением выделенных учебных часов для подготовки проекта, так как из-за различного расписания студентов возникали сложности с организацией встреч.

2. Введение перечня допущений в рамках реализации учебного проекта, так как разработка полного комплекта документации в соответствии со всеми строительными нормами РФ не может быть осуществлена ресурсами образовательных учреждений в рамках ограниченного времени выполнения дипломного проекта.

3. Взаимоувязка контрольных точек между разделами с проверкой выполненного объема работ.

4. Введение в учебный план лекций о взаимодействии со смежными разделами для формирования у студентов навыков совместной работы [6, 7].

5. Предварительная подготовка и согласование единого ПО, в особенности его версии, при создании ЦИМ во избежание задержек при обмене данными.

Благодарности

Работа выполнена в рамках реализации Инновационного образовательного проекта «Инновационная методика формирования цифровых профессиональных компетенций обучающихся и специалистов строительной отрасли» на базе Федеральной инновационной площадки ФГБОУ ВО СПбГАСУ.

Литература

1. *Курило Е.Ю., Нижегородцев Д.В.* Технологии информационного моделирования при проектировании гидротехнических сооружений // Вестник гражданских инженеров. 2020. № 4(81). С. 54–57. DOI: 10.23968/1999-5571-2020-17-4-54-57. EDN: CQDJGZ.

2. *Туковская А.М., Токарева В.Е.* Использование BIM-технологий для выполнения практических заданий по созданию и расчету строительных конструкций в СПО // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : мат-лы VII Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб. : СПбГАСУ, 2024. С. 283–289. DOI: 10.23968/BIMAC.2024.038. EDN: LXSVIH.

3. *Корелина Т.В., Канду В.В.* Взаимодействие специализированных САПР в информационном моделировании // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : мат-лы IV Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб. : СПбГАСУ, 2021. С. 307–312. DOI: 10.23968/BIMAC.2021.039. EDN: CXQKYO.

4. *Черных А.Г., Нижегородцев Д.В., Кубасевич А.Е., Цыгановкин В.В.* Проектирование и расчет строительных конструкций с применением технологий информационного моделирования // Вестник гражданских инженеров. 2020. № 3(80). С. 72–78. DOI: 10.23968/1999-5571-2020-17-3-72-78. EDN: OQBEFB.

5. *Горовой Н.В., Рудный И.А., Марданов И.А.* Методика междисциплинарного взаимодействия специалистов при разработке информационной модели здания // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : мат-лы V Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб. : СПбГАСУ, 2022. С. 58–63. DOI: 10.23968/BIMAC.2022.007. EDN: WKIEZQ.

6. *Алешин А.А., Рыбакова А.О.* Особенности обучения и внедрения технологий информационного моделирования в высшем образовании // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : мат-лы V Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб. : СПбГАСУ, 2022. С. 205–210. DOI: 10.23968/BIMAC.2022.025. EDN: HXBAZR.

7. *Игнатова Е.В.* Разработка образовательных программ с учетом профессионального стандарта BIM-специалиста // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : мат-лы IV Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб. : СПбГАСУ, 2021. С. 443–449. DOI: 10.23968/BIMAC.2021.055. EDN: OJSMWU.

УДК 004.9+378.147
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.042

Захарова Галина Борисовна, канд. техн. наук, вед. науч. сотр.
(Уральский государственный архитектурно-художественный университет)
E-mail: zgb555@gmail.com, ORCID: 0000-0003-4939-1914

Zakharova Galina Borisovna, PhD in Sci. Tech., leading research worker
(Ural State University of Architecture and Art)

ФОРМИРОВАНИЕ ИТ-КОМПЕТЕНЦИЙ У СТУДЕНТОВ-АРХИТЕКТОРОВ ЧЕРЕЗ УЧАСТИЕ В НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ

DEVELOPING IT COMPETENCE IN ARCHITECT STUDENTS THROUGH PARTICIPATION IN A RESEARCH LABORATORY

Поддержка научно-исследовательской деятельности студентов вузов является важным элементом государственной молодежной политики РФ. Существует тесная связь науки и образования, но в то же время внедрение новых технологий, в частности BIM, в образовательную деятельность вузов происходит достаточно медленно. Одним из путей преодоления этого барьера является развитие современных форм организации студенческих объединений для реализации исследовательских и коммуникативных навыков и профессиональной самореализации. В работе приводятся результаты анализа содержания и форм организации научно-исследовательской деятельности студентов, определены ее основные виды и особенности. Показан положительный опыт работы студенческой научно-исследовательской лаборатории «ИТ в архитектуре», созданной в УрГАХУ для формирования ИТ-компетенций будущих выпускников, что позволит сформировать востребованных специалистов в архитектурно-строительной отрасли.

Ключевые слова: студенческая научно-исследовательская деятельность, новые технологии, BIM, студенческая научно-исследовательская лаборатория, СНИЛ, ИТ-компетенции.

Support for research activities of university students is an important element of the state youth policy of the Russian Federation. There is a close connection between science and education, but at the same time, the introduction of new technologies, in particular BIM, into the educational activities of universities is quite slow. One of the ways to overcome this barrier is the development of modern forms of organizing student associations to form research and communication skills and professional self-realization. The paper presents the results of the analysis of the content and forms of organizing students' research activities, defines its main types and features. The positive experience

of the student research laboratory “IT in Architecture” created at USAHU to form IT competencies of future graduates is shown, which will allow forming sought-after specialists in the architectural and construction industry.

Keywords: student research activities, new technologies, BIM, student research laboratory, IT competencies.

В соответствии с государственной молодежной политикой Российской Федерации[1] «создание условий для развития деятельности советов молодых ученых, студенческих научных обществ и клубов молодых исследователей» относится к приоритетным направлениям. Министерство науки и высшего образования РФ выделяет гранты вузам для поддержки студенческих научных сообществ и рассматривает соответствующие конкурсы[2] как «инвестицию в будущее российской науки и возможность для университета более плотно вовлечь студентов в исследовательскую деятельность» (замглавы Минобрнауки России Д. Секиринский). Подобные меры в сфере высшего образования подчеркивают значимость вовлечения студенческой молодежи в научно-исследовательскую деятельность для повышения качества профессиональной подготовки через развитие творческого мышления, исследовательских компетенций, возможности личностного становления, получения навыков деловой коммуникации, профессиональной самореализации.

Наука и образование находятся в неразрывной взаимосвязи. Как отмечено в статье [1], «образование представляет собой фундамент науки, способствующий постоянному воспроизведению науки как институту, как сообществу ученых; наука задает образованию вектор развития». Знания, особенно в области современных информационных технологий (ИТ), быстро устаревают, а внедрение новых технологий в образовательную деятельность вузов происходит достаточно медленно. Здесь требуется определенная гибкость системы образования, в то время как свойственная ей консервативность (что можно трактовать и как стабильность) не позволяет легко адаптировать образовательные программы к требованиям рынка труда. К примеру, подготовка специалистов в области BIM-технологий по-прежнему не закрывает кадровой потребности в архитектурно-строительной отрасли, и как минимум 10 последних лет эта тема не теряет своей актуальности.

[1] Распоряжение Правительства РФ от 29.11.2014 № 2403-р «Об утверждении Основ государственной молодежной политики Российской Федерации на период до 2025 г.».

[2] IV Конкурс студенческих научных сообществ от Минобрнауки России. 26.02.2025–27.03.2025. URL: https://www.unkniga.ru/anonsy/iv-konkurs-studencheskikh-nauchnykh-soobshchestv-ot-minobrnauki-rossii.html

Целью данной работы является на основе анализа содержания и форм организации научно-исследовательской деятельности студентов определить ее основные виды и особенности и привести положительный опыт работы студенческой научно-исследовательской лаборатории «ИТ в архитектуре» (СНИЛ ИТ) в УрГАХУ.

Статья [2] посвящена уточнению самого понятия научно-исследовательской деятельности студента. Отмечены отличительные черты студенческой науки по сравнению с научно-исследовательской деятельностью в целом: это ее неразрывная связь с учебным процессом, особенностями подготовки высококвалифицированных кадров и потенциал в процессе формирования будущего специалиста. Научно-исследовательская деятельность студента способствует формированию исследовательских умений, таких как формулирование и решение проблем, системный анализ, абстрагирование, формализация и др. Как компонент профессионального становления научно-исследовательская деятельность студента характеризуется тремя элементами. Это обучение студентов навыкам исследовательского труда, собственно научные исследования, проводимые студентами под руководством преподавателя, и что представляется особенно важным – научное общение, коммуникация, в которой происходит обмен информацией, опытом и результатами научно-исследовательской деятельности.

Модель выпускника вуза предполагает подготовку студентов к научно-исследовательской деятельности в двух формах – включенной в учебный процесс и проводимой в учебное время в соответствии с учебными планами и рабочими программами и не включенной, выполняемой студентами во внеучебное время. В первом случае это лекционные курсы по основам научных исследований, различного вида учебные занятия с элементами научных исследований, учебно-исследовательская работа студентов [3]. А ко второй группе относятся различные формы организации научно-исследовательской работы студентов.

Существующие виды студенческих научных сообществ в университетах определены в работе [4]. Они включают в себя такие формы организации как студенческий научно-инновационный центр, научно-исследовательская лаборатория бизнес-инкубатор, научный клуб, кружок, научно-исследовательское общество. В статье приведены определения и особенности каждого вида. В качестве перспективной формы отмечена студенческая научно-исследовательская лаборатория (СНИЛ), в задачи которой входит получение наукоёмких решений актуальных научных проблем.

В соответствии с Программой развития с 2023 до 2032 года в части политики в области научно-исследовательской деятельности и инноваций с целью увеличения доли студентов и аспирантов, вовлеченных в научную деятельность, в Уральском государственном архитектурно-художественном университете имени Н.С. Алферова создаются студенческие научные объединения в форме СНИЛ. За полгода в 2024-2025 учебном году их количество увеличилось с 2 до 6. Лаборатории имеют свои особенности: есть СНИЛ при кафедре, в этом случае удобно проводить мероприятия с учебными группами и вовлекать преподавателей в работу СНИЛ. Другие лаборатории большее внимание уделяют индивидуальной работе со студентами, поддерживая их активность при участии в конкурсах, конференциях и написании научных статей. Такие СНИЛ опираются на опыт и инициативу кураторов.

Особенностью СНИЛ «ИТ в архитектуре» является направленность на профессиональную проектную деятельность, результатом которой являются с одной стороны решения конкретных задач, а с другой – опыт работы в области современных информационных технологий. Каждый проект становится комплексным и служит точкой притяжения для смежных исследований и технологий, которые перерастают в новые направления, привлекая новых студентов из лаборатории. Вокруг крупных проектов формируются научные мини-коллективы, отрабатываются коммуникативные навыки участников, растет ответственность, взаимовыручка и другие необходимые качества для работы в команде.

Примерами комплексных проектов, реализуемых СНИЛ ИТ, являются: 3D-моделирование с последующей 3D-печатью объектов конструктивизма Фабрики-кухни 1920-1930-х годов и разработка проекта Эко-деревня на территории музея-заповедника под отрытым небом в селе Нижняя Синячиха Свердловской области. Оба проекта выполняются по программе Обучение служением. Каждый проект развивается по нескольким направлениям, и в конечном итоге формируются системный подход и многослойное представление объектов проектирования. Аналог подобной комплексной междисциплинарной и многомерной разработки описан в статье [5], где проект выполнен с позиций архитектуры, истории, географии, культуры, идентичности и технологий.

Подобная практико-ориентированная методика на примере обучения студентов BIM-технологиям описана в статье [6]. При работе СНИЛ ИТ также принят во внимание опыт автора в преподавании инновационных технологий магистрантам-архитекторам в рамках курса «Современные информационно-компьютерные технологии» в УрГАХУ [7]. Тематика,

предложенная к изучению, включала такие разделы, как Умный город, BIM и Green BIM технологии, ГИС, искусственный интеллект, AR/VR и др. По результатам анкетирования по окончанию курса выяснилось, что интерес у большинства студентов (33 из 50 опрошенных) вызвало приглашение на занятия практикующих специалистов из инновационных компаний города, творческие задания и др. Подобные методики, повышающие эффективность обучения, применяются при работе со студентами лаборатории.

Научное направление СНИЛ ИТ определяется деятельностью в области новых технологий проектирования и информационного моделирования современных и исторических зданий, методов и технологий сохранения объектов культурного наследия, в том числе, памятников деревянного зодчества. Целью работы лаборатории является формирование у студентов научно-исследовательских, практических, коммуникативных и организационных навыков.

Виды деятельности – обучение, исследования, проекты, проведение мероприятий:

– лекции по применению современных программных и технических средств;

– мастер-классы по новым технологиям от ведущих компаний;

– взаимодействие со специалистами проектных, производственных, строительных компаний города (встречи, экскурсии на объекты и предприятия, обучающие семинары);

– подготовка и публикация результатов научных исследований и научно-практических работ;

– участие в научных конференциях;

– подготовка к участию в конкурсах различного уровня;

– волонтерская работа при проведении конференций, организуемых университетом.

Большое значение в обучающей части придается практической работе с применением следующих технологий:

– BIM, HBIM, LIM моделирование;

– компьютерная визуализация;

– обследования, обмеры, лазерное сканирование объектов наследия;

– разработка баз данных на примере исторических объектов Свердловской области;

– 3D-печать;

– AR/VR технологии;

– нейросети

и другие.

Таким образом, ИТ-компетенции студентов архитектурного вуза формируются в процессе научно-исследовательской деятельности в СНИЛ. Это позволяет сократить разрыв между быстро меняющимися технологиями и отставанием их внедрения в учебный процесс вуза. В работе приведены различные формы организации научно-исследовательской деятельности студентов, определены ее основные виды и особенности. Показан положительный опыт работы студенческой научно-исследовательской лаборатории «ИТ в архитектуре», созданной в УрГАХУ для формирования ИТ-компетенций будущих выпускников, что позволит сформировать востребованных специалистов в архитектурно-строительной отрасли.

Литература

1. *Воробьева И.А., Карлова М.Ю., Фомина Т.П.* Структура и содержание научно-исследовательской деятельности студентов // Международный научно-исследовательский журнал. 2022. № 4(118). С. 46–51. DOI: 10.23670/IRJ.2022.118.4.040. EDN: ASIDZJ.

2. *Голубева И.А.* Научно-исследовательская деятельность студентов: попытка определения // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Социология. Педагогика. Психология. 2022. Т. 8(74), № 2. С. 73–86. EDN: JDWIIQ.

3. *Вакуленко О.В.* Роль научно-исследовательской работы студентов вуза в подготовке будущих специалистов // Вестник Шадринского государственного педагогического университета. 2015. № 2(26). С. 89–94. EDN: ZQQQKB.

4. *Сергеева С.В., Дианова Ю.А.* Современные формы организации деятельности студенческих научных объединений в вузе // Сборники конференций НИЦ Социосфера. 2021. № 10. С. 61–64. EDN: NTUKWP.

5. *Helmy M.* The Role of Architectural Education in Promoting Urban Heritage: Opportunities and Challenges // First Proceedings of Al Azhar's 14th International Conference On: Engineering, Architecture and Technology. 2018. Vol. 2, No. 3. P. 196–208. DOI: 10.21625/archive.v2i3.359.

6. *Krivonogov A., Zakharova G., Kruglikov S., Plotnikov S.* Implementation of BIM-technologies in the educational program of the architectural university // MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 146. P. 01001. DOI: 10.1051/matecconf/201814601001. EDN: XXUADB.

7. *Zakharova G.* Integration of emerging technologies in architectural education // AIP Conference Proceedings. 2022. Vol. 2657. P. 020008. DOI: 10.1063/5.0107192.

УДК 721.011+004.42
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.043

Карманова Марина Михайловна, ст. преподаватель
(Уральский федеральный университет
имени первого президента России Б.Н. Ельцина)
E-mail: m.m.karmanova@urfu.ru
Машкин Олег Владимирович, ст. преподаватель
(Уральский федеральный университет
имени первого президента России Б.Н. Ельцина)
E-mail: o.v.mashkin@urfu.ru, ORCID: 0000-0001-5444-0448
Шестеров Михаил Андреевич, ассистент
(Уральский федеральный университет
имени первого президента России Б.Н. Ельцина)
E-mail: m.a.shesterov@urfu.ru

Karmanova Marina Mikhailovna, senior lecturer
(Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin)
Mashkin Oleg Vladimirovich, senior lecturer
(Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin)
Shesterov Mikhail Andreevich, assistant lecturer
(Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin)

МЕТОДИКА ОБУЧЕНИЯ ИНЖЕНЕРОВ-СТРОИТЕЛЕЙ РАЗРАБОТКЕ СКРИПТОВ ДЛЯ RENGA НА ЯЗЫКЕ PYTHON

A METHOD OF TEACHING CIVIL ENGINEERS TO DEVELOP SCRIPTS FOR RENGA IN PYTHON

Статья содержит описание методики реализации студенческих проектов по разработке программных продуктов – скриптов на Python, расширяющих возможности Renga для получения и обработки данных из цифровой информационной модели. Представлены примеры тем выполненных проектов, описана общая схема решения заданий с использованием API Renga. Данная методика применяется при обучении студентов бакалавров и предоставляет возможность получения специальности по IT-направлению параллельно с обучением по направлению «Строительство». В результате выявлены сложности выполнения проектов и сформулированы предложения по дальнейшему развитию данного направления для реализации в последующие семестры обучения.

Ключевые слова: студенческий проект, проектное обучение, Renga, Python, API, плагин, скрипт, программирование, технологии информационного моделирование (ТИМ), цифровая информационная модель (ЦИМ).

The article describes the methodology for implementing student projects to develop software products – Python scripts that expand Renga's capabilities for receiving and processing data from a digital information model. Examples of completed project topics are presented, and a general scheme for solving tasks using the Renga API is described. This method is used in teaching undergraduate students and provides the opportunity to obtain a specialty in the IT field in parallel with training in the field of "Construction". As a result, the difficulties in implementing projects were identified and proposals were formulated for the further development of this area for implementation in subsequent semesters of study.

Keywords: student project, project-based learning, Renga, Python, API, plugin, script, programming, information modeling technologies (TIM), digital information model (DIM).

Обучение методике создания скриптов самостоятельно или под руководством специалистов – абсолютно разные подходы, которые могут привести к неодинаковым результатам. При самостоятельном изучении направления часто не хватает советов и конкретных примеров, что приводит в тупик, и дальнейший поиск и решения проблемы не всегда приносит ожидаемый результат.

А если следовать указанному плану, и получать при этом своевременную обратную связь и совет от куратора, то процесс разработки будет более продуктивным, даже если результат не идеален, то уже можно более уверенно вносить корректировки и получить качественный продукт.

Есть ли необходимость обучать инженеров-строителей программированию? С одной стороны, программирование – это отдельная область знаний, которая далека от строительной инженерии. Но с другой стороны, изучение основ и развитие навыков программирования открывает новые возможности и позволяет студенту быть более востребованным на современном рынке труда.

Любой продукт, написанный на языке программирования, представляет собой определенную структуру, подчиняющуюся строгим синтаксисам, правилам и алгоритмам.

Но ведь и современные технологии, которые используются в создании цифровых информационных моделей (ЦИМ), тоже основаны на определенных методах и способах. То есть, например, для корректной выгрузки ЦИМ в формат IFC требуется подготовить определенный JSON файл; или формирование спецификаций подразумевает определенный порядок шагов от заполнения свойств элементов проекта до сбора этих данных в табличную форму.

В любом случае обучение специфике работы должно соответствовать плавному пошаговому погружению для достижения планируемого результата.

Изучая основы программирования, студенты больше углубляются в тематику информационного моделирования, то есть знакомятся со структурой IFC, JSON, возможностью автоматизации определенного рода задач, что позволяет ускорить процесс создания ЦИМ.

Учебный план дополнительной образовательной программы «Технологии информационного моделирования и анализ данных в строительстве» содержит 3 модуля:

– модуль 1. «Технология информационного моделирования BIM»;

– модуль 2. «Программирование с использованием языка Python»;

– модуль 3. Практика/стажировка, в рамках которой реализуется проект «Разработка вспомогательного программного продукта».

Изучение модулей 1 и 2 проходят параллельно в одном семестре, а в следующем семестре обучение основано на проектной деятельности [1].

Постоянное развитие возможностей программы Renga привело к тому, что разработка дополнительного функционала в виде скриптов и плагинов востребована и актуальна в настоящее время [2].

Процесс реализации предлагаемых заданий можно назвать исследовательской работой, так как студенты изначально на имеют чётких представлений о том, какие библиотеки и сервисы придётся использовать [3].

При выполнении проекта студенты распределены на команды по 5–6 человек, за каждой командой закреплен куратор и консультант [4].

Куратор выдает задачи на отдельные этапы проекта, советует, направляет процесс работы над проектом, а консультант-программист помогает решать вопросы по написанию скрипта.

Каждой команде предлагается решить конкретную задачу, за организацию и распределение этапов реализации отвечает студент-участник команды, назначенный руководителем. Независимо от задания каждая команда проходит 6 шагов, обязательных для получения оценки за проект (рис. 1).

Реализованные проекты охватывали большой перечень задач, а результаты уже могут служить основой для более сложных плагинов.

Примерные обобщенные темы проектов:

– «Формирование файла маппинга для выгрузки в формат IFC»;

– «Интеграция данных между Excel и Renga»;

– «Интеграция данных между Excel и JSON»;

– «Анализ трудоемкости разработки информационной модели здания»;

– «Экспорт данных из Renga в формат PDF»;

– «Автоматизация атрибутивных проверок»;

– «Автоматизация создания и заполнения свойств»;
– «Проверка на базе эталонного проекта».

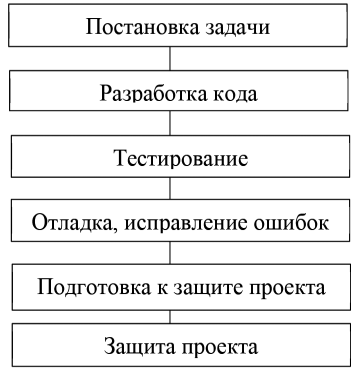


Рис. 1. Этапы реализации проекта

Итоги проекта каждая команда должна представить на рассмотрение комиссии, рассказать о принципе работы написанного скрипта, пояснить предложенный алгоритм решения, а также составить руководство пользователя программы.

Для написания скрипта был выбран язык Python. Это обосновано тем, что данный язык легок в изучении, обладает простым синтаксисом для написания скриптов, и полученных знаний в рамках одного семестра достаточно для реализации проекта [5].

Renga предлагает разработчикам API для расширения функциональности системы или интеграции их программного обеспечения с Renga[1] (рис. 2).

API (от *англ.* application programming interface, дословно интерфейс программирования приложения) – это программный интерфейс, то есть описание способов и методов взаимодействия одной компьютерной программы с другими (рис. 3).

Простые примеры программ можно найти в Интернете, но для реализации проекта этого недостаточно.

[1] Документация API Renga. URL: https://help.rengabim.com/api/

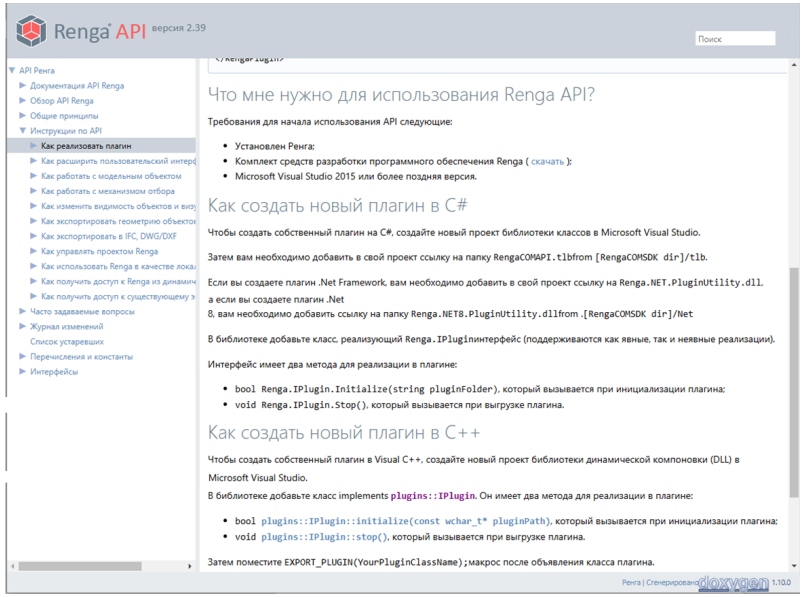


Рис. 2. Справка Renga API

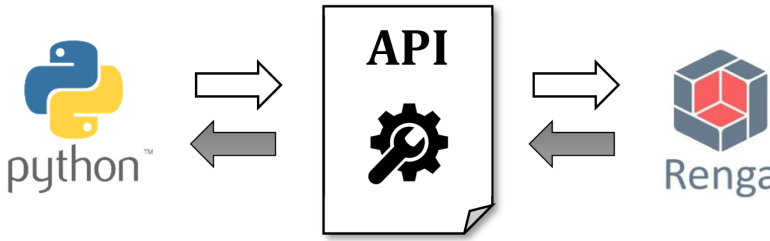


Рис. 3. Схема взаимодействия Python – Renga

Обобщенно схему скрипта можно представить линейно (рис. 4).

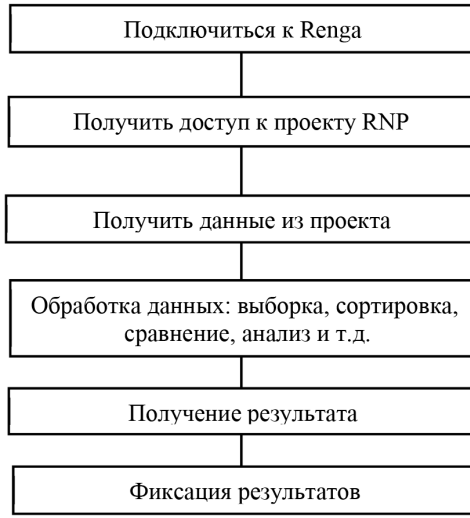


Рис. 4. Алгоритм скрипта в линейном представлении

Под фиксацией результата подразумевается вывод результата на экран и передача итогов работы программы во внешний файл для дальнейшего использования. Например, для записи полученных значений в файл MS Excel используется библиотека openpyxl (рис. 5).

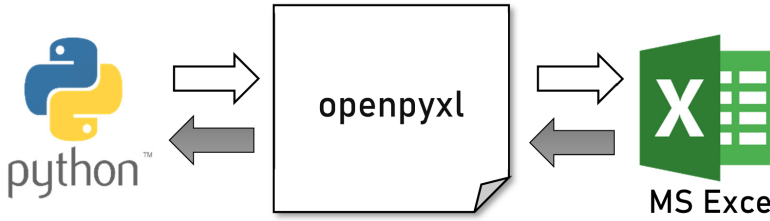


Рис. 5. Схема взаимодействия Python – MS Excel

Для написания программы можно использовать среду PyCharm. На рис. 6 представлен фрагмент скрипта, который собирает данные о помещениях проекта, выводит результаты на экран и записывает в файл Excel (рис. 7).

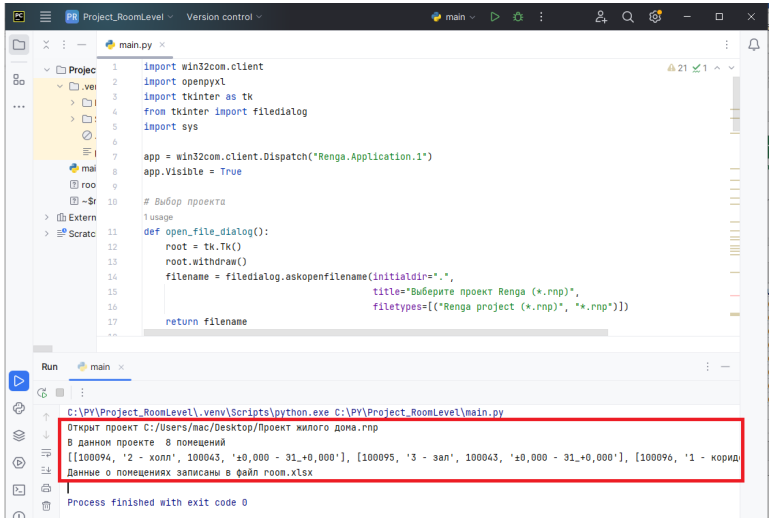
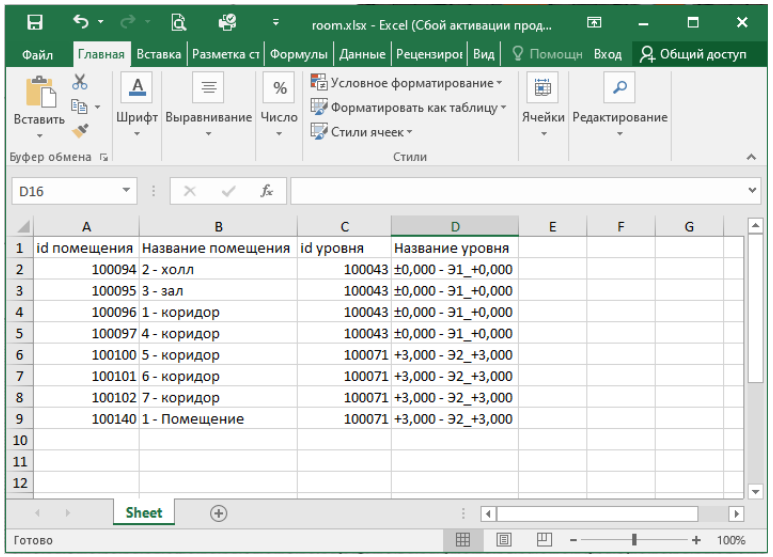


Рис. 6. Фрагмент кода скрипта на Python



	A	B	C	D
1	id помещения	Название помещения	id уровня	Название уровня
2	100094	2 - холл	100043	±0,000 - Э1_+0,000
3	100095	3 - зал	100043	±0,000 - Э1_+0,000
4	100096	1 - коридор	100043	±0,000 - Э1_+0,000
5	100097	4 - коридор	100043	±0,000 - Э1_+0,000
6	100100	5 - коридор	100071	+3,000 - Э2_+3,000
7	100101	6 - коридор	100071	+3,000 - Э2_+3,000
8	100102	7 - коридор	100071	+3,000 - Э2_+3,000
9	100140	1 - Помещение	100071	+3,000 - Э2_+3,000
10				
11				
12				

Рис. 7. Результат работы скрипта сохраняется в Excel

При реализации проектов студенты сталкиваются с разными трудностями:

– не всем легко удается осилить программирование, а тем более разобраться с особенностями взаимодействия разных программ и форматов файлов (Renga, MS Excel, JSON, IFC). Но работа в команде и помощь кураторов и консультантов приводит к положительному результату;

– в интернете есть много статей с описанием примеров похожих программ, но чаще всего они представлены на языках программирования C++, C# или языке сценариев PowerShell.

Для создания простых скриптов достаточно знание языка Python, умения подключать и использовать дополнительные библиотеки.

Для разработки более сложных программ и реализации полноценного плагина, который можно встроить в Renga, конечно, следует углубиться и изучить другие среды разработки и языки программирования, например, C#.

Разработчики API Renga активно развивают возможности взаимодействия с программой, но на данный момент нет методов, с помощью которых можно создавать объекты в проекте с помощью скрипта, поэтому задания проектов пока касаются только сбора и анализа данных из готовых ЦИМ.

С появлением нового функционала планируется и расширение тематик для студенческих проектов данного направления.

Литература

1. *Мытникова Е.А.* Инновационные методы обучения программированию и их роль в подготовке бакалавров программной инженерии // Информационные технологии в образовательном процессе вуза и школы : мат-лы XVII Всеросс. научно-практ. конф. Воронеж : ВГПУ, 2023. С. 300–304. EDN: GXRCPY.

2. *Баранчук М.Ю.* Совершенствование системы информационного моделирования строительства при помощи программных дополнений // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : мат-лы VII Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб. : СПбГАСУ, 2024. С. 297–303. DOI: 10.23968/BIMAC.2024.040. EDN: RVBIVE.

3. *Пирогов В.Ю.* Обучение программированию в высшей школе – проблемы и решения // Мир науки. Педагогика и психология. 2022. Т. 10, № 6. С. 33PDMN622. EDN: GQCRBX.

4. *Машкин О.В., Карманова М.М., Терентьев М.М.* Опыт выполнения командных проектов с использованием BIM-технологий в рамках проектного обучения // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : мат-лы VI Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб. : СПбГАСУ, 2023. С. 249–257. DOI: 10.23968/BIMAC.2023.034. EDN: YDMUOY.

5. *Абрамова И.В., Шилова З.В.* Особенности программирования на языке Python при формировании цифровой компетентности студентов разных направлений подготовки // Научно-методический журнал «Концепт». 2024. № 9. С. 182–196. DOI: 10.24412/2304-120X-2024-11146. EDN: MUEOSK.

УДК 721.021.23
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.044

Ращепкин Артем Алексеевич, канд. техн. наук, доцент
(Сибирский государственный университет путей сообщения)
E-mail: artemrash@ya.ru, ORCID: 0000-0001-8721-0147

Raschepkin Artem Alekseevich, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Siberian State University of Railways)

ТЕХНОЛОГИИ VR В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ И ПРИ РАБОТЕ С BIM-МОДЕЛЯМИ

VR TECHNOLOGIES IN THE EDUCATIONAL AND BIM PROCESS

Работа посвящена проблемам внедрения технологий информационного моделирования (ТИМ) и виртуальной реальности (VR) в образовательный процесс строительных специальностей. Современное образование сталкивается с проблемой «клипового мышления» студентов, что требует пересмотра традиционных методов обучения. Рассмотрены пути решения проблемы на основе когнитивных стилей обучения. Выполнен анализ современных исследований в области клипового мышления, ТИМ и VR. Для рассматриваемой задачи предложен подход, сочетающий интегральный и дифференцированный стили обучения, сочетающий обучение от общего к частному и от частного – к общему. Обозначены пути дальнейших исследований.

Ключевые слова: цифровая информационная модель, ТИМ, VR, IFC, образование, клиповое мышление.

The paper is devoted to the problems of implementing Building Information Modeling (BIM) and Virtual Reality (VR) technologies into the educational process for construction specialties. Modern education faces the challenge of students' "clip thinking", which necessitates a revision of traditional teaching methods. Solutions to this problem are explored based on cognitive learning styles. An analysis of contemporary research in the fields of clip thinking, BIM, and VR has been conducted. For the task at hand, an approach combining integral and differential learning styles is proposed, integrating learning from general to specific and from specific to general. Directions for further research are outlined.

Keywords: digital information model, BIM, VR, IFC, education, clip thinking.

Известны проблемы «клипового мышления» [1] современных студентов, возникающие под влиянием большого объема слабо связной и часто меняющейся информации. Клиповое мышление является

когнитивным стилем восприятия информации, который характеризуется фрагментированным информационным потоком без учета взаимосвязей между процессами и явлениями. Традиционное высшее образование, напротив, предполагает развитие критического мышления, понятийно-логического аппарата, способности находить и выделять существенные признаки, анализировать и делать выводы. Современные студенты в силу формирующегося в социуме клипового мышления оказываются неспособными в полной мере воспринять весь традиционный лекционный контекст в виде логически связанных абстрактных явлений. Актуальность исследования состоит в необходимости замены традиционных методов образования для обеспечения непрерывного и эффективного учебного процесса в современных реалиях формирования у студентов клипового мышления».

Цель исследования – сформулировать задачи для повышения эффективности образования на примере освоения дисциплин по информационному моделированию объектов строительства. Для достижения цели необходимо изучить потенциал внедрения современных технологий в образовательный процесс, сформулировать проблемы такого внедрения и пути их преодоления. Объектом исследования является образовательный процесс для строительных специальностей, ориентированных на освоение технологий информационного моделирования (ТИМ). Предметом исследования являются методы и инструменты интеграции современных технологий в обучения.

Для успешного освоения материала в условиях клипового мышления специалисты рекомендуют насыщать лекционный материал специальными фильмами и видеоклипами с иллюстративными примерами [1]. Однако только просмотр фильмов не означает погружение студента в контекст лекции и лишь поощряет клиповость мышления. Авторы [2] обозначают достоинства клипового или «концептуального» мышления, говоря о том, что функции анализа и синтеза у обучающихся не исчезают, а переключаются на новый уровень обобщения информации. Концептуальный тип мышления в сравнении с традиционной логикой обнаруживает между понятиями новые и неочевидные связи. Отметим, что для современного студента просто необходим большой объем информации.

Рассмотрим положительные факторы клипового мышления [1, 2]: защищенность субъекта от ненужной информации, быстрый «фильтр» информации, мотивация на потребление большого объема данных за минимальное время, способность быстро переключаться между темами и др. Обратим внимание на возможность изначальной предустановки «фильтра» и на мотивацию к потреблению.

В работе [1] отмечено два вида когнитивного стиля учащихся – интегральный (лучшие результаты усвоения материала достигаются при методике обучения от общего к частному) и дифференцированный (лучшее усвоение от конкретного к общему). Предлагаемое нами решение состоит в связке «общее» (фильтр) – «частное» (поглощение большого объема данных, фильтрация) – «общее» (результат обучения)», где ответственность за установку фильтра и за фиксацию результата обучения лежит на преподавателе, а изучение всего материала – на обучающемся. Таким образом, при преобладании у обучающегося преимущественно интегрального стиля обучения он естественно сосредоточится на начальной связке «общее» – «частное», а при преобладании дифференцированного стиля – на конечной связке «частное» – «общее».

Очевидно, что современные тенденции, связанные с клиповым мышлением, требуют принципиально новых подходов и технологий в организации учебного процесса. Под современными технологиями обучения подразумеваются геймификация, коллаборативная работа в облаке, технологии больших данных и ИИ, 3D-печати, робототехника и создание цифровых двойников и, конечно, VR/AR. При изучении ТИМ предлагается коллаборативное самообразование, где студенты активно вовлекаются в процесс создания и анализа BIM-моделей с использованием VR. Преимущества применения VR для визуализации BIM-моделей и процессов описаны многими авторами [3–8]. В работе [3] приведен сравнительный анализ наиболее сред для разработки в VR – это Unreal Engine и Unity, показаны преимущества Unity, а также указан оригинальный способ оптимизации рендеринга. Однако разработанный авторами ПАК ориентирован только на использование с ПО Renga и Revit. Этих недостатков лишены среды, работающие с IFC-моделями, например [4], однако авторы рассматривают статические модели и не рассматривают визуализацию технологических процессов, а именно она является наиболее достоверным и ярким источником информации для понимания ТИМ. В [5–8] показаны достоинства применения BIM в том числе при организации строительных процессов.

Работа с применением ТИМ требует командного взаимодействия различных участников – от постановки задачи (фильтра) до реализации. Такая работа развивает навыки коммуникации и ответственности, позволяет разбить учебный материал на множество визуальных фрагментов, которые легко воспринимаются студентами с клиповым мышлением (частное), а результатом работы становится общая логическая модель. Создание собственных BIM-моделей и их визуализация воспринимаются как увлекательный процесс, увеличивает мотивацию к изучению

материала. О пользе применения 3D-технологий в образовании также говорится в [5, 9].

Приведем пример использования VR и BIM в учебном процессе. Преподаватель формулирует задачу: создать технологический процесс строительства моста и визуализировать его в VR. Студенты разбиваются на группы, каждая из которых отвечает за определенную сторону проекта: создание моделей, объединение моделей на сцене, описание процессов перемещения и появления моделей и т.д. Далее осуществляется визуализация процесса в VR-среде, студенты погружаются в создаваемый технологический процесс, изучают его «изнутри», делают критические замечания и дорабатывают. Итогом проекта становится его презентация и защита.

Однако для реализации описанного сценария образовательная среда должна обеспечить студенту не только средства для создания BIM-моделей, которые как правило, имеются в российских ВУЗах (Revit, Renga, NanoCad, ModelStudio и т.д.), но и обеспечить совместное облачное взаимодействие. Необходимо программное обеспечение, позволяющее загрузить BIM-модели прежде всего в открытом формате IFC, сделать замечания к модели, указать правила появления или перемещения объектов, загрузить модели в VR, осуществить поддержку версионности загружаемых моделей. Одним из эффективных средств является IFC-Сканер, полностью обеспечивающий данные процессы. Дальнейшим развитием IFC-Сканер должна стать возможность описания технологических процессов визуальными средствами с целью последующего их отображения, в том числе в VR. Такое описание позволит обучающимся освоить технологию как производства, так и информационного моделирования.

В результате проведенной работы сделан анализ современных проблем в образовании и пути их решения. К недостаткам указанного подхода можно отнести риск шаблонного мышления, вероятную перегруженность создаваемых библиотек устаревшими и некачественными моделями. Данные риски можно устранить путем регулярной системы рецензирования со стороны преподавателя.

Литература

1. *Колобаев В.К., Синицина Т.А.* Клиповое мышление – новый этап в развитии мышления современных учащихся // Наукосфера. 2022. № 2-1. С. 57–62. DOI: 10.5281/zenodo.5968836. EDN: GYEQDU.

2. *Пендикова И.Г.* Клиповое и концептуальное мышление как разные уровни процесса мышления // Омский научный вестник. Серия Общество. История. Современность. 2016. № 1. С. 53–56. EDN: XXIDDT.

3. *Згода Ю.Н., Шумилов К.А.* Автоматизированное построение интерактивной визуализации BIM-моделей с отображением метаданных // Архитектон: Известия вузов. 2019. № 4(68). С. 16. EDN: NZMGEC.

4. *Черников А.С., Ращепкин А.А.* BIM-менеджмент информационных моделей средствами виртуальной реальности VR // Интеллектуальный потенциал Сибири. 32-я рег. научн. студ. конф. В 5 ч. Ч. 3. Новосибирск: НГТУ, 2024. С. 335–338. EDN: DYEPZZ.

5. *Беляков В.А., Хламов М.А.* Совместное использование BIM- и VR-технологий в проектировании зданий и сооружений // Информационное моделирование в задачах строительства и архитектуры : мат-лы VII Междунар. научно--практ. конф. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб. : СПбГАСУ, 2024. С. 168–173. DOI: 10.23968/BIMAC.2024.023. EDN: WGYCYG.

6. *Давыдкин П.П.* Анализ внедрения технологий виртуальной и дополненной реальности в строительной отрасли // Недвижимость: экономика, управление. 2020. № 3. С. 84–88. DOI: 10.22227/2073-8412.2020.3.84-88. EDN: LCPTYW.

7. *Козленко Т.А., Придвижкин С.В.* Интеграция технологий BIM и VR // Уральские ТИМ чтения. Технологии информационного моделирования зданий и территорий. Екатеринбург : ООО «Типография Аграф», 2020. С. 12–14. EDN: BHHBYJ.

8. *Снитко Д.Н.* Связка BIM и VR: перспективы применения // Новые технологии в учебном процессе и производстве : мат-лы XXI Междунар. научно-техн. конф., посвященной 35-летию полета орбитального корабля-ракетоплана многоразовой транспортной космической системы «Буран». Под ред. А.Н. Паршина. Рязань, 2023. С. 492–494. EDN: UIPAGJ.

9. *Бахтин С.А., Ращепкин А.А., Соловьев Л.Ю.* Подготовка специалистов транспортного строительства в области информационного моделирования // Путь и путевое хозяйство. 2025. № 1. С. 32–33. EDN: KTTRKQ.

ДОКЛАДЫ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

УДК 721.001
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.045

Баденко Галина Владимировна, ст. преподаватель
(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)
E-mail: badenko_gv@spbstu.ru, ORCID: 0000-0001-8527-8754
Мохирева Арина Олеговна, аспирант
(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)
E-mail: mohirevaarina@mail.ru, ORCID: 0000-0002-5527-0345
Карташов Михаил Алексеевич, аспирант
(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)
E-mail: zeouskan@gmail.com, ORCID: 0000-0001-9110-1779

Badenko Galina Vladimirovna, senior lecturer
(Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University)
Mohireva Arina Olegovna, postgraduate student
(Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University)
Kartashov Mikhail Alekseevich, postgraduate student
(Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University)

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ ОНТОЛОГИЙ ДЛЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ В ПРОМЫШЛЕННО-ГРАЖДАНСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОСЕТЕЙ

AUTOMATION OF THE CONSTRUCTION OF ONTOLOGIES FOR THE PRESENTATION OF REGULATORY DOCUMENTS IN INDUSTRIAL AND CIVIL ENGINEERING USING NEURAL NETWORKS

В работе представлены результаты исследования метода создания онтологических моделей предметных областей инженерии для представления нормативно-технической документации (НТД) в машиноинтерпретируемом формате. Был разработан первоначальный вариант методологии на базе гипотезы о возможности автоматизации создания онтологий через трансферное обучение нейронных сетей. Полученные результаты применены для формирования цифрового паспорта объектов промышленности и создания цифрового формата НТД.

Ключевые слова: онтология, предметная область, ПГС, машиноинтерпретируемый формат, трансферное обучение, LLM.

The paper presents the results of research on the method of creating ontological models for engineering domains to represent regulatory and technical documentation (RTD) in a machine-interpretable format. An initial version of the methodology was developed based on the hypothesis that it is possible to automate the creation of ontologies through transfer learning in neural networks. The results obtained have been applied to the development of a digital passport for industrial objects and the creation of a digital format for RTD.

Keywords: ontology, subject area, ICE, machine-interpreted format, transfer learning, LLM.

Одной из важных частей процесса цифровой трансформации строительной отрасли является цифровизация нормативной документации, так как она содержит в себе огромное количество требований и методик расчетов, которые применяются к объектам строительства.

Процесс цифровизации нормативной документации означает возможность включения содержания нормативно-технических документов в отечественные программные средства по проектированию и эксплуатации строительных объектов. Это значит, что требования, представленные в документации, могут обрабатываться в строительных программах, например: проверка и генерация объемно-планировочных решений, автоматизация создания смет, расчет конструкций, создание моделей предиктивной аналитики и многое другое.

Целью данной работы является разработка методологии для автоматизации создания онтологических моделей предметных областей инженерии с использованием трансферного обучения нейронных сетей для цифровизации процессов строительной отрасли.

Одним из способов цифровизации нормативной документации является представление нормативных документов в формате онтологий. Создание онтологических моделей – трудоемкий и сложный процесс. Он включает в себя определение объектов и отношений между объектами. Онтологическая модель нужна для формализации представления создаваемой системы, включая технические, инженерные и информационные системы. Онтологическая модель – это модель, которая описывает, из каких частей состоит система и как эти части взаимосвязаны между собой. Данное определение онтологической модели является интерпретацией авторов данной статьи. Онтологическая модель состоит из объекта и взаимосвязей между объектами [1].

Объектами является все, что описывает систему и поведение системы. Например: «Гидротехническое сооружение (гидросооружение); ГТС: Сооружение, подвергающееся воздействию водной среды»[1]. Здесь объектами будут: сооружение, водная среда, воздействие; «подвергающееся» является взаимосвязью между объектами «сооружение», «воздействие», «водная среда».

Ручное составление онтологических моделей требует больших человеческих ресурсов, поэтому необходимо искать способы автоматизации этого процесса. Сейчас исследуется гипотеза о возможности трансферного обучения нейронной сети для автоматизации создания онтологического описания предметных областей инженерии. Трансферное обучение – это метод машинного обучения, при котором знания, полученные нейронной сетью на одной задаче, используются для решения другой, схожей задачи.

Применение трансферного обучения для автоматической генерации онтологического описания сложных инженерных систем может улучшить точность и эффективность этого процесса по сравнению с традиционными методами ручного составления. Это улучшение обусловлено использованием моделей глубокого обучения, предварительно обученных на обширном и разнообразном наборе данных, который включает стандартизированные примеры онтологических описаний, обладающие высокой степенью аннотирования и детализации. Подобное обучение позволяет нейронным сетям развивать способность к анализу и обработке сложных связей между классами, атрибутами и отношениями, что делает процесс создания онтологий более быстрым, точным и масштабируемым. Предполагается, что алгоритмы смогут самостоятельно выявлять семантические и контекстные взаимосвязи, автоматически адаптируясь и корректируя их с учётом особенностей конкретных инженерных систем. В исследовании [1] утверждается, что онтологии не могут автоматически развиваться, чтобы отражать обновления в новых данных документов. Чтобы устранить это ограничение, исследователи призывают к автоматической генерации онтологий из неструктурированных текстов. Утверждается, что системы, предназначенные для генерации онтологий из корпуса неструктурированных текстов, зависят от предметной области и требуют ручной верификации. Графы знаний (KGS) стали моделью для динамического представления знаний, однако имеют много качественных ограничений, поэтому в результате исследования был предложен фреймворк

[1] ГОСТ Р 70214–2022. Национальный стандарт Российской Федерации. Гидротехника. Основные понятия. Термины и определения. 2022. 35 с.

автоматической генерации онтологий, однако фреймворк не решает проблему, связанную с предметной областью в онтологии и принципом интероперабельности данных [2].

Одним из подходов, которые могут решить эту проблему, является трансферное обучение [3]. Это направление будет развиваться по мере того, как будут накапливаться исследования и данные, подтверждающие его эффективность в конкретных инженерных приложениях. Использование предобученных моделей языка, обученных на больших неразмеченных корпусах, позволит достигать прорывов в области NLP (обработка естественного языка) [4]. Исследования показывают применение нейронных сетей для автоматической генерации диаграмм моделирования систем (SysML) из текстов на естественном языке, что подчеркивает потенциал нейросетевых методов в создании структурированных представлений из неструктурированных данных [5, 6].

На данный момент для реализации процесса автоматизации создания онтологических моделей предполагаются следующие шаги:

1) создание таксономической модели предметной области ПГС;

2) атрибутирование таксономической модели;

3) определение взаимосвязей между объектами;

4) построение онтологической модели.

Шаг 1 подразумевает построение таксономической модели с отображением в формате иерархии классов и подклассов объектов строительства. По мнению авторов, таксономическая модель предметной области аналогична онтологической модели предметной области. При ее создании существует одно главное ограничение – количество объектов. Поэтому в рамках данного исследования авторы ограничились количеством объектов из одного нормативного документа. Процесс создания таксономии в данном случае состоит из шагов:

1) определение объектов;

2) определение классов и подклассов;

3) визуализация результатов.

Для облегчения процесса первоначальной обработки все выделенные объекты, сгруппированные в классы и подклассы, были представлены в программе ArchiMate (рис. 1). Далее для «чистовой» обработки результатов создается таксономическая (иначе иерархическая) модель в программе Protégé (рис. 2). Для удобства можно реализовать таксономию (иерархию) в Excel.

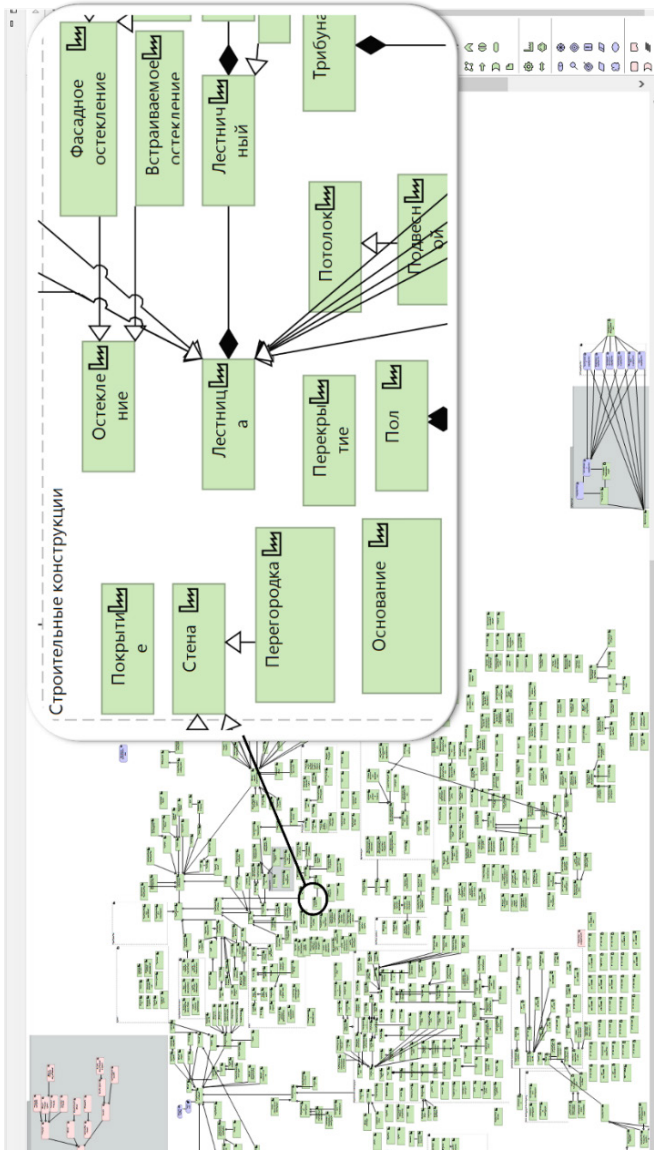


Рис. 1. Сбор материалов для таксономии в программе ArchiMate

Далее для выполнения шагов 2, 3 и 4 используется программа Protégé. В ней происходит построение онтологической модели. На данный момент идут эксперементы по представлению одного номартивного документа в формате онтологической модели. Результат представления одного нормативного пункта в формате онотлогической модели представлен на рис. 2.

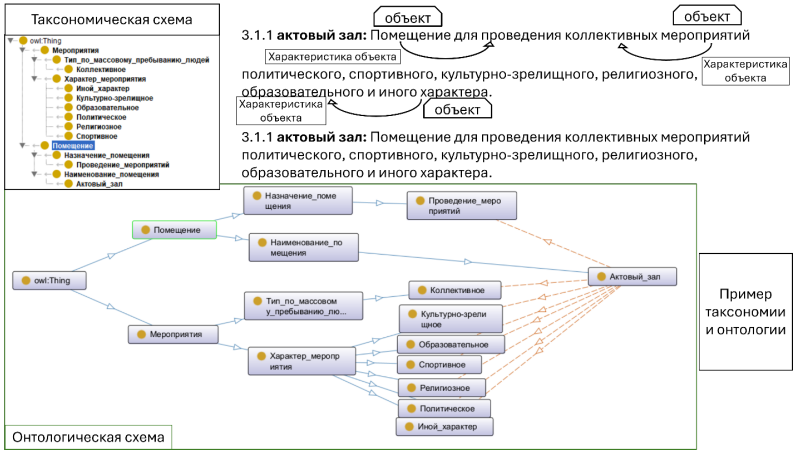


Рис. 2. Создание онотлогической модели в программе Protégé

Главной сложностью при реализации этого процсесса является изначальное распределение объектов строительтсва на классы и подклассы в таксономии (иерархии). Для этого необходимо выявлять признаки, на основании которых объекты строительства можно определить в те или иные классы и подклассы. Значимость данного процесса была продемонстрирована при сравнении результатов разрабатываемой онтологической модели для предметной области гидротехника и классификатора строительной информации (КСИ) было обнаружено несоответствие в назначении классов элементов (рис. 3). Несоответствие может привести к неверному назначению атрибутов и, как следствие, к неверному построению архитектуры системы. Системная архитектура (СА) играет ключевую роль в процессе разработки программного обеспечения, определяя фундаментальные принципы построения системы, её структуру, взаимодействие компонентов, соответственно ошибки в СА приведут к ошибкам в программном обеспечении.



Рис. 3. Возможные изменения в классификаторы ифнормации, в частности в строительный классификатор

Существует социальная значимость разработки, так как получившиеся результаты в виде онтологических моделей будут:

1) облегчать обучение новых специалистов, так как вся информация будет представлена в структурированном виде;

2) помогать убрать противоречия в нормативной документации, так как будет единый источник данных, частично верифицированный математическими моделями;

3) служить единой базой данных для цифровых паспортов предприятий, помогать получить достаточное количество данных для моделей проективной аналитики и цифровой эксплуатации объекта промышленности;

4) обеспечивать объемно-планировочных решений, так как будут указан объект и возможные ограничения к объекту;

5) создавать основу для других программных продуктов по автоматизации процессов проектирования.

В заключение можно сказать, что для развития цифровизации строительной отрасли необходимо создание открытых баз данных, в которых будет представлена информация об объектах и требованиях к этим объектам.

Одним из главных шагов к этому является создание машиноинтерпретируемого формата НТД, так как в нормативных документах уже содержится описание объектов и требований к ним. Одним из эффективных подходов к созданию машиноинтерпретируемого формата может стать представление НТД в формате онтологической модели. При этом важно

отработать методику перевода НТД в машиноинтерпретируемый формат на всем жизненном цикле использования нормативной документации, то есть от момента прочтения документации человеком при проектировании здания, до момента сноса или реконструкции здания. Это означает, что машиноинтерпретируемый формат НТД должен тестироваться на различном ПО для проектирования всех разделов строительной документации, тогда будет подтверждена возможность использования данного формата.

Литература

1. *Badenko V., Yadykin V., Kamsky V., Mohireva A., Bezborodov A., Melekhin E., Sokolov N.* Method for Developing the System Architecture of Existing Industrial Objects for Digital Representation Tasks // Systems. 2024. Vol. 12, No. 9. P. 355. DOI: 10.3390/SYSTEMS12090355. EDN: GLHGTP.

2. *Elnagar S., Yoon V., Thomas M.A.* An automatic ontology generation framework with an organizational perspective. In: Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences. 2020. P. 4860–4869. DOI: 10.24251/hicss.2020.597.

3. *Zhuang F., Qi Z., Duan K., Xi D., Zhu Y., Zhu H., Xiong H., He Q.* A Comprehensive Survey on Transfer Learning // Proceedings of the IEEE. 2021. Vol. 109, No. 1. P. 43–76. DOI: 10.1109/JPROC.2020.3004555. EDN: GSTMLD.

4. *Zhong S., Scarinci A., Cicirello A.* Natural Language Processing for systems engineering: Automatic generation of Systems Modelling Language diagrams // Knowledge-Based Systems. 2023. Vol. 259. P. 110071. DOI: 10.1016/j.knosys.2022.110071. EDN: IIGPTS.

5. *Kuwana A., Oba A., Sawai R., Paik I.* Automatic taxonomy classification by pretrained language model // Electron. 2021. Vol. 10, No. 21. P. 2656. DOI: 10.3390/electronics10212656. EDN: WRIVBW.

6. *Nabavi A., Ramaji I., Sadeghi N.* An Artificial Intelligence-Based Framework for Automated Information Inquiry from Building Information Models Using Natural Language Processing and Ontology // Proceedings of the Computing in Civil Engineering. 2023. P. 381–389. DOI: 10.1061/9780784485231.046.

УДК 004.91
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.046

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)

МЕТОДИКА АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПУТЕМ НАПИСАНИЯ ПЛАГИНОВ ДЛЯ НАПОЛНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ АТРИБУТИВНОЙ ИНФОРМАЦИЕЙ

A TECHNIQUE FOR AUTOMATING DESIGN BY WRITING PLUG-INS TO FILL AN INFORMATION MODEL WITH ATTRIBUTIVE INFORMATION

В статье рассмотрены способы автоматизации процесса наполнения информационной модели строительного объекта атрибутивными данными при ее разработке. Автоматизация осуществлялось посредством внедрения специальных надстроек (плагинов) в программное обеспечение для проектирования. Приведено подробное описание механизмов создания, использования и результаты апробации разработки. Плагин имеет интуитивно понятный и удобный интерфейс, что позволяет сделать взаимодействие с ним доступным не только для разработчика, но и для пользователя, не обладающего навыками программирования. В рамках апробации получена количественная оценка времени, затрачиваемого на формирование спецификации при ручном подходе и с применением специальных надстроек. Разработанные плагины позволили значительно ускорить и упростить процесс выпуска строительной документации. Это демонстрирует высокую эффективность и актуальность создания специальных надстроек программного обеспечения и применения ТИМ-технологий в современных условиях проектирования строительных объектов в целом.

Ключевые слова: Revit API, информационная модель, строительство, плагины, MVVM, ТИМ.

The article discusses ways to automate the process of filling the information model of a construction object with attribute data during its development. Automation was carried out by introducing special add-ons (plug-ins) into the design software. A detailed description of the mechanisms for creating, using, and testing the development is

provided. The plugin has an intuitive and user-friendly interface, which allows you to make interaction with it accessible not only to the developer, but also to the user who does not have programming skills. As part of the testing, a quantitative estimate of the time spent on the formation of the specification was obtained with a manual approach and using special add-ons. The developed plug-ins have significantly accelerated and simplified the process of issuing construction documentation. This demonstrates the high efficiency and relevance of creating special software add-ons and using BIM technologies in modern conditions of designing construction facilities in general.

Keywords: Revit API, information model, construction, plugins, MVVM, BIM.

За последние годы количество организаций, применяющих в проектировании методы информационного моделирования неуклонно растет, отмечаются положительные эффекты от внедрения. С увеличением степени применения ТИМ-технологий повышаются требования к наполненности моделей и качеству выпускаемой документации. Несмотря на совершенствование программного обеспечения, используемого при проектировании, стандартного функционала для выполнения всех требований недостаточно. Необходимо включение в процесс моделирования дополнительных пользовательских инструментов и методов автоматизации для адаптации программных комплексов к локальным задачам.

Кроме того, проектирование с внедрением ТИМ-технологий сокращает время на создание информационной модели.

Переход строительной отрасли к проектированию с использованием инновационных принципов работы способствует росту числа выполняемых организацией проектов. Благодаря этому, автоматизация стала решающим фактором, позволяющим ускорить процесс проектирования.

Одна из наиболее часто встречающихся задач на практике – создание скрипта для наполнения модели атрибутивной информацией. Процесс заполнения параметров достаточно трудоемкий, также часть данных необходимых для формирования выпускаемой документации согласно всем необходимым требованиям, возможно получить только при программном расчёте.

В материалах отчета Национального исследовательского Московского государственного строительного университета о проблемах внедрения технологий информационного моделирования в российских компаниях за 2022 год приводится характеристика основных препятствий внедрения ТИМ [1]. Одним из наиболее серьезных рисков является длительность внедрения и адаптации технологии (рис. 1).

Автоматизация процессов наполнения модели данными позволяет значительно сократить время на формирование ЦИМ, так как эти процессы являются наиболее длительными.



Рис. 1. Основные риски внедрения ТИМ [1]

Вместе с этим, среди основных причин внедрения ТИМ-технологий отмечают повышение качества проектной документации (рис. 2).

Это свидетельствует о важности перехода к автоматизированному расчету и необходимости минимизации человеческого фактора для сокращения количества ошибок и повышения точности строительно-монтажной документации.



Рис. 2. Причины внедрения ТИМ [1]

Создание специальной документации, предназначенной для производства строительных и монтажных работ, выполняется в соответствии с различными стандартами, требует соблюдения определенного перечня правил и занимает достаточно большую часть времени при разработке проекта.

Одним из наиболее значимых элементов выходной документации, выпускаемой специалистами разделов по инженерным коммуникациям, является спецификация оборудования, изделий и материалов. Подробное описание о ее виде и наполнении приведено в ГОСТ 21.110-2013. Заполнение спецификации производится в специальном программном обеспечении для информационного моделирования, так как точные данные, необходимые для ее формирования, возможно получить только при автоматическом расчёте.

Программные средства Autodesk Revit позволяют выполнить оформление спецификации в соответствии с ГОСТом, то есть установить необходимые точные размеры строк и столбцов, а также наполнить ее необходимыми данными.

Однако процесс заполнения достаточно трудоемкий.

Для заполнения части граф подходят системные параметры, однако для полного корректного заполнения граф спецификации системных параметров недостаточно.

В частных случаях недостающие ячейки спецификации можно сформировать с помощью инструмента «Расчетный параметр», однако не всегда это решение будет оптимальным. При проведении моделирования достаточно часто загружаются семейства из различные каталогов и библиотек. Это приводит к тому, что конфигурация значений параметров отличается.

Таким образом, автоматизация процесса заполнения приведет к более корректному виду спецификации и сократит время, затрачиваемое на формирование документации.

В данный момент существует практика написания отдельных скриптов для Dynamo, обеспечивающих заполнение параметров по отдельности [2–4].

На сервере расположена папка-каталог, в которой находятся скрипты для каждого раздела. Для заполнения спецификации необходимо открывать и запускать скрипты в определенной последовательности и контролировать корректность работы.

Данный подход не является оптимальным по ряду причин. Формирование спецификации происходит итерациями, во время каждой необходимо открыть среду разработки, найти в «проводнике» нужную папку и скрипт, визуально проверить корректность скрипта и запустить.

Работа со скриптами является специфичной для большей части инженеров, вследствие этого работа по заполнению параметров переходит в компетенцию ТИМ-отдела.

Таким образом, такой подход предполагает большое количество рутинной работы и нецелесообразное использование времени.

Альтернативой может стать создание плагина, запуск которого происходит непосредственно из панели инструментов программы для моделирования. Внедрение его в процесс работы строительной организации автоматизирует работу, обеспечит согласованность действий проектировщиков, будет способствовать приведению документации проектов к единообразному формату, сократит время разработки проектов и формирования отчетности.

Перед переходом к процессу создания плагина необходимо изучить ГОСТ 21.110-2013, на основании которого сформировать принципы для автоматизированного заполнения выпускаемой документации.

На этапе подготовки к разработке алгоритма главные задачи – это оценить заполнение каких граф спецификации является целесообразным и в соответствии с этим сформировать формулы по составлению значений. Затем проанализировать категории элементов Revit, установить, какие из них специалист раздела использует в процессе моделирования.

Далее этап создания плагина. Скрипт запускается непосредственно из панели инструментов программы Autodesk Revit. Для удобной работы пользователя выбрана реализация процесса взаимодействия посредством интерфейса – формы (WPF), с использованием паттерна MVVM, язык написания скрипта C#. Среда разработки Visual Studio 2022. Скрипт запускается непосредственно из панели инструментов программного обеспечения для проектирования.

В рамках создания плагина были проанализированы принципы построения программы на основе шаблона [5–6]. MVVM – это паттерн, позволяющий разделить приложение на три функциональные части: Model (модель), View (представление), ViewModel (представление модели). Такое разделение позволяет ускорить разработку – можно менять один компонент, не затрагивая код другого.

При запуске плагина открывается окно с элементами пользовательской формы, посредством которой происходит ввод исходных данных – категории элементов и свойства для наполнения модели атрибутивной информацией (рис. 3).

После корректного выбора инструментов формы значение установленного пользователем параметра автоматически заполняется согласно

необходимым формулам для заданных категорий. Далее появляется окно с информацией о том, насколько успешно прошла работа плагина.

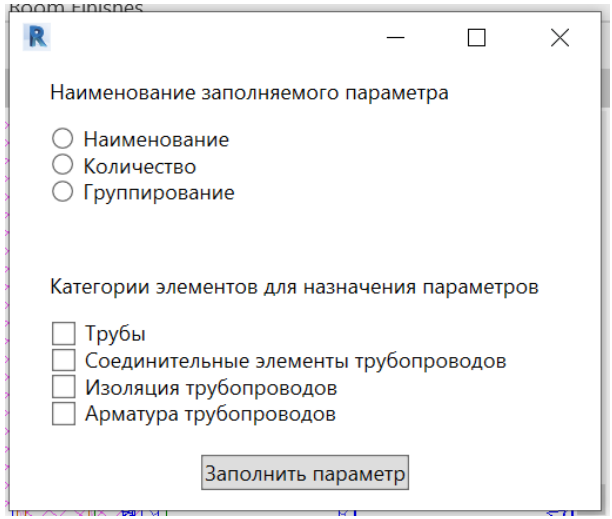


Рис. 3. Пользовательская форма для запуска плагина

Пользователь может проверить корректность работы, также при необходимости изменить выбранные в форме категории элементов и провести повторно операцию выполнения.

После завершения работы с формой необходимо перейти к сводной спецификации и убедиться в правильности присвоения и формирования параметров.

Таким образом, применение плагина позволило расширить функциональные возможности, заложенные в программу Autodesk Revit, упростило работу по заполнению необходимых свойств элементов, при эксплуатации снизит вероятность возникновения ошибок и неточностей. Это позволило автоматизировать процесс формирования спецификации, получать более точные результаты и сократить время разработки проектов.

После разработки необходимо убедиться в том, что плагин работает корректно, и его применение позволяет ускорить процесс выпуска документации.

В рамках апробации плагина была составлена следующая методика:

1. Создать спецификацию в специальном ПО для информационного моделирования.

2. Проанализировать свойства элементов модели, которые необходимо наполнить информацией.

3. Актуализировать принципы для формирования значений параметров.

4. Запустить плагин.

5. Проверить корректность работы плагина, при необходимости повторить шаги 3–5.

Стоит отметить, что в зависимости от специфики и организации и используемых семейств при создании модели, исходные данные могут отличаться, поэтому необходимо провести тестирование плагина и при необходимости скорректировать принципы формирования значений параметров для частных случаев.

Апробация разработанного плагина осуществляется на примере тестовой модели раздела отопления и вентиляции, запроектированной в рамках ТИМ-чемпионата СПбГАСУ (рис. 4). Выбор был сделан в пользу этой модели, так как в ней содержится достаточно большое количество элементов, следовательно при использовании плагина будет обработан нужный объем данных. Поэтому реализация наполнения информацией будет максимально приближена к процессу формирования выпускаемой документации в строительных организациях, и полученные результаты позволят более точно определить эффект от внедрения.

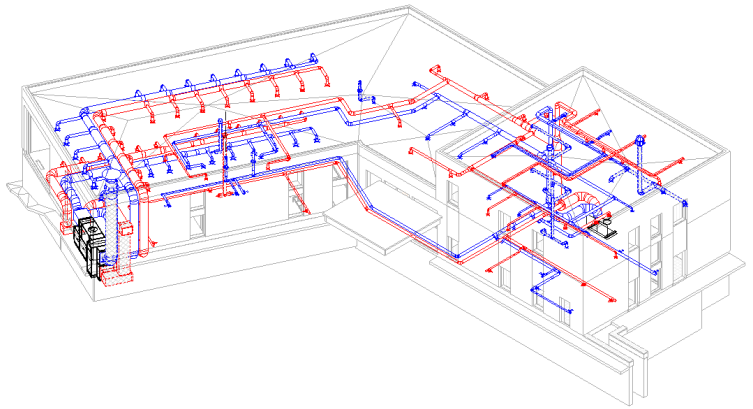


Рис. 4. Тестовая модель раздела отопления и вентиляции, запроектированная в рамках ТИМ-чемпионата СПбГАСУ

Проверка работы плагина проводилась в соответствии с методикой, описанной выше. По результатам верификации установлено, что полученные значения являются корректными.

Перейдем к расчетам времени, которое затрачивается на заполнение спецификации. Наиболее продолжительным является процесс анализа атрибутов семейств и актуализации принципов для формирования значений параметров, для реализации этих процессов требуется порядка одного часа.

Однако, эта процедура выполняется один раз, так как в строительных организациях существует практика переноса семейств из одного проекта в другой. Такой подход минимизирует риск непредвиденного поведения элемента при моделировании, также в часто используемых семействах содержится больше информации, поэтому специалистам по моделированию удобнее работать с ними.

Таким образом необходимо один раз выполнить детальный анализ атрибутов для формирования конфигурации параметров и скорректировать формулы, а дальше только актуализировать по мере добавления в библиотеки новых семейств.

Сам процесс запуска плагина занимает от одной до пяти минут в зависимости от наполненности модели, финальный процесс верификации спецификации – около тридцати минут.

Для тестовой модели время формирования спецификации составило сорок минут.

При заполнении спецификации вручную специалист по информационному моделированию действует по другому алгоритму.

Требуется найти пример предыдущих проектов, чтобы выработать структуру для заполнения, а далее посредством таблицы специалист последовательно переходит к семействам и выполняет редактирование атрибутов. При таком подходе для выбранной модели раздела «ОВ» время формирования спецификации составило около двух часов.

Применение специальной надстройки позволило значительно сократить время, затрачиваемое на выпуск документации. Как показала практика, процесс наполнения происходит быстрее в 5–6 раз, чем при внесении данных вручную (рис. 5).

Немаловажно, что внедрение данного инструмента снижает влияние человеческого фактора и риск возникновения ошибок, так как значения параметров составляются автоматически.

Таким образом, выполнены центральные задачи работы – разработан и успешно апробирован плагин для автоматизации процессов наполнения

информационной модели атрибутивной информацией, составлена специальная методика наиболее эффективного применения надстройки. Проведен сравнительный анализ выполнения моделирования ручным и автоматизированным подходами.

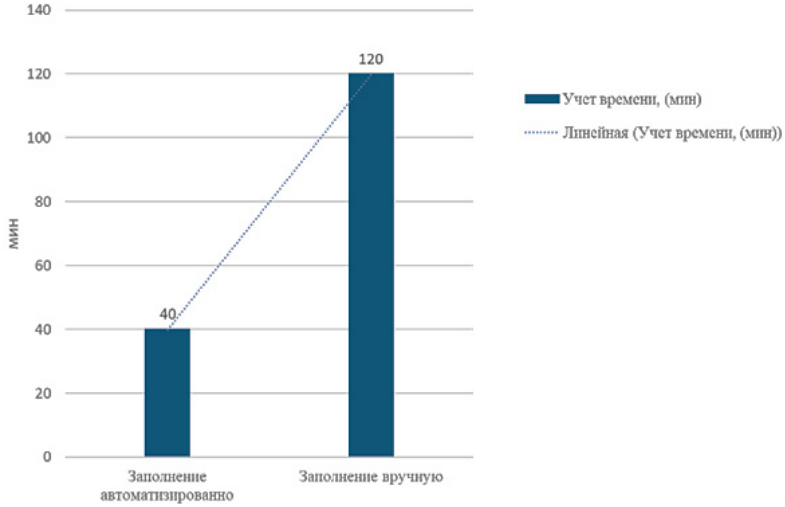


Рис. 5. График сравнения времени, затрачиваемого на наполнение информационными данными модели при автоматизированном и ручном подходах

Результатом применения методики являются:

1. Снижение затрат специалистов по заполнению атрибутивной информации, необходимой для исполнительной и проектной документации.
2. Сокращение количества ошибок в документации.
3. Приведение документации проектов к единообразному формату.
4. Сокращение времени разработки проектов.

Благодарности

Работа выполнена в рамках реализации Инновационного образовательного проекта «Инновационная методика формирования цифровых профессиональных компетенций обучающихся и специалистов строительной отрасли» на базе Федеральной инновационной площадки ФГБОУ ВО СПбГАСУ.

Литература

1. Результаты исследований проблем внедрения технологий информационного моделирования в инвестиционно-строительных проектах российских компаний URL: https://mgsu.ru/news/2022/Otchet_rez_issled_problem_TIM (дата обращения: 21.05.2024).

2. *Канухин А.С.* Оформление спецификации ВК по ГОСТ 21.601–2011. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. RU 2024618111. М. : РУДН, 2024. EDN: WUVUDM.

3. *Стариченко Д.К., Бахтина И.А.* Создание скрипта для семейства трубопроводов в Revit при помощи визуального программирования Dynamo // Ползуновский альманах. 2023. № 1. С. 162–164. EDN: EXLPEU.

4. *Смышляева А.С.* Возможности автоматизированного выполнения рабочей документации для строительства в Autodesk Revit // Дни студенческой науки : сб. докл. научно-техн. конф. по итогам НИР студентов Института экономики, управления и информационных систем в строительстве и недвижимости. М. : МИСИ-МГСУ, 2019. С. 633–636. EDN: KRPWNA.

5. *Гатин Р.Р.* Применение паттерна проектирования MVVM в разработке современных программных решений // Опыт и проблемы реформирования системы менеджмента на современном предприятии: тактика и стратегия. Сб. статей XXII Междунар. научно-практ. конф. Пенза : ПГАУ, 2023. С. 95–99. EDN: HKDZDP.

6. *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. научно-практ. конф. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб. : СПбГАСУ, 2024. С. 356–362. DOI: 10.23968/BIMAC.2024.048. EDN: LCHXXK.

УДК 625.42
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.047

Володин Данил Сергеевич, студент
(Тюменский индустриальный университет)
E-mail: danieloksanen77@mail.ru, ORCID: 0009-0006-8949-5063
Нижегородцев Денис Валерьевич, заместитель директора ОЦЦК
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: mdvd0d@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-9550-9947

Volodin Daniel Sergeevich, student
(Tyumen Industrial University)
Nizhegorodtsev Denis Valerievich, Deputy Director of the ECDC
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

ИНТЕГРАЦИЯ BIM-ТЕХНОЛОГИЙ В АРХИТЕКТУРНЫЕ РЕШЕНИЯ МЕТРОПОЛИТЕНОВ: ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ В СТРУКТУРЕ МЕГАПОЛИСА

THE BIM TECHNOLOGIES INTEGRATION INTO ARCHITECTURAL TREATMENT OF SUBWAYS: PRACTICAL DESIGN EXPERIENCE

В статье приведен опыт практической реализации информационной модели в контексте архитектурных решений с использованием программного обеспечения Autodesk Revit на примере проектирования станции Московского метрополитена. Описаны ключевые этапы создания информационной модели, преимущества проектирования с использованием BIM-технологий (Building Information Model) объектов метрополитена и возникшие сложности в процессе разработки. В качестве итогов проанализирована интеграция современных технологий с точки зрения автоматизации процессов и координации проектирования, рассмотрены перспективы развития и внедрения BIM в разработку архитектурных решений метрополитенов.

Ключевые слова: архитектурные решения, подземное строительство, информационные технологии, метрополитены, уникальные здания и сооружения.

The article presents the experience of information model practical implementation in the context of architectural treatment using Autodesk Revit software on the example of designing a Moscow subway station. Then there were indicated the key stages of creating an information model, the advantages of designing metro facilities using BIM

technologies (Building Information Model), and the difficulties encountered during the development process. As a result, there was analyzed the integration of modern technologies in terms of process automation and design coordination, and the prospects for the development and implementation of BIM in the development of subways architectural treatment are considered.

Keywords: Architectural treatment, underground construction, Information technologies, subway, unique buildings and structures.

Введение. На сегодняшний день Московский метрополитен – интегральная часть урбанизированной структуры столицы и одна из лидирующих отраслей систематического и масштабного развития, определяющая уровень комфорта жизни, а также степень внедрения транспортных инноваций в Российской Федерации и странах Европы. На реализацию проектирования и строительства метрополитена выделяется значительный бюджет по инвестиционным программам: в среднем от 4,5 до 7 млрд рублей на строительство 1 км линии железнодорожных путей со станционным комплексом [1]. В связи с высоким уровнем урбанизации и развития мегаполиса возникает широкая потребность в транспортной среде, соответствующей современным нормам, демонстрационным и эстетическим требованиям. В настоящий момент Московский метрополитен не только подземная коммуникационная структура, но и уникальный архитектурно-инженерный комплекс, эталон комфортного и качественного транспортного обслуживания, формирующий городской каркас, а также передовая инфраструктура, отвечающая современным запросам. В связи с высокими темпами развития метрополитена возникает необходимость модернизации процессов проектирования, управления и ввода в эксплуатацию с сохранением качества работ и значительным сокращением срока разработки документации.

Данный вопрос позволяет решить интеграция BIM-технологий на всех этапах реализации проектных решений и строительства, где использование информационной модели позволяет: а) ускорить процесс проектирования, б) повысить качество выпускаемой рабочей документации, в) сократить сроки ее выполнения и количество возможных корректировок, в том числе, количество коллизий, которые невозможно отследить без создания 3D-модели [2].

Практический опыт интеграции Autodesk Revit в проектировании архитектурных решений метрополитенов. Опираясь на анализ объемов архитектурных решений (далее – АР) станций метрополитена в Москве и в ходе моделирования АР станции в контексте дипломного проекта, был получен вывод, что ПО (программное обеспечение) Autodesk

Revit имеет необходимый набор инструментов и функций для реализации АР и последующей рабочей документации без участия сторонних ПО.

Для создания информационной модели были использованы стандартные шаблоны ПО с незначительной доработкой (создание и добавление семейств с учетом специфики проекта). Ключевые этапы создания информационной модели станции метрополитена подразделяются на: определение локации и габаритов сооружения, создание эскизной модели в контексте, разметку координационных осей, проектирование конструктивного остова, определение коммуникационных трасс, выполнение отделки объекта, наполнение объекта семействами оборудования для метрополитена.

Основу модели составили перекрытия, несущие колонны и стены, вертикальные коммуникации, путевые тоннели; детализация модели представляет собой ограждения, отделочные материалы, наполнение вестибюля и путевого тоннеля, декоративные элементы. Также с помощью встроенных инструментов ПО Autodesk Revit удалось обеспечить необходимую параметризацию элементов и задать им атрибутивные характеристики [3], разделить на группы по виду конструкций и отделки (несущие колонны, подсветка), настроить привязки элементов и структурировать информационную модель. Работа по созданию АР одной станции метрополитена без учета модернизации шаблона, поиска идеи и уточнения технических составляющих в среднем занимает около 48 часов и в конечном счете дает полноценный результат (рис. 1).

На основании практического опыта проектирования метрополитена с применением BIM-технологий выделены преимущества: возможность работы различных специалистов в единой среде, использование типовых шаблонов для последующих проектов, оперативное внесение корректировок в проект, минимизация ошибок в процессе проектирования, централизованное хранение информации, повышенная точность и детализация проекта за счет работы с 3D-моделью; возможность быстрой настройки различной графики чертежей и схем, что важно для формирования архитектурной подачи и презентационных материалов АР.

Из обнаруженных сложностей создания информационной модели следует выделить: а) отсутствие моделей внутреннего обслуживания станций (турникеты, автоматы-кассы), б) отсутствие автоматизированной прокладки рельсовых и шпаловых конструкций, в) отсутствие параметризованных отделочных панелей.

В связи с определенными трудностями предложены варианты их устранения соответственно: а) моделирование семейств самостоятельно,

поиск семейств в открытом доступе, изготовление на заказ, б) внедрение в информационную модель алгоритмов Dynamo Revit, с помощью которых возможна автоматизированная прокладка путей с ускорением срока проектирования в десятки раз [2], в) моделирование индивидуальных параметризованных семейств самостоятельно (подробнее рассмотрено в [4]), изготовление на заказ.

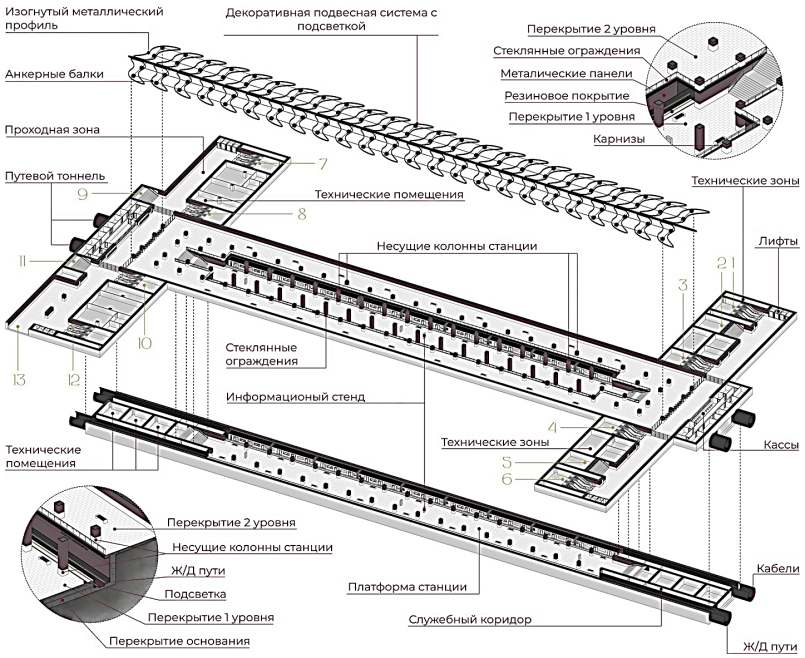


Рис. 1. 3D-схема АР станции метрополитена, созданная в Autodesk Revit

Также практический опыт использования BIM-технологий в создании АР позволяет рассмотреть аспекты автоматизации проектирования метрополитенов, координации и дальнейшего взаимодействия со смежными специалистами. Так, ПО Autodesk Revit дает возможность получения всевозможных двухмерных проекций модели с дальнейшим оформлением архитектурных[1] и конструктивных чертежей[2] (рис. 2),

[1] СП 120.13330.2022. Метрополитены. Актуализированная версия СНиП 32-02–2003. М.: Стандартинформ, 2022. 313 с.

[2] ГОСТ Р 55497–2013. М.: Стандартинформ, 2014. 22 с.

аксонометрических схем и трехмерных проекций, спецификаций и расчетных таблиц; а созданные скрипты Dynamo Revit значительно сокращают сроки выполнения задач и возможные ошибки при «ручном» проектировании. С точки зрения координации BIM-технологии облегчают работу и коммуникацию специалистов смежных разделов, которые работают с моделью после проектирования архитектурных решений в плане понимания объемно-планировочных решений, в том числе предусматривая параллельную разработку.

Интеграция BIM-технологий в процессы проектирования в целом предоставляет ряд положительных возможностей, облегчает коммуникации между проектировщиками и заказчиками, открывает новые пути взаимодействия между специалистами и ориентирована на экономию бюджетных средств и повышение эффективности разработки проектов.

Заключение. В результате исследования был обобщен практический опыт, проанализированы преимущества BIM-технологий в проектировании метрополитенов и сделаны следующие выводы.

Метрополитены как сложные инфраструктурные объекты требуют внедрения передовых технологий, которые позволяют форсировать сроки проектирования и строительства, минимизировать число ошибок, исключить коллизии, рассчитать бюджет строительства и спрогнозировать издержки, а также автоматизировать процессы и обеспечить надлежащее качество работ при повышенных темпах проектирования. Кроме того, «Интеграция BIM-технологий повышает эффективность работы специалистов в области архитектуры и строительства, создает основу для рационального и стабильного развития инфраструктуры городов» [6].

В современных реалиях развития и внедрения BIM-технологий следует отметить: формирование стандартизованной правовой базы использования BIM и регламента по прохождению госэкспертизы, закрепление BIM на законодательном уровне в проектах, стоимостью свыше 500 млн рублей [6].

В перспективе BIM-технологии могут получить открытую информационную базу, регламентироваться СП и ГОСТами, а также станут повсеместно используемы в обязательном порядке для проектирования капитальных объектов, что подтверждают промежуточные результаты: большинство станций Большой кольцевой линии (БКЛ) и проект строящейся 16-й радиальной Троицкой линии выполнены полностью с применением BIM-технологий, которые обеспечили учет сложной геологии и транспортной инфраструктуры плотно застроенной городской ткани Москвы [7].

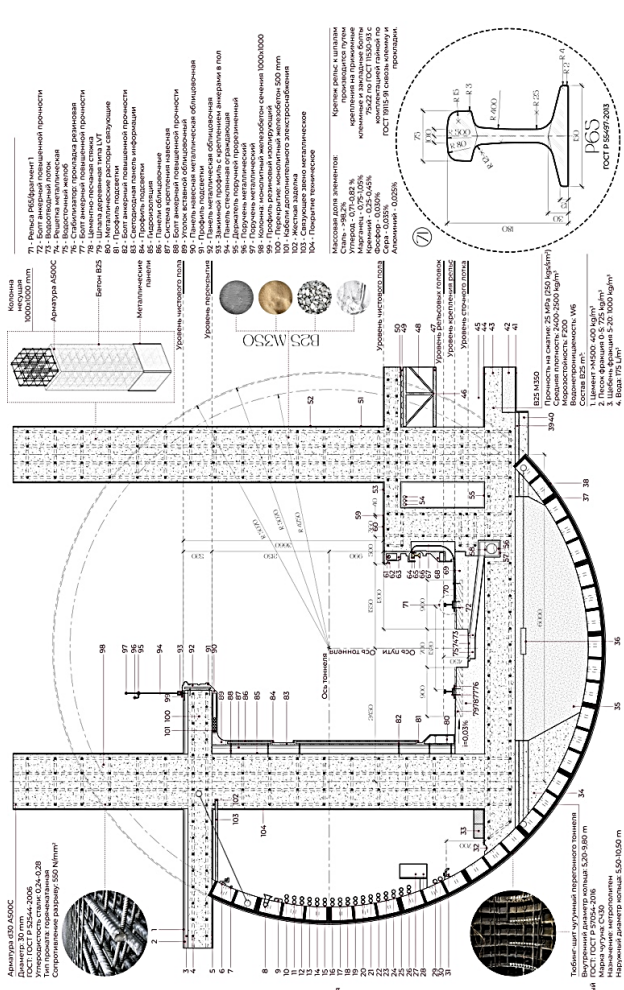


Рис. 2. Разрез станции метрополитена, созданный в Autodesk Revit

Литература

1. Сколько стоит строительство метро. URL: https://stroi.mos.ru/metro/ekonomiya-budzhetnyh-sredstv (дата обращения: 03.02.2025).

2. BIM в проектировании Московского метрополитена. URL: https://infra-bim.csd.ru/upload/iblock/949/mospromproekt_customer_story.pdf (дата обращения: 04.02.2025).

3. *Ращепкин А.А., Кокоева Е.С.* Назначение состава атрибутов цифровой информационной модели для экспертизы автодорожных мостов // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : мат-лы VI Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб. : СПбГАСУ, 2023. С. 98–105. DOI: 10.23968/BIMAC.2023.014. EDN: WTWBRY.

4. *Ожигин Д.А.* Работа с параметрическими компонентами Autodesk Revit Building // CADmaster. 2006. № 5. С. 72–76.

5. *Куприяновский В.П., Покусаев О.Н., Талапов В.В., Семочкин А.В.* Информационное моделирование (BIM), метрополитены, городская железная дорога и станции в транспортной и урбанистической среде в идеологии транзитной ориентации городов // International Journal of Open Information Technologies. 2021. № 3. С. 62–90. EDN: LDJGQS.

6. *Шестопалова О.В., Шестопалов Р.П.* Об интеграции BIM-технологии информационного моделирования зданий с методом фотограмметрии при построении цифровых моделей объектов в архитектурно-строительной отрасли // Известия ТулГУ. Технические науки. 2022. № 8. С. 138–142. DOI: 10.24412/2071-6168-2022-8-138-144. EDN: SGCTDW.

7. На метро из Троицка до центра – реальность Москвы 2024. URL: https://www.ng.ru/moscow/202012-25/100_154325122020.html (дата обращения: 05.02.2025).

УДК 697.12
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.048

Ворожцов Григорий Дмитриевич, студент
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: vorozhtcov2002@gmail.com, ORCID: 0009-0009-7219-0337
Букунова Ольга Викторовна, канд. техн. наук, доцент
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: bukunovaolga@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-5721-1795

Vorozhtsov Grigorii Dmitrievich, 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)

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕПЛОПОТЕРЬ ЗДАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ DYNAMO

DEVELOPMENT OF A PROGRAM FOR CALCULATING HEAT OF A BUILDING USING DYNAMO

В статье рассматривается применение технологии информационного моделирования зданий и сооружений (BIM) на этапе проектирования. Традиционные методы расчета теплопотерь могут быть труднореализуемы и затратны по времени, что снижает эффективность работы проектировщиков. В работе предлагается решение в виде программы, написанной в Dynamo, для автоматизированного расчета теплопотерь и потребления электроэнергии здания, спроектированного в программе Revit. Подход позволяет интегрировать данные непосредственно из BIM-модели, минимизируя ошибки ручного ввода и ускоряя процесс проектирования. Практическая ценность работы заключается в автоматизации расчетов, что способствует оптимизации работы проектировщиков и архитекторов, а также упрощает демонстрацию данных заказчику. Использование скрипта в Dynamo обеспечивает гибкость настройки параметров и возможность масштабирования решения для различных типов зданий.

Ключевые слова: автоматизация расчетов, теплопотери здания, Dynamo, Revit, энергоэффективность, визуальное программирование.

The article examines the application of Building Information Modeling (BIM) technology during the design phase. Traditional methods for calculating heat loss can be

difficult to implement and time-consuming, reducing the efficiency of designers' work. The paper proposes a solution in the form of a program written in Dynamo for the automated calculation of heat loss and electricity consumption of a building designed in Revit. This approach allows for the integration of data directly from the BIM model, minimizing manual input errors and speeding up the design process. The practical value of the work lies in the automation of calculations, which helps optimize the workflow of designers and architects, as well as simplifies the presentation of data to the client. The use of a Dynamo script provides flexibility in parameter settings and the scalability of the solution for various types of buildings.

Keywords: calculation automation, build heat loss, Dynamo, Revit, energy efficiency, visual programming.

В настоящее время возрастает популярность проектирования «зеленых» зданий. Одним из ключевых этапов при проектировании систем отопления является расчет теплопотерь, определяющий необходимую тепловую мощность. Для автоматизации данного процесса используется программа Dynamo, позволяющая создавать скрипты для решения различных задач. В статье рассматривается применение Dynamo для расчета теплопотерь здания.

Dynamo – это среда визуального программирования, что означает отсутствие необходимости писать полноценный код. Вместо этого скрипты создаются с помощью нодов. Ноды – это узлы или блоки, которые можно комбинировать для формирования алгоритма скрипта.

Цель исследования – разработка программы на базе Dynamo для автоматизации расчета теплопотерь здания с целью повышения энергоэффективности. Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

– изучение методов расчета теплопотерь;
– анализ возможностей Dynamo;
– сбор и анализ требований для расчета;
– разработка скрипта в Dynamo;
– тестирование программы.

Актуальность темы доказывают новые тенденции и тренды, требующие автоматизации различных процессов в проектировании и строительстве. Автоматизация процесса расчета теплопотерь может значительно сократить время работы архитекторов и проектировщиков.

Гипотезой является программа для расчета теплопотерь здания с использованием Dynamo, которая будет обеспечивать высокую точность и эффективность, что позволит значительно упростить процесс проектирования энергоэффективных зданий и сократить время на выполнение расчетов.

В ходе данного исследования были проанализированы источники [1–3]. В этих статьях рассматриваются методы автоматизации разработки спецификаций с использованием как стандартных нодов, так и кодирования на Python Script.

Также были изучены источники [4–5], в которых предлагаются алгоритмы для структурирования массива данных, полученного в ходе эксперимента, и обработки информации.

Были рассмотрены несколько программ для подсчета теплопотерь, такие как: Dynamo, Valtec.PRG и Oventrop.

В результате была выбрана программа Dynamo со своими преимуществами:

– интеграция проекта;

– автоматизация проекта;

– гибкость программы;

– бесплатное ПО;

– неограниченный функционал.

Вопрос затрат на отопление всегда актуален. Для эффективного управления энергопотреблением и минимизации затрат необходимо учитывать несколько ключевых параметров.

У потребления энергии есть два основных измерения. Важно знать установленную мощность, какую систему отопления использовать, сколько нужно электричества – пиковая мощность кВт. Второе – общий расход за сезон – количество кВт-ч.

Чтобы вычислить теплопотери, нужно знать:

– значения сопротивления теплопередачи;

– общие теплопотери;

– общее потребление энергии.

Расчеты нужны для планирования мощности источников энергии. Зная пиковую мощность (кВт), можно правильно выбрать оборудование для системы отопления. Это позволяет избегать перегрузок и обеспечить стабильную работу системы. Также расчеты при оценки общих затрат на энергию. Зная общее потребление энергии (кВт-ч), можно определить расходы на отопление за сезон.

Энергопотребление здания в первую очередь зависит от его оболочки, которая включает стены, крышу, окна и пол. Также важны вентиляция и горячее водоснабжение (ГВС). Через оболочку здания теряется от 20 % до 80 % общего потребления энергии. В хорошо спроектированных домах обычно теряется около двух третей энергии через оболочку.

Для расчета теплопотерь через оболочку здания необходимо учитывать площади всех поверхностей, теплопроводность материалов и слоев, а также разницу температур внутри и снаружи здания.

Для демонстрации программы по расчету теплопотерь был использован спроектированный дом (рис. 1).



Рис. 1. Спроектированный дом

Рассмотрен одноэтажный частный дом, с кирпичными стенами, плоской крышей, разными видами окон и типовым перекрытием. Габариты дома: 12840 мм на 11700 мм, высота стен – 4000 мм, с крышей 700 мм и толщиной перекрытия 300 мм.

В Dynamo для выполнения задач применяются разнообразные ноды и Python скрипты (рис. 2–5).

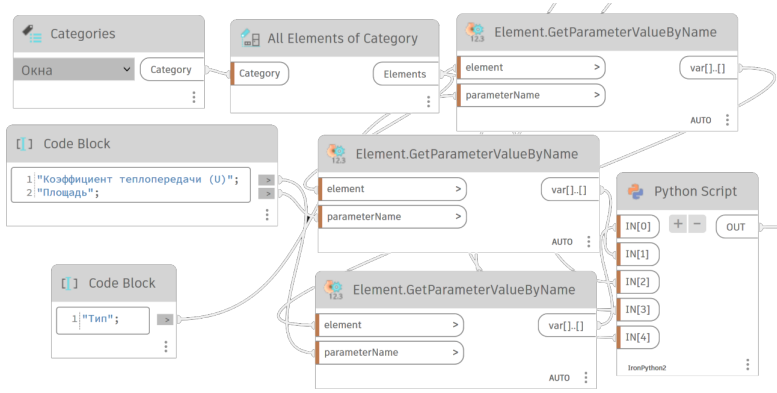


Рис. 2. Расчет теплопотерь окон

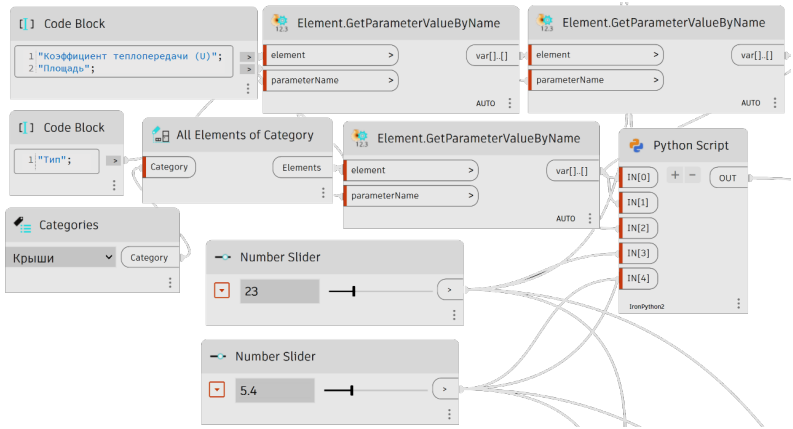


Рис. 3. Расчет теплопотерь крыши

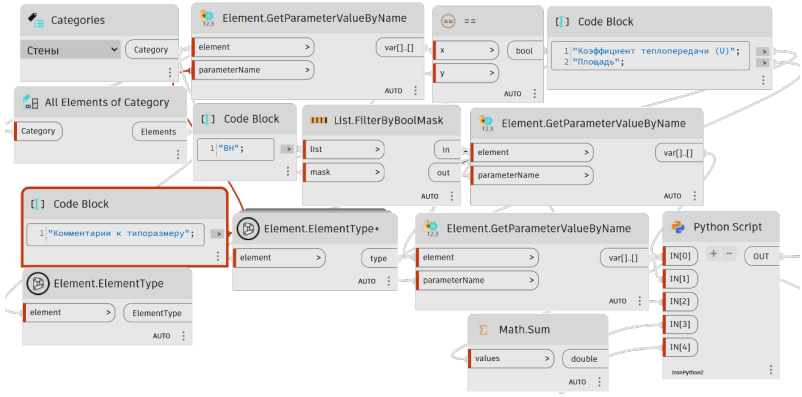


Рис. 4. Расчет теплопотерь стен

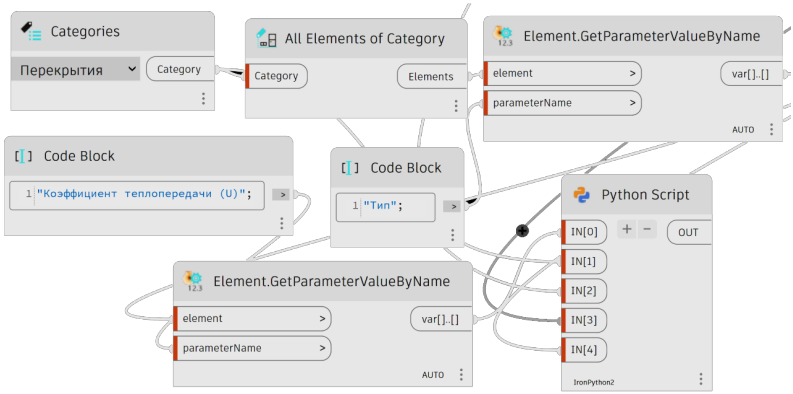


Рис. 5. Расчет теплопотерь перекрытия

Для расчета теплопотерь через поверхности необходимо выполнить следующие шаги:

– выбор элементов: стены, окна, перекрытия или крыша;

– получить переменные: коэффициент теплопередачи K, площадь S и разница температур между внешней и внутренней средой Dt.

С помощью этих переменных можно рассчитать количество тепла, теряемое через поверхности здания с помощью формулы $Q = S \cdot K \cdot \Delta t$.

Расчет теплопотерь для перекрытия учитывается от грунта.

Температура задается и регулируется специальным нодом «number slider». Значения температуры на улице – 8 градусов, значения температуры в помещении 22 градуса.

Получаем сумму теплопотерь Q в ваттах (Вт) см. (рис. 6).

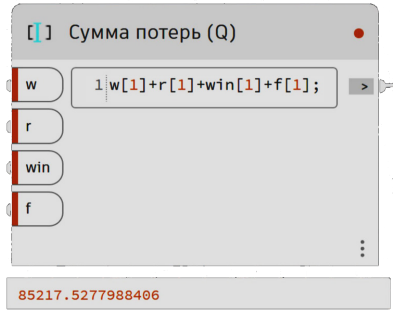


Рис. 6. Сумма теплопотерь (Q) Вт

После расчета количества теплопотерь были определены:

– время отопления *T* (ч), в течении которого нужно отапливать дом, 4560 часов;

– необходимая мощность обогревателя *P*: 18,68 кВт для поддержания заданной температуры;

– общее потребление за отопительный период электроэнергии *E*: 85217,52 Вт-ч.

В результате расчетов была определена стоимость электроэнергии. Для примера использованы данные по Санкт-Петербургу, где стоимость электроэнергии рассчитывается исходя из тарифа 6,2 рубля за киловатт-час.

После всех вычислений итоговая стоимость электроэнергии для беспрерывного отопления жилого дома в течение 190 дней составила 528348 руб.

Таким образом, использование технологии информационного моделирования и визуального программирования предоставляет следующие преимущества:

– автоматизация расчетов: Возможность автоматически получать данные по электроэнергии, теплопотерям, мощности обогревателей и стоимости отопления;

– оптимизация процессов: Полное исключение ручного труда и необходимости выполнять сложные математические вычисления вручную, что снижает вероятность ошибок и повышает эффективность работы.

Представленная в данной работе программа может служить базой для проведения конкретных расчетов, направленных на оценку энергоэффективности здания.

Литература

1. *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 Всеросс. научно-практ. конф. Екатеринбург : УрФУ, 2022. С. 89–97. EDN: DYKVMC.

2. *Абдельхади М.М.Н., Придвижкин С.В., Карманова М.М., Печеркина Е.А.* Автоматизация формирования спецификаций с помощью скрипта, разработанного в среде Dynamo // Перспективы науки. 2022. № 5(152). С. 82–87. EDN: PVATVS.

3. *Пученков И.С.* Обработка информации в BIM среде с помощью Dynamo // Дни студенческой науки : сб. докл. научно-техн. конф. по итогам НИР студентов института экономики, управления и информационных систем в строительстве и недвижимости НИУ МГСУ. М. : НИУ МГСУ, 2020. С. 527–529. EDN: MBKVRN.

4. *Мельников Д.В., Мансуров Р.Ш.* Использование инструментов визуального программирования для обработки массивов данных // Труды Новосибирского

государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин). 2021. Т. 24, № 3/4(81/82). С. 49–58. DOI: 10.32683/1815-5987-2021-24-81/82-3/ 4-49-58. EDN: GAUYPZ.

5. *Пученков И.С.* Обработка информации в BIM среде с помощью Dynamo на примере работы с классификатором // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : мат-лы III Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб. : СПбГАСУ, 2020. С. 414–424. DOI: 10.23968/ BIMAC.2020.054. EDN: DUJTDT.

УДК 699.814.4
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.049

Джураев Фирдавс Махмуджонович, аспирант
(Российский университет транспорта (МИИТ))
E-mail: firdavs.djuraev2@mail.ru

Juraev Firdavs Mahmudjonovich, postgraduate student
(Russian University of Transport (MIIT))

РАСЧЕТ ОБЪЕМА УТЕПЛИТЕЛЯ В ЗОНАХ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ И СТРОИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В СРЕДЕ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

CALCULATION OF THE VOLUME OF INSULATION IN THE AREAS OF INTERSECTION OF MEP AND BUILDING ELEMENTS IN THE INFORMATION MODELING ENVIRONMENT

В данной статье рассматривается пример применения среды визуального программирования Dynamo в среде программного комплекса Revit на этапе проектирования зданий для расчета объема утеплителя в зонах пересечения инженерных и строительных элементов. Автоматизация данной задачи упростит работу проектировщику, исключит человеческий фактор, улучшит взаимодействие между всеми участниками проекта, соответственно, сократит расходы времени и финансов, а также позволит повысить энергоэффективность зданий. Преимуществом использования среды визуального программирования в связке с программами информационного моделирования является простота работы во время использования и гибкая настройка по индивидуальным требованиям проекта.

Ключевые слова: проектирование зданий, информационное моделирование, BIM-программа, автоматизация проектирования, энергоэффективность, визуальное программирование.

This article discusses an example of using the Dynamo visual programming environment in the Revit software package at the stage of building design to calculate the volume of insulation in areas where engineering and building elements intersect. Automating this task will simplify the work of the designer, eliminate the human factor, improve interaction between all project participants, respectively, reduce time and financial costs, and also improve the energy efficiency of buildings. The advantage of using a visual programming environment in conjunction with information modeling programs is the ease of operation during use, flexible configuration according to individual project requirements.

Keywords: building design, information modeling, BIM program, design automation, energy efficiency, visual programming.

Технологии информационного моделирования зданий играют особую роль в строительстве и проектировании. Они значительно повышают точность расчетов, улучшают координацию между участниками проекта и помогают минимизировать ошибки на этапе проектирования [1]. В настоящее время новые здания проектируют и строят, учитывая энергоэффективность, которая в дальнейшем будет влиять на эксплуатационные расходы управляющих компаний [2]. Поэтому одной из важных задач проектирования является определение объемов материалов, включая утеплители, которые необходимы для обеспечения энергоэффективности зданий. Данную задачу можно решить с помощью средств информационного моделирования.

Основная сложность данного расчета заключается в нахождении зон пересечений строительных и инженерных элементов. Данные пересечения требуют тщательного учета геометрии и расположения элементов относительно друг друга. Ошибки в расчетах могут привести к ухудшению теплотехнических характеристик здания и перерасходу или нехватке количества материала, что ведет к увеличению стоимости объекта.

Стандартных средств подсчета утеплителя именно в отверстиях не реализовано в Autodesk Revit. В данной программе можно произвести подсчет:

1. Материалов изоляции трубопроводов.
2. Материалов изоляции воздуховодов.
3. Объема утеплителя, которой включен отдельными слоями в категории стен. Учет этих элементов происходит в спецификациях архитектурных и конструктивных разделов.

Так как в стенах архитекторами и конструкторами предусматриваются отверстия под инженерные коммуникации с вырезом куска стены насквозь в местах пересечения, то данный объем утеплителя исключается из объема спецификации (рис. 1, 2).

Этот утеплитель учитывается дополнительной позицией в спецификации именно инженерных разделов, помимо материалов изоляции трубопроводов и воздуховодов. Проектировщики инженерных разделов считают вручную объемы утеплителя в местах отверстий, получая сечения воздуховодов и трубопроводов. Этот процесс требует значительных временных затрат, но и не отличается высокой точностью. Разработанный скрипт позволяет автоматизировать данный этап работы, выполняя расчет объемов утеплителя за считанные секунды. Тем самым повышается

эффективность работы проектировщиков и снижаются издержки на этапе строительства.

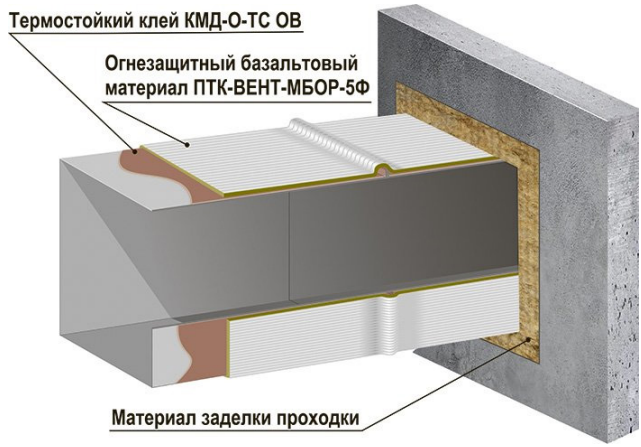


Рис. 1. Отверстия под инженерные коммуникации[1]

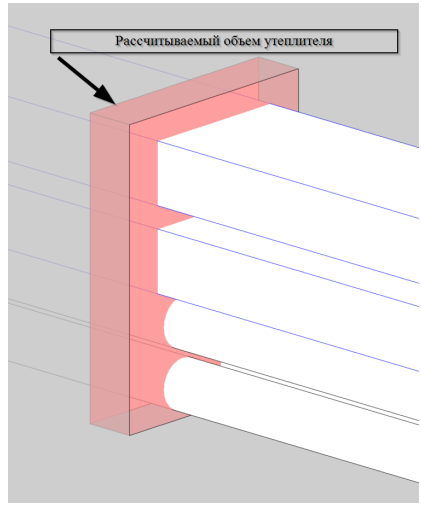


Рис. 2. Отображение материала заделки в программе Autodesk Revit

[1] URL: https://brandtrade.by/services/fire-protection/fire-protection-ventilation/

Целью данной работы является автоматизация расчета утеплителя в Autodesk Revit с использованием Dynamo [3].

Укрупненный алгоритм работы программы содержит следующие шаги.

Шаг 1. Сборка всех связанных моделей Autodesk Revit в проекте (`Rev_Link` – список всех загруженных моделей Revit):

```
Rev_Link=FEC(doc).OfCategory(DB.BuiltInCategory.OST_
RvtLinks).WhereElementIsNotElementType().ToElements()
```

Шаг 2. Сортировка связей по разделам (`i.Name` – параметр для хранения имени связанной модели; `i.GetLinkDocument()` – метод возвращает документ в зависимости от имени файла _OV1_, _VK_ и т.д.; `rvt_link_name.append(i)` – список необработанных моделей):

```
for i in Rev_Link:
if «_OV1_» in i.Name:
link_ov1_doc = i.GetLinkDocument()
elif «_VK_» in i.Name:
link_vk_doc = i.GetLinkDocument()
elif «_OV2_» in i.Name:
link_ov2_doc = i.GetLinkDocument()
elif «_OV3_» in i.Name:
link_ov3_doc = i.GetLinkDocument()
else:
rvt_link_name.append(i)
```

Цикл определяет, какие из них относятся к категориям [OV1, VK, OV2, OV3] по их имени. Сохраняет документ в отдельные переменные [link_ov1_doc, link_vk_doc и т.д]. Если в имени документа нет подходящей категории, то добавляет ее в список `rvt_link_name`.

Шаг 3. Получение и фильтрация отверстий в проекте (`AR_Windows` – параметр для хранения всех отверстий в проекте; `AR_Windows_Sort` – отсортированный список отверстий, сортировка производится для исключения лишних итераций):

```
AR_Windows=FEC(doc).OfCategory(DB.BuiltInCategory.OST_
Windows).WhereElementIsNotElementType().ToElements()
if «WE_Отверстие в перекрытии_Прямоуг_С решеткой_Съемный»
not in i.Name and «WE_Отверстие в перекрытии_Прямоуг_С ре-
шеткой» not in i.Name:
AR_Windows_Sort.append(i))
```

Шаг 4. Нахождение пересечений отверстий и инженерных элементов:

```
for r in AR_Windows_Sort:
       geomW=r.Geometry[opt]
       for i in geomW:
              geomOtv=i.GetInstanceGeometry()
       for j in geomOtv:
              if «Autodesk.Revit.DB.Solid» in str(j) and
j.Volume>0:
       outline_mep=Outline(r.get_BoundingBox(None).Min,r.
get_BoundingBox(None).Max)
              Volume_otver=j.Volume*0.028317
              tolshina_otver=(r.LookupParameter(«ADSK_Раз-
мер_Толщина основы»).AsDouble())* 304.8
       BB_INS=BoundingBoxIntersectsFilter(outline_mep, 0)
       filter= ElementIntersectsElementFilter(r)
       Otver_Location.append(r.Location)

       #Получение пересечений отверстия с разделами ВИС
       ffCollector_VK    =    FilteredElementCollector(link_
vk_doc).OfCategory(DB.BuiltInCategory.OST_PipeCurves).
WherePasses(BB_INS).WherePasses(filter).ToElements()
       ffCollector_OV2    =    FilteredElementCollector(link_
ov2_doc).OfCategory(DB.BuiltInCategory.OST_DuctCurves).
WherePasses(BB_INS).WherePasses(filter).ToElements()
       ffCollector_OV1=FilteredElementCollector(link_
ov1_doc).OfCategory(DB.BuiltInCategory.OST_PipeCurves).
WherePasses(BB_INS).WherePasses(filter).ToElements()
       ffCollector_OV3_Pipe=FilteredElementCollector(link_
ov3_doc).OfCategory(DB.BuiltInCategory.OST_PipeCurves).
WherePasses(BB_INS).WherePasses(filter).ToElements()
       ffCollector_OV3_Duct=FilteredElementCollector(link_
ov3_doc).OfCategory(DB.BuiltInCategory.OST_DuctCurves).
WherePasses(BB_INS).WherePasses(filter).ToElements()
```

Здесь `geomW` – получает геометрию отверстий; `geomOtv` – с помощью цикла получает подобъекты геометрии отверстий; `"Autodesk.Revit.DB.Solid" in str(j) and j.Volume>0` – данное условие проверяет, является ли отверстие твердым телом (Solid) и имеет ли ненулевой объем; `outline_mep` – параметр создает контур по крайним точкам отверстия. Крайние точки получаем с помощью функций `get_BoundingBox(None).Min` и `get_BoundingBox(None).Max`;

`Volume_otver` – параметр получает объем геометрии и округляет в метрическую систему; `tolshina_otver` – параметр получает толщину отверстия считыванием параметра семейства "`ADSK_Размер_Толщина основы`" и переводит в метрическую систему; `BB_INS` и `filter` – параметры создают фильтры для поиска пересечений отверстий с инженерными сетями; `Otver_Location` – сохраняет координаты отверстия; `ffCollector_VK`, `ffCollector_OV1`, `ffCollector_OV2` – получает пересечения инженерных сетей с отверстиями. С помощью `Where-Passes(BB_INS).WherePasses(filter)` отбираются лишь пересекаемые элементы.

Шаг 5. Вычисление объемов пересекающихся элементов с круглым сечением (Водоснабжение, Отопление, Кондиционирование): в разделе ВК, ОВ1, ОВ3 используются только трубы (рис. 3).

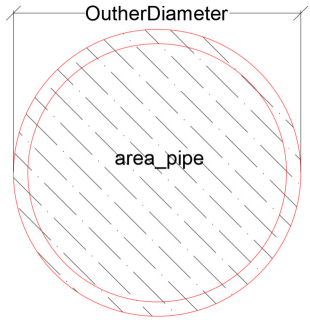


Рис. 3. Диаметр и площадь сечения трубы

```
for pipe in ffCollector_VK:
       rez_pipe=[]
area_pipe=0
       Volume_pipe=0
OutherDiameter=pipe.get_Parameter(DB.BuiltInParameter.RBS_
PIPE_OUTER_DIAMETER).AsDouble()* 304.8
area_pipe=(3.14*(int(OutherDiameter)/2)*(int(OutherDiame
ter)/2))
       Volume_pipe=area_pipe*tolshina_otver*(0.1**9)
rez_pipe.append(Volume_pipe)
```

Здесь `OutherDiameter` – параметр для получения внешнего диаметра трубы; `area_pipe` – вычисляет площадь поперечного сечения трубы; `Volume_pipe` – вычисляет объем пересекаемой части трубы

путем умножения площади сечения на толщину отверстия; `rez_pipe` – список для хранения объема пересекаемой части трубы.

Шаг 6. Вычисление объемов пересекающихся элементов с круглым и прямоугольным сечением (Вентиляция). Раздел вентиляции ОВ2 предусматривает линейные элементы – воздуховоды [4]. Чаще всего в проектировании используются воздуховоды круглого и прямоугольного сечения (рис. 4). Поэтому предусматривается дополнительный цикл по определению сечения воздуховода.

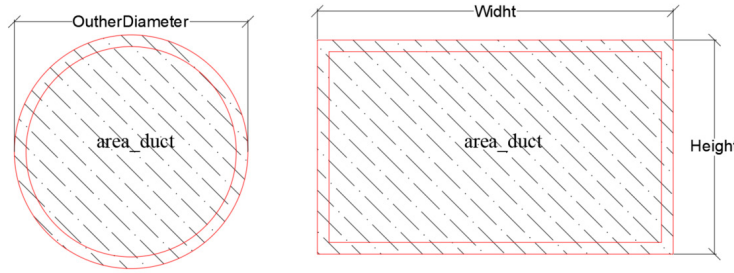


Рис. 4. Размеры сечений и площадь воздуховода

```
for duct in ffCollector_OV2:
rez_duct=[]
area_duct=0
Volume_duct=0
OverallSize=duct.get_Parameter(DB.BuiltInParameter.RBS_
REFERENCE_OVERALLSIZE).AsString()
numbers = ''.join(c if c.isdigit() else ' ' for c in
OverallSize).split()
if len(numbers)==2:
       area_duct=(int(numbers[0])*int(numbers[1]))
else:
       area_duct=(3.14*(int(numbers[0])/2)*(int(numb
ers[0])/2))
Volume_duct=(area_duct*tolshina_otver)*(0.1**9)
       rez_duct.append(Volume_duct)
```

Здесь `OverallSize` – параметр для получения размеров воздуховода в строковом формате; `numbers` – разделяет полученные размеры и записывает цифры в список. Далее идет условие, в котором если количество значений `numbers==2`, то воздуховод прямоугольный, иначе

круглый; `Volume_duct` – вычисляет объем пересекаемой части воздуховода путем умножения площади сечения на толщину отверстия; `rez_pipe` – список для хранения объема пересекаемой части воздуховода.

Шаг 7. Вычисление суммарных объемов пересекаемых элементов (складываются все объемы пересекаемых элементов):

```
Volume_pipes,Volume_ducts,Volume_pipes_OV1,Volume_duct_
OV3,Volume_pipes_OV3=sum(rez_pipe),sum(rez_duct),sum(rez_
pipe_OV1),sum(rez_duct_OV3),sum(rez_pipe_OV3)
```

Шаг 8. Подсчет утеплителя в отверстиях (вычитают суммарные объемы пересекаемых элементов всех разделов):

```
rez_otver.append((Volume_otver-Volume_pipes-Volume_ducts-
Volume_pipes_OV1-Volume_duct_OV3-Volume_pipes_OV3))
```

Полученный результат можно отобразить числом или записать объем пустого пространства в семейство и расставить по координатам отверстий.

Результат работы скрипта можно получить в нескольких видах:

1. Суммарное числовое значение с учетом всех отсортированных отверстий в здании.

2. Внесение значения объема материла утеплителя в каждую отсортированную зону/пространство с возможностью индивидуальной проверки отверстия.

Применение данного скрипта в ходе расчета утеплителя ускоряет работу и снижает вероятность ошибок проектировщика [5]. В результате удается достичь более рационального распределения ресурсов, избежать избыточных затрат на материалы и повысить энергоэффективность зданий. Предложенный метод способствует улучшению качества проектирования в рамках технологий информационного моделирования.

В дальнейшем скрипт можно усовершенствовать, добавляя новые функции, которые будут адаптированы для различных типов строительных и инженерных объектов.

Литература

1. *Смирнова Н.В., Смирнова О.В.* Автоматизация сбора и обработки данных по энергоэффективности зданий с использованием языка Python // Современное состояние, проблемы и перспективы развития отраслевой науки : мат-лы VIII Всеросс. конф. с междунар. уч. М. : Издательско-торговая корпорация «Дашков и К^{о}», 2023. С. 519–522. EDN: MGLYKA.

2. *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.

3. *Смакаев Р.М., Низина Т.А.* Автоматизация задач проектирования с помощью среды визуального программирования DYNAMO STUDIO // Огарев-online. 2020. № 3(140). С. 4. EDN: KLBFII.

4. *Gerbino S., Cieri L., Rainieri C., Fabbrocino G.* On BIM Interoperability via the IFC Standard: An Assessment from the Structural Engineering and Design Viewpoint // Applied Sciences. 2021. Vol. 11, No. 23. P. 11430. DOI: 10.3390/app112311430. EDN: MMQIGV.

5. *Георгиев Н.Г., Шумилов К.А., Семенов А.А.* Визуальное программирование в задачах моделирования строительных конструкций // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2021. № 4(38). С. 117–123. DOI: 10.52684/2312-3702-2021-38-4-117-123. EDN: ZPSGCJ.

УДК 624.21/.8
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.050

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

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

О ВОЗМОЖНОСТЯХ ТЕХНОЛОГИИ BIM ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

ABOUT THE CAPABILITIES OF BIM TECHNOLOGY FOR AUTOMATING THE DESIGN OF BRIDGE STRUCTURES

Информационное моделирование мостов, как линейных объектов транспортной инфраструктуры, имеет ряд особенностей, поэтому его необходимо рассматривать в отдельности от информационного моделирования строительных объектов промышленно-гражданского строительства. В настоящей статье рассмотрены возможности технологии информационного моделирования (BIM) как инструмента автоматизации проектирования мостовых сооружений. Автором описаны основные преимущества технологии, которые позволят добиться автоматизации процессов проектирования различных строительных конструкций, включая мостовые сооружения. Проблема автоматизации проектирования с применением информационного моделирования является актуальной в текущий период интеграции и развития технологии информационного моделирования.

Ключевые слова: BIM, BrIM, автоматизация проектирования, мостовое сооружение, информационное моделирование, параметрическое моделирование.

Information modeling of bridges, as linear objects of transport infrastructure, has a number of features, therefore it must be considered separately from information modeling of industrial and civil construction facilities. This article discusses the possibilities of building information modeling (BIM) technology as a tool for automating the design of bridge structures. The author describes the main advantages of the technology, which will allow automating the design processes of various building structures, including bridges. The problem of design automation using information modeling is relevant in the current period of integration and development of information modeling technology.

Keywords: BIM, BrIM, design automation, bridge construction, information modeling, parametric modeling.

Развитие автоматизации проектирования. Возникновение систем автоматизированного проектирования (САПР) связано с необходимостью автоматизации сложной графической работы проектировщиков и появлением электронных вычислительных машин (ЭВМ) в середине XX века. Эти два фактора сыграли важную роль в возникновении и развитии САПР. Изначально САПР решали проблемы рутинного создания чертежей и заменяли физические кульманы, но с развитием возможностей и доступности ЭВМ САПР стали помогать в расчетной составляющей проекта [1] и, в последствии, проектирование стало переходить в трехмерное пространство из плоскости чертежа [2].

В настоящий момент строительная отрасль переживает новый технологический переход к проектированию и в целом ведению строительных проектов с применением BIM-технологии. Эта технология в первую очередь несет в себе работу с большим количеством данных (Big Data), относящихся к строительному объекту, и только затем трехмерное представление здания или сооружения.

В мостостроение внедрение BIM начало происходить несколько позже нежели в промышленно-гражданском строительстве (ПГС) из-за особенностей и специфики проектирования мостовых сооружений [3, 4]. Поскольку транспортные сооружения и дороги носят линейный характер к ним не всегда применимы идеи BIM, заложенные для зданий и сооружений [5], поэтому для мостовых сооружений возникло отдельное течение технологии, называемое BrIM (Bridge Information Modelling – информационное моделирование мостов) [6]. BrIM повышает качество проектирования мостов с помощью точной информации, согласованной документации и улучшенной проработки конструкций.

При внедрении BIM-технологии проектные организации сталкиваются с различными проблемами [7]. Одна из них – BIM на данном этапе развития не отвечает всем потребностям проектировщиков [2], а только раздувает количество обязанностей за счет увеличения обрабатываемой информации. Назревает необходимость в автоматизации процессов проектирования именно в BIM для того, чтобы можно было использовать преимущества технологии по максимуму без раздражающих факторов.

Возможности технологии BIM для автоматизации процессов проектирования. Внедрение технологии BIM в различные этапы жизненного цикла объекта капитального строительства несет достаточно много преимуществ. Предлагается рассмотреть BIM как инструмент автоматизации проектирования. Основные преимущества BIM-технологии, которые позволяют автоматизировать процесс проектирования строительных конструкций, в том числе мостовые сооружения:

1. Параметрическое моделирование.

Параметрическое моделирование – принцип проектирования, основанный на зависимостях отдельных параметров модели и ее элементов друг от друга. Это означает, что при изменении одного или нескольких параметров будет происходить изменение всех элементов, зависимых от этих параметров. Параметрическое моделирование одна из основ технологии BIM. Благодаря созданию параметрических моделей (рис. 1) появляется гибкость проектных решений и ускоренное внесений изменений в них [8].

В проектировании мостовых сооружений параметрическое моделирование находит массовое применение, поскольку позволяет как создавать сложные многосоставные информационные модели мостов, так и быстро перестраивать различные их составляющие при необходимости внесения правок и изменений [9, 10].

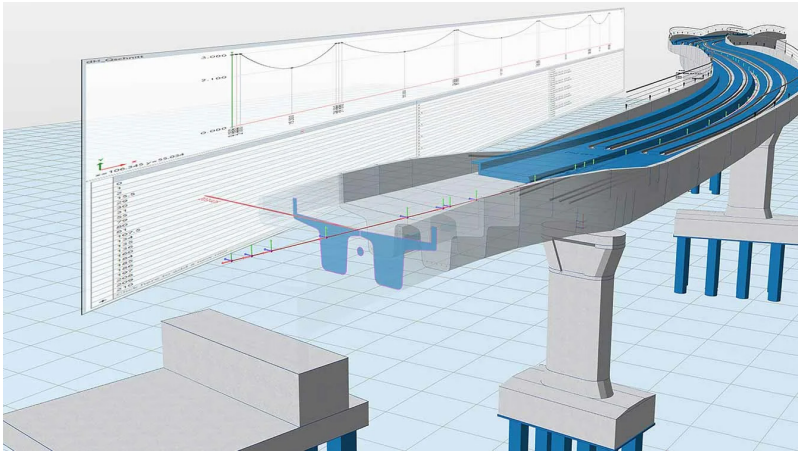


Рис. 1. Параметрическая модель мостового сооружения в ALLPLAN BRIDGE[1]

2. Автоматизация повторяющихся действий.

В работе проектировщика встречается большое разнообразие однотипной и рутинной работы, которую необходимо автоматизировать для концентрации внимания на более важных и «человекозависимых» обязанностях. Для этого необходимо определить наиболее повторяющиеся действия и их алгоритмы, а затем переложить их решение на

[1] URL: https://www.allbau-software.de/phocadownload/Broschure_Allplan_Bridge.pdf

компьютер [11, 12]. Это возможно благодаря двум аспектам: при использовании BIM вся информация содержится в машиночитаемом виде, что позволит ее обрабатывать машинным способом, а также разработчики программного обеспечения предоставляют открытые библиотеки функций и классов (API) для простой интеграции дополнительных приложений и плагинов в их разработки.

3. Автоматический подсчет объемов работ и ведомостей.

Благодаря представлению проектируемого объекта непосредственно в трехмерном цифровом виде появляется возможность вести автоматический подсчет прямо из информационной модели объемов работ, ведомостей элементов, спецификаций и прочей строительной информации, необходимой для сметного обсчета, планирования работ на строительной площадке и пр.

Эта особенность также позволит разгрузить инженеров, ускорить сбор и обработку строительной информации и, что немаловажно, увеличить точность подсчетов. Ранее такие подсчеты могли содержать неточности, которые к тому же сопровождались различными коэффициентами запаса, вводящимися для перекрытия возможных упущений и неточностей подсчета объемов.

4. Сопряжение с расчетными комплексами.

Интеграция информационной модели в расчетные комплексы позволит проводить расчетный анализ мостового сооружения и ускорить расчеты конструкций за счет преобразования информационной модели в расчетную. Быстрое преобразование таких моделей позволяет проводить расчетный анализ в разных комплексах для исключения возможных ошибок и подтверждения результатов основной расчетной программы [13].

Следует учесть, что не каждая информационная модель может быть преобразована в расчетную [14]. Экспорт информационной модели в расчетные комплексы без какой-либо предварительной обработки может вызвать ряд проблем в виде некорректных расчетов и их непосредственной сложности из-за большого количества элементов модели. Решением этой проблемы может послужить укрупнение части модели для упрощения расчетов, либо параллельное выстраивание информационной и расчетной моделей.

Разработчики программного обеспечения (ПО) также добавляют встроенные возможности для расчетного анализа спроектированной конструкции (рис. 2), но, как правило, они не позволяют проводить большой объем расчетов. Тем не менее встроенные функции для расчетов могут применятся для быстрой проверки отдельных конструкций без использования стороннего ПО.

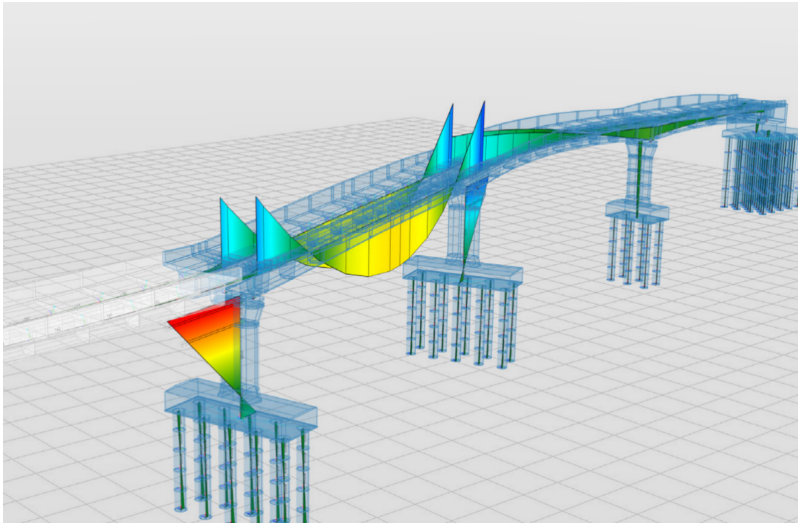


Рис. 2. Пример расчета пролетного строения
при надвижке в ALLPLAN BRIDGE[1]

5. Ускоренное определение коллизий со смежными проектировщиками

Одна из задач проектировщика – увязка проектных решений с элементами смежных систем. Если ранее это решалось на совещаниях и зачастую вовсе не обнаруживалось на этапе проектирования, то теперь есть возможность найти коллизии между сущностями информационной модели на более раннем этапе и избежать издержек от потенциального решения проблем на стройплощадке [15]. Чем раньше будет найдена коллизия, тем дешевле обойдется ее решение.

Применение возможностей на примере проектирования подмостей. На основании вышеперечисленных возможностей технологии BIM для автоматизации проектирования различных строительных объектов, в том числе мостовых сооружений, автором была разработана программа автоматизированного проектирования подмостей для сооружения ригеля мостовой опоры (рис. 3). Подмости служат несущей конструкцией для опалубки бетонируемого ригеля и рабочими проходами для работников строительной площадки на время монтажа конструкций опоры.

[1] URL: https://www.allbau-software.de/phocadownload/Broschure_Allplan_Bridge.pdf

В программе сочетаются параметрическое моделирование, автоматизация рутинных действий в процессе проектирования, автоматический подсчет количества различных сборок для указания в ведомости элементов, и автоматическое исключение коллизий проектируемых подмостей и мостовой опоры. Помимо этого, в программе создан блок для расчетного анализа подобранной конструкции, который при необходимости запускает подбор заново если конструкция не соответствует требуемым условиям.

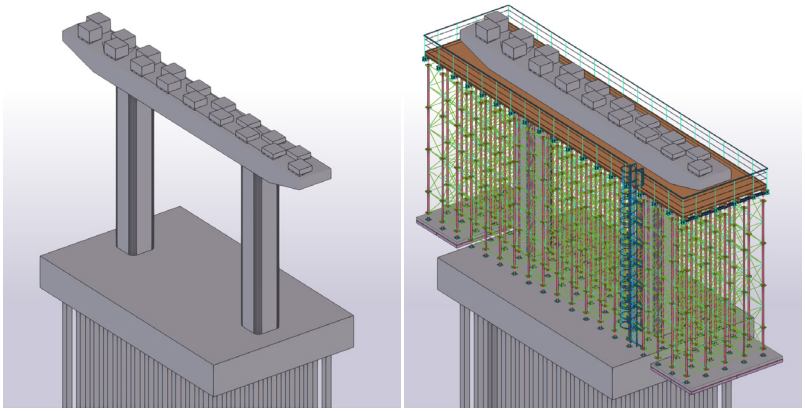


Рис. 3. Исходные данные и результат работы программы автоматизированного проектирования подмостей для монтажа ригеля мостовой опоры

Конструкция подмостей автоматически подбирается таким образом, чтобы ее элементы не имели коллизий с конструкцией самой опоры. При изменении высоты опоры, ее расположения или конфигурации модель подмостей автоматически перестраивается с учетом всех изменений. Соответственно все связанные ведомости элементов и спецификации пересчитываются и обновляются в пространстве чертежей.

Рабочие проходы, автоматически подобранные под конструкцию подмостей, соответствуют требованиям безопасности на стройплощадке (по ширине прохода и высоте перильного ограждения).

Заключение. Использование BIM в контексте автоматизации проектирования способно принести достаточно пользы для проектной организации в виде параметрического моделирования, автоматизации часто повторяющихся задач, а также сопряжения с различными расчетными комплексами. При этом необходимо учитывать, что пользователю,

желающему использовать все возможности BIM для автоматизации проектирования мостовых сооружений, необходимо владеть большим количеством знаний и навыков по работе с различным программным обеспечением и быть готовым всегда учиться новому, потому что технология постоянно совершенствуется и находится в стадии активного развития. Таким образом, порог входа является высоким.

Литература

1. *Райкова Л.С., Акимов М.Б.* Выбор автоматизированной системы для проектирования мостовых сооружений // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2015. № 2(5). С. 78–85. DOI: 10.17273/CADGIS.2015.2.12. EDN: ULNWSZ.

2. *Талапов В.В.* Основы BIM. Введение в информационное моделирование зданий. Саратов : Профобразование, 2017. 392 с. EDN: ZGKAKN.

3. *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. научно-практ. конф. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб. : СПбГАСУ, 2024. С. 196–203. DOI: 10.23968/BIMAC.2024.027. EDN: OGAOGO.

4. *Квитко А.В., Козак Н.В.* Информационные технологии в современном строительстве искусственных транспортных сооружений // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : мат-лы Всеросс. научно-практ. конф. СПб. : СПбГАСУ, 2018. С. 117–123. EDN: YUXMMR.

5. *Баженов А.А.* Информационные технологии при строительстве автомобильных дорог // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : мат-лы IV Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб. : СПбГАСУ, 2021. С. 72–76. DOI: 10.23968/BIMAC.2021.008. EDN: AWSBTB.

6. *Козак Н.В., Ярошутин Д.А.* BrIM или BIM: Особенности концепции информационного моделирования мостовых сооружений // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : мат-лы III Междунар. научно-практ. конф. СПб. : СПбГАСУ, 2020. С. 245–253. DOI: 10.23968/BIMAC.2020.032. EDN: JWQOIY.

7. *Валиуллина С.А., Овчинников И.Г.* Проблемы внедрения BIM-технологий в транспортном строительстве // Химия. Экология. Урбанистика. 2021. Т. 3. С. 177–180. EDN: ZRPPTI.

8. *Бузало Н.А., Царитова Н.Г., Платонова И.Д., Лысенко В.Н.* Параметрическое моделирование конструкций в среде визуального программирования // Вестник евразийской науки. 2021. Т. 13, № 4. EDN: PSJZHP.

9. *Смирнова О.В., Вин К.М.Т.* Адаптивный подход к проектированию стальных мостов в Мьянме путем интеграции информационного и параметрического моделирования // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т. 26, № 6. С. 188–200. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-6-188-200. EDN: UUPYBD.

10. *Клековкин Е.А.* Параметризация моделирования каркасов одноэтажных промышленных зданий с балочной системой покрытия в среде Grasshopper //

Информационное моделирование в задачах строительства и архитектуры : мат-лы VII Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб. : СПбГАСУ, 2024. С. 340–347. DOI: 10.23968/BIMAC.2024.046. EDN: CGIKEJ.

11. *Баранчук М.Ю.* Совершенствование системы информационного моделирования строительства при помощи программных дополнений // Информационное моделирование в задачах строительства и архитектуры : мат-лы VII Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб. : СПбГАСУ, 2024. С. 297–303. DOI: 10.23968/BIMAC.2024.040. EDN: RVBIVE.

12. *Дивин Н.В., Дьяков С.Ф., Савченко А.В.* Программирование как метод автоматизации ПК Revit // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : мат-лы IV Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб. : СПбГАСУ, 2021. С. 127–134. DOI: 10.23968/BIMAC.2021.016. EDN: VJDQOH.

13. *Адылов А.М., Овчинников И.И., Овчинников И.Г., Мандрик-Котов Б.Б.* Обеспечение достоверности результатов компьютерного моделирования поведения мостовых конструкций // Транспортные сооружения. 2019. Т. 6, № 3. С. 28. EDN: YTFSCS.

14. *Пушкарев И.А., Евсягина В.А., Шанина Т.С.* Использование программных комплексов конечно-элементного анализа и BIM-технологий при расчете элементов строительных конструкций // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : мат-лы VI Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб. : СПбГАСУ, 2023. С. 378–382. DOI: 10.23968/BIMAC.2023.052. EDN: NUMIMZ.

15. *Горовой Н.В., Рудный И.А., Марданов И.А.* Методика междисциплинарного взаимодействия специалистов при разработке информационной модели здания // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : мат-лы V Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб. : СПбГАСУ, 2022. С. 58–63. DOI: 10.23968/BIMAC.2022.007. EDN: WKIEZQ.

УДК 721.011+004.94
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.051

Зайкова Екатерина Андреевна, магистрант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: zaikova.ekaterina@mail.ru

Zaikova Ekaterina Andreevna, Master's degree student
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА И УСТРАНЕНИЯ КОЛЛИЗИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

MODERN METHODS FOR ANALYZING AND RESOLVING CLASHES IN THE DESIGN OF STEEL STRUCTURES

В статье рассматриваются причины появления коллизий при проектировании в моделях металлических конструкций, а также подробнее рассматриваются часто встречающиеся коллизии. Проводится анализ основных факторов, влияющих на появление пересечений элементов, включая совместную работу в модели, изменения в проектной документации, применений сложных инструментов моделирования. Предложен метод группировки коллизий по весу пересекающихся объектов, позволяющий снизить трудозатраты на их анализ и обработку. Представлено пользовательское приложение для автоматизации проверки коллизий модели, повышающее эффективность проектирования и сокращающее ошибки, связанные с человеческим фактором.

Ключевые слова: Tekla Structures, C#, коллизии, автоматизация проектирования, BIM, металлические конструкции.

The article examines the causes of clashes during the design of steel structures in models, with a detailed analysis of common clashes. The main factors influencing the occurrence of element intersections are analyzed, including multi-user work on the model, changes in project documentation, and the use of complex modeling tools. A method of grouping clashes based on the weight of intersecting objects is proposed, which reduces the labor costs for their analysis and processing. A custom application for automating model clash checks is presented, improving design efficiency and reducing errors associated with human factors.

Keywords: Tekla Structures, C#, clashes, design automation, BIM, steel structures.

Современное проектирование зданий и сооружений требует высокого качества 3D моделей, особенно при использовании технологий информационного моделирования. В проектах важно своевременно выявлять и устранять коллизии — пересечения элементов конструкций, которые могут привести к ошибкам на этапах производства и возведения объекта. Одним из популярных программных решений для BIM-проектирования является Tekla Structures (TS), предоставляющее большое количество инструментов для работы с моделями конструкций металлических деталировочных (КМД) [1].

Существует несколько причин появления коллизий в проектах. Прежде всего при совместной разработке одной модели несколькими инженерами, информация в общей модели может обновляться с задержкой. Из-за этого два инженера могут вносить несогласованные изменения в одном месте модели, что приведет к коллизиям. Также одна модель может разрабатываться на основе нескольких разных комплектах проектной документации (отдельные проекты конструкций металлических (КМ) на основной каркас здания, на фахверк и т.д.), при этом после разработки модели изменения могут быть внесены только в один проект, а не во все. Внесение таких изменений в модель может повлечь за собой коллизии между измененной частью модели и той частью, что не изменялась [2].

В больших проектах с высокой повторяемостью элементов конструкций и узлов сопряжений, коллизии не только обусловлены одновременной работой нескольких инженеров, но и применением сложных инструментов моделирования. Примером может служить модель покрытия склада с габаритами 170×120 м, представленная на рис. 1. Покрытие включает в себя стальные прогоны, вертикальные и горизонтальные связи, стропильные и подстропильные фермы, опирающиеся через надколонники на железобетонные колонны. Стропильные и подстропильные фермы представляют из себя компонент типа деталь. Этот инструмент TS позволяет копировать группы одинаковых элементов в модели, с возможностью их последующего изменения (также во всей модели). Этот инструмент экономит время, но в случае, если компонент содержит коллизии, то они также будут скопированы по всей модели.

Второй источник коллизий в подобных моделях – регулировочные прокладки, например в узлах опирания ферм или во фланцевых узлах. Такие прокладки изначально вносятся в модель в коллизии с фланцем узла опирания и копируются по всей модели его компонентом. Таким образом в модели образуется много одинаковых по сути коллизий.

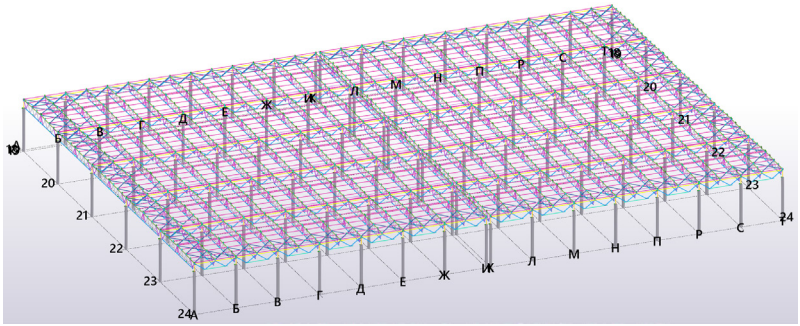
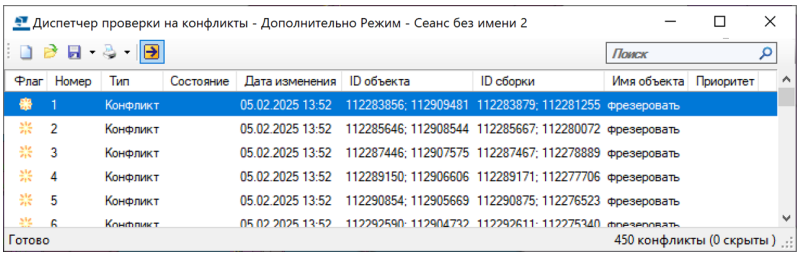


Рис. 1. Покрытие склада из металлоконструкций по железобетонным колоннам

TS также имеет инструмент поиска коллизий – «Диспетчер проверки на конфликты». Он автоматически классифицирует коллизии по типам. Результаты проверки выводятся в форме таблицы и их можно показывать в модели, изменять состояние и приоритет конфликта. Каждый сеанс поиска конфликтов можно отдельно сохранить и в дальнейшем вернуться к нему. В параметрах есть детальные настройки поиска конфликтов, где можно задать минимальный объем коллизии, области зазора между болтами и т.д. Окно сведений о конфликтах (см. рис. 2) отображает атрибуты каждого элемента отдельно, имеет возможность добавлять комментарии к конфликту и просматривать историю. Исходя из опыта проектирования металлических конструкций промышленных и общественных зданий, данный инструментарий излишен, и не используется в работе.



Флаг	Номер	Тип	Состояние	Дата изменения	ID объекта	ID сборки	Имя объекта	Приоритет
	1	Конфликт		05.02.2025 13:52	112283856; 112909481	112283879; 112281255	фрезеровать	
	2	Конфликт		05.02.2025 13:52	112285646; 112908544	112285667; 112280072	фрезеровать	
	3	Конфликт		05.02.2025 13:52	112287446; 112907575	112287467; 112278889	фрезеровать	
	4	Конфликт		05.02.2025 13:52	112289150; 112906606	112289171; 112277706	фрезеровать	
	5	Конфликт		05.02.2025 13:52	112290854; 112905669	112290875; 112276523	фрезеровать	
	6	Конфликт		05.02.2025 13:52	112292590; 112904732	112292611; 112275340	фрезеровать	

Рис. 2. Окно «Диспетчера проверки на конфликты»

Встроенные средства проверки коллизий не всегда удобны и требуют приложения дополнительных усилий со стороны проектировщика. Количество коллизий в модели может достигать нескольких сотен, а стандартные атрибуты не позволяют эффективно их сортировать. Проверка

каждой коллизии вручную в этом случае занимает много времени. Одно из решений проблемы – написание пользовательского приложения, расширяющего стандартный функционал поиска и обработки коллизий в модели [3, 4].

Чтобы сократить количество проверяемых коллизий предлагается сгруппировать одинаковые по сути коллизии. Таким образом не придется вручную просматривать все одинаковые коллизии, что сократит время их исправления. В качестве критерия группировки будет использоваться сумма весов пересекающихся объектов. Для моделей металлических конструкций это релевантный метод, так как все объекты модели выполнены из одного материала – стали. Например, в случае пересечения регулировочных прокладок с фланцами сумма пересекающихся объектов в каждом узле будет одинаковая. Также и для случайных коллизий, содержащихся в компонентах, сумма весов будет одинаковая, так как во всей модели элементы компонента одинаковые. А для исправления такой коллизии потребуется исправить сам компонент один раз без необходимости просматривать все коллизии скопированного в модели компонента.

Для автоматизации рутинных задач проверки коллизий в модели разработано приложение ClashChecker. Разработка приложения велась в интегрированной среде разработки (Integrated Development Environment, IDE) Visual Studio. Она позволяет создавать, редактировать, отлаживать и тестировать разрабатываемое приложение. Среда является одной из самых популярных IDE для разработки приложений на платформе .NET Framework.

Для интеграции TS с приложением использовался открытый интерфейс Tekla Open API. С помощью него происходит подключение приложения к модели, взаимодействие с объектами и событиями модели. Технология включает в себя описание открытых классов и методов сущностей TS, позволяет на их основе писать приложения для автоматизации работы в TS. Для написания приложения выбран язык C# (также доступен Visual Basic). Он наиболее распространен и имеет больше примеров применения для написания приложений с использованием Tekla Open API.

Приложение выполняет нижеперечисленные функции.

1. Информирование о состоянии приложения.

В нижнем левом углу окна приложения выведена информационная строка. Подобное решение интерфейса реализовано в программе TS и будет понятно и удобно для пользователя. В строке выводится информация о подключенной модели, о количестве коллизий и т.д.

2. Поиск коллизий в модели.

После выбора элементов модели приложение ищет пересекающиеся объекты и формирует список коллизий, представленный в форме таблицы. Каждая строка – отдельная коллизия. В столбцах – информация об объектах и коллизии.

3. Сортировка коллизий.

Список коллизий содержит столбец с суммой весов пересекающихся объектов. По его значениям реализована возможность сортировки от большего веса к меньшему.

4. Группировка коллизий.

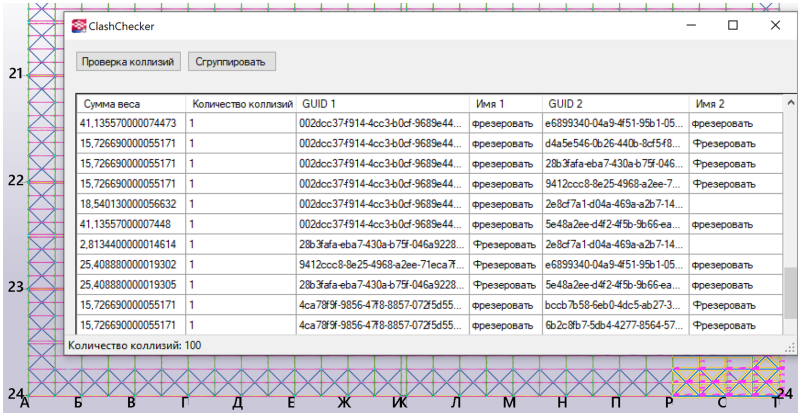
Коллизии, имеющие одинаковую сумму веса пересекающихся объектов, отображаются в одной строке. В столбце «Количество коллизий» отражено количество коллизий с одинаковым весом пересекающихся объектов для каждой группы коллизий.

В ходе тестирования приложения на модели склада было наглядно продемонстрировано сокращение числа коллизий, которые необходимо проверить вручную. В модели было выбрано произвольное количество объектов и запущена проверка на коллизии. Было найдено 100 коллизий, см. рис. 3. Количество найденных коллизий приложением ClashChecker совпало с количеством коллизий, найденных стандартным «Диспетчером проверки на конфликты». Это обусловлено тем, что в приложении используются методы Model.GetClashCheckHandler(), ClashCheckHandler.RunClashCheck(), ClashCheckData.Object.GetReportProperty() описанные в Tekla Open API[1].

После группировки коллизий было найдено 25 групп коллизий с разными суммами весов пересекающихся объектов, см. рис. 4. Из списка видно, что в модели есть как уникальные коллизии, количество коллизий в таких группах равно единице, так и повторяющиеся коллизии. Ручная проверка групп с несколькими коллизиями показала, что все коллизии в рамках одной группы были одинаковыми, и образовывались из-за пересечения одинаковых по геометрии объектов.

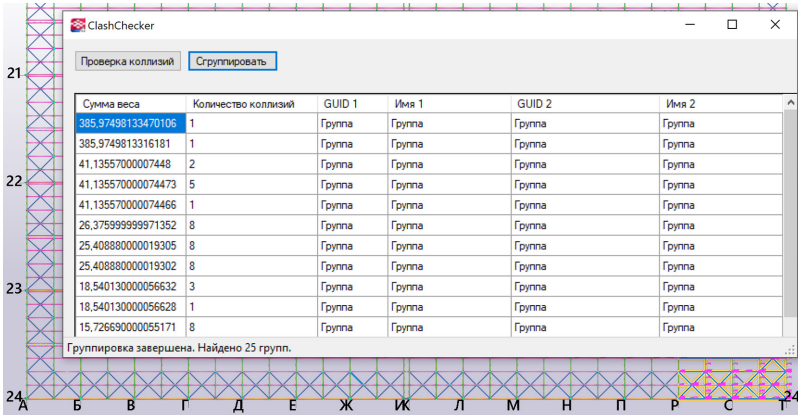
Реализованное приложение ClashChecker выполняет все необходимые функции. Автоматизация процесса поиска и обработки коллизий в модели сокращает время проектирования и позволяет сократить количество ошибок, связанных с человеческим фактором. Процесс проверки коллизий становится менее трудоемким, так как сокращается количество коллизий, которые необходимо найти в модели и проанализировать.

[1] Сайт Tekla Developer Center. URL: https://developer.tekla.com/doc/tekla-structures/2023/clash-check-handler-class-17542 (дата обращения: 04.02.2025).



Сумма веса	Количество коллизий	GUID 1	Имя 1	GUID 2	Имя 2
41,135570000074473	1	002dcc37f914-4cc3-b0cf-9689e44...	фрезеровать	e6899340-04a9-4f51-95b1-05...	фрезеровать
15,726690000055171	1	002dcc37f914-4cc3-b0cf-9689e44...	фрезеровать	d4a5e546-0b26-440b-8cf5f8...	Фрезеровать
15,726690000055171	1	002dcc37f914-4cc3-b0cf-9689e44...	фрезеровать	28b3fafa-eba7-430a-b75f-046...	Фрезеровать
15,726690000055171	1	002dcc37f914-4cc3-b0cf-9689e44...	фрезеровать	9412ccc8-8e25-4968-a2ee-7...	Фрезеровать
18,540130000056632	1	002dcc37f914-4cc3-b0cf-9689e44...	фрезеровать	2e8cf7a1-d04a-469a-a2b7-14...	
41,13557000007448	1	002dcc37f914-4cc3-b0cf-9689e44...	фрезеровать	5e48a2ee-d4f2-4f5b-9b66-ea...	фрезеровать
2,81344000000014614	1	28b3fafa-eba7-430a-b75f-046a9228...	Фрезеровать	2e8cf7a1-d04a-469a-a2b7-14...	
25,408880000019302	1	9412ccc8-8e25-4968-a2ee-71eca7f...	Фрезеровать	e6899340-04a9-4f51-95b1-05...	фрезеровать
25,408880000019305	1	28b3fafa-eba7-430a-b75f-046a9228...	Фрезеровать	5e48a2ee-d4f2-4f5b-9b66-ea...	фрезеровать
15,726690000055171	1	4ca78f9f-9856-47f8-8857-072f5d55...	фрезеровать	bccb7b58-6eb0-4dc5-ab27-3...	Фрезеровать
15,726690000055171	1	4ca78f9f-9856-47f8-8857-072f5d55...	фрезеровать	6b2c8fb7-5db4-4277-8564-57...	Фрезеровать

Рис. 3. Список коллизий до группировки



Сумма веса	Количество коллизий	GUID 1	Имя 1	GUID 2	Имя 2
385,97498133470106	1	Группа	Группа	Группа	Группа
385,9749813316181	1	Группа	Группа	Группа	Группа
41,13557000007448	2	Группа	Группа	Группа	Группа
41,135570000074473	5	Группа	Группа	Группа	Группа
41,135570000074466	1	Группа	Группа	Группа	Группа
26,375999999971352	8	Группа	Группа	Группа	Группа
25,408880000019305	8	Группа	Группа	Группа	Группа
25,408880000019302	8	Группа	Группа	Группа	Группа
18,540130000056632	3	Группа	Группа	Группа	Группа
18,540130000056628	1	Группа	Группа	Группа	Группа
15,726690000055171	8	Группа	Группа	Группа	Группа

Рис. 4. Список коллизий после группировки

В дальнейшем необходимо проанализировать случаи, когда могут возникнуть разные коллизии, образованные объектами с одинаковым весом. Также можно рассмотреть анализ коллизий с помощью визуального программирования (Grasshopper) и по другим характеристикам объектов. В статье [5] предложен метод группировки коллизий по объему коллизии, его можно рассмотреть в качестве развития и улучшения приложения.

Литература

1. *Погодина П.В., Ищук Ю.П.* BIM-проектирование металлоконструкций сравнение программ Advance steel и Tekla // Научные труды КубГТУ. 2020. № 8. С. 881–892. EDN: POTZOB.

2. *Tommelein I.D., Gholami S.* Root Causes of Clashes in Building Information Models // Proceedings of the 20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. San Diego, USA, 2012. P. 121–130.

3. *Рычина С.А., Ахмедова Л.Н.* Пользовательские проверки контроля качества информационной модели в части металлических конструкций // Цифровая трансформация социальных и экономических систем : мат-лы Междунар. научно-практ. конф. М. : Московский университет им. С.Ю. Витте, 2024. С. 880–889. EDN: KXUTJP.

4. *Лемеза В.А., Зверева О.М., Придвижкин С.В., Новиков И.В.* Автоматизация контроля качества цифровых информационных моделей объектов строительства // Современные наукоемкие технологии. 2023. № 6. С. 62–66. DOI: 10.17513/snt.39632. EDN: QMGJAW.

5. *Зайкова Е.А.* Автоматизация поиска и обработки коллизий в САПР для проектирования металлических конструкций // Новые информационные технологии в архитектуре и строительстве : мат-лы VII Междунар. научно-практ. конф. Екатеринбург : УрГАХУ им. Н.С. Алферова, 2024. С. 36. EDN: PEOWMT.

УДК 004.4+711.1
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.052

Иващенкова Юлия Андреевна, магистрант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: ivashchenkova.y@mail.ru

Ivaschenkova Yulia Andreevna, Master's degree student
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)

ВОЗМОЖНОСТИ ИНТЕГРАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

OPPORTUNITIES FOR INTEGRATING BUILDING INFORMATION MODELING TECHNOLOGY AND GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS

В статье исследуется совместное использование ТИМ и ГИС для повышения точности и эффективности проектирования, визуализации и управления строительными проектами и городской инфраструктурой. Приведён обзор особенностей, преимуществ и различий этих систем, а также обозначены области их применения в строительстве и городском планировании. Рассмотрены преимущества создания цифровых двойников, отражающих не только конструктивные, но и пространственные характеристики объектов недвижимости, и раскрыты возможности таких моделей для управления эксплуатацией объектов и городской среды. Приведены примеры практической реализации интеграции на основе современных картографических сервисов (Яндекс.Карты, 2ГИС), проиллюстрированы возможности пространственного анализа и детализации представления городской инфраструктуры.

Ключевые слова: ТИМ, ГИС, цифровой двойник, иммерсивные карты, интеграция, оптимизация моделей.

The article explores the combined use of BIM and GIS to enhance accuracy and efficiency in the design, visualization, and management of construction projects and urban infrastructure. It provides an overview of the features, advantages, and differences between these systems, outlining their applications in construction and urban planning. The advantages of creating digital twins that reflect both structural and spatial characteristics of real estate objects are considered, along with opportunities for using such models in managing the operation of buildings and urban environments. Practical examples of integration based on modern mapping services (Yandex.Maps, 2GIS) are presented,

illustrating the possibilities of spatial analysis and detailed visualization of urban infrastructure.

Keywords: BIM, GIS, digital twin, immersive maps, integration, model optimization.

Целью исследования является выявление возможностей интеграции технологий информационного моделирования и геоинформационных систем для повышения проектных решений и управления объектами недвижимости.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

– рассмотреть особенности ТИМ и ГИС, выделить их преимущества и области применения;

– проанализировать различия между ТИМ и ГИС, в частности, их цели применения, типы используемых данных и стандарты;

– описать методы интеграции ТИМ и ГИС;

– рассмотреть примеры практического применения.

Актуальность исследования обусловлена постоянным развитием картографических сервисов и непрерывным пополнением их новыми данными и функциями. Совсем недавно в популярных картографических сервисах (например, 2ГИС) появились детальные планировки зданий, что расширяет возможности интеграции пространственных данных с цифровыми моделями объектов и актуализирует совместное использование технологий ТИМ и ГИС.

Научная новизна работы заключается в обосновании актуальности и определении возможностей интеграции ТИМ и ГИС на фоне динамично развивающихся картографических сервисов, которые регулярно дополняются новыми пространственными данными, что позволяет создавать более детализированные цифровые двойники объектов недвижимости и значительно повышать качество управления строительными проектами и городской инфраструктурой.

Цифровые технологии кардинально меняют подход к проектированию, строительству и эксплуатации объектов недвижимости. В центре этих преобразований находятся две ключевые парадигмы – технология информационного моделирования (ТИМ) и геоинформационные системы (ГИС), каждая из которых предоставляет уникальные возможности для управления данными и принятия обоснованных решений.

ТИМ – это комплексный подход к созданию цифровой модели здания, который охватывает не только трёхмерное представление объекта, но и интегрирует данные о материалах, инженерных системах, конструктивных решениях и эксплуатационных характеристиках [1]. Современные

методики ТИМ включают рассмотрение различных измерений проектирования – от 3D до 7D, что позволяет учитывать временные, финансовые и эксплуатационные аспекты проекта. Благодаря этому подходу можно на ранних стадиях выявлять потенциальные конфликты, оптимизировать проектные решения и существенно сократить затраты на строительство и последующую эксплуатацию. Важным элементом является информационное наполнение модели, которое позволяет не только создавать точные цифровые образы зданий, но и обеспечивать эффективный обмен данными между участниками проекта. Это, в свою очередь, способствует повышению качества проектных решений и сокращению числа ошибок на всех этапах жизненного цикла объекта.

ГИС представляют собой системы для сбора, хранения, обработки и анализа пространственных данных, позволяющие привязать информацию к конкретным географическим координатам [2]. Такая привязка играет важную роль в городском планировании и управлении территориальными ресурсами. ГИС позволяют проводить пространственный анализ, выявлять закономерности, а также моделировать влияние различных факторов на инфраструктуру.

Совместное использование ТИМ и ГИС позволяет создать цифровые модели, объединяющие детальную информацию о здании с его пространственным окружением. Такая интеграция открывает новые перспективы в управлении объектами – от анализа эксплуатационных расходов до планирования реконструкций и оптимизации городской инфраструктуры. Преимущества данного подхода заключаются в том, что объединенная модель предоставляет полное представление об объекте, учитывая как его конструктивные особенности, так и географическое положение, что способствует принятию более обоснованных управленческих решений. Таким образом, интеграция ТИМ и ГИС становится мощным инструментом для реализации концепции «цифрового двойника», позволяя проводить иммерсивный анализ и обеспечивать высокий уровень детализации данных.

Эти современные технологии, объединённые в единую информационную среду, играют ключевую роль в повышении эффективности проектирования, строительства и эксплуатации объектов, способствуя развитию городской инфраструктуры и оптимизации процессов управления недвижимостью [3].

ТИМ и ГИС являются двумя совершенно различными системами в сфере их применения, а также разнятся используемые ими инструменты и стандарты .Основное различие между ГИС и ТИМ является то, что ТИМ – это графическая программа, используемая для проектирования

объектов с высоким уровнем геометрической детализации, в то время как ГИС представляет собой систему с использованием баз данных для моделирования больших географических местностей реального мира городского, регионального и межнационального масштаба. При совместном использовании ТИМ и ГИС могут быть улучшены процессы проектов строительства за счет визуализации уже спроектированных объектов, что поможет обнаружить возможные пересечения [4]. В табл. 1 показана область применения этих двух систем.

Таблица 1

Различия ТИМ и ГИС

	ТИМ	ГИС
Цель	Цифровое представление, используемое для проектирования, строительства и управления	Захватывает, хранит, анализирует, управляет и представляет данные, связанные с расположением
Продукт	Представляют несуществующие объекты	Представление пространственного объекта
Пространственный анализ	Нет пространственного анализа	Пространственный анализ
Пользователи	Один пользователь	Несколько пользователей в одном наборе данных
Тип данных	Отдельные файлы чертежей (2D или 3D)	Карты, объединённые в несколько наборов функций (улиц, зданий, топографические); много типов данных (фото, видео, базы данных)
Стандарты	IFC	OGC WMS, WFS, GML, CityGML

Основной задачей интеграции ТИМ и ГИС является устранение вышеуказанных ограничений. Объединение возможностей ТИМ – создания подробных трёхмерных моделей с информационным наполнением – с пространственными данными ГИС позволяет сформировать «цифровой двойник» объекта. Такая модель не только отражает геометрию здания, но и содержит сведения об инженерных системах и эксплуатационных параметрах. В результате интегрированная система дает возможность

проводить комплексный анализ объекта с учетом его физического положения, что существенно повышает качество управленческих решений.

Объединение ТИМ и ГИС позволяет не только повысить точность проектных решений, но и значительно улучшить качество управления объектами. Интегрированные системы обеспечивают более глубокий анализ эксплуатационных расходов, позволяют оперативно реагировать на изменения в инфраструктуре и способствуют развитию устойчивых городских систем [5]. Примеры практического применения таких интегрированных моделей можно наблюдать в ряде современных проектов, где объемные модели зданий успешно внедряются в цифровые карты, а внутренние планировки интегрируются с ГИС для управления потоками людей и ресурсов.

Один из методов интеграции ТИМ и ГИМ включает следующие этапы:

– предварительная подготовка: создание ТИМ-модели;

– оптимизация: автоматизация и упрощение модели с помощью Dynamo и Blender для снижения объема данных без потери ключевых элементов;

– экспорт и геопривязка: сохранение модели в стандартизированном формате с корректной привязкой к реальным координатам;

– интеграция с ГИС: конвертация экспортированных данных в совместимый формат для дальнейшей визуализации и анализа в ГИС-системах;

– контроль качества: проверка точности и актуальности данных посредством наложения цифровой модели на реальные карты.

Применение данного подхода позволяет обеспечить эффективную интеграцию ТИМ и ГИС, создавая надежные цифровые двойники объектов, что способствует повышению точности проектных решений и оптимизации процессов управления объектами.

Объёмные изображения зданий и памятников позволяют увидеть привычные места с новых ракурсов или познакомиться с городами, рассмотрев достопримечательности в деталях.

Все объекты детально проработаны: видны основные особенности архитектуры, цвета и тени. Вокруг них «растут» объёмные деревья, размер и расположение которых соответствуют действительности (рис. 1).

На более близких масштабах модели становятся ещё детальнее: видны нюансы архитектуры зданий – колонны, фронтоны, крыши, окна, балконы, площадное остекление и даже иногда вывески. Одним словом, все необходимые элементы узнаваемого образа зданий, помогающие передать ощущение их масштаба по отношению к другим объектам в городе.

Правильно воспринимая масштабы объектов вокруг, пользователь лучше ощущает и расстояния до них, значит – может легче сориентироваться в текущей обстановке, а это одна из главных задач, которую решает интуитивно-понятная карта (рис. 2).

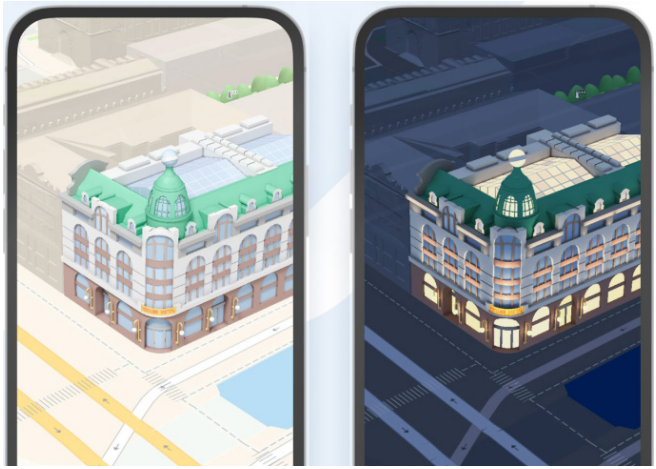


Рис. 1. Пример представления объекта в Яндекс.Картах



Рис. 2. Детализированное представление объекта в Яндекс.Картах

В отличие от обычных поэтажных планов, 3D-карты 2ГИС отображают не только общую структуру здания, но и детали помещений, включая стойки регистрации, эскалаторы, лифты, торговые киоски, банкоматы, выходы на посадку и другие важные объекты (рис. 3). Это позволит пользователям легче ориентироваться внутри крупных зданий, особенно при использовании функции построения маршрутов внутри помещений.

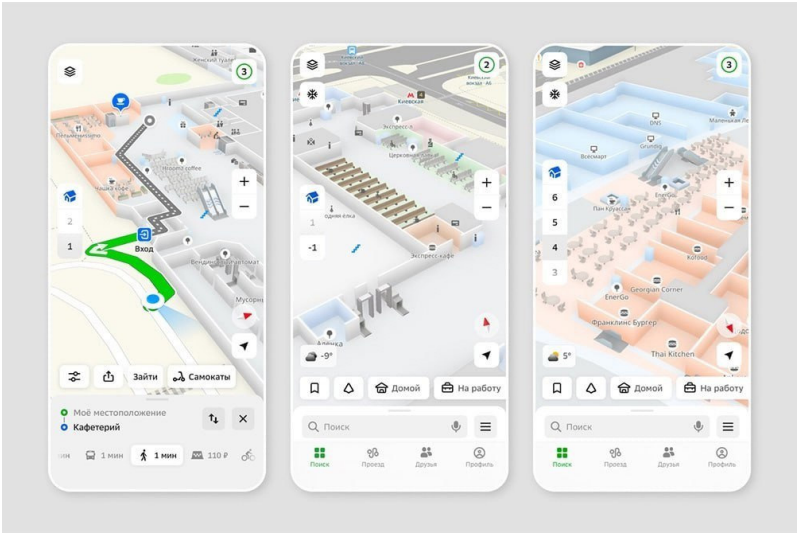


Рис. 3. Планировка здания в 2GIS

Таким образом, интеграция ТИМ и ГИС позволяет создать эффективную систему управления недвижимостью и инфраструктурой, что особенно актуально в условиях развивающихся городов.

Литература

1. *Талапов В.В.* Основы BIM. Введение в информационное моделирование зданий. 2-е изд. Саратов : Профобразование, 2017. 392 с.

2. *Райкин Л.И., Стефанова М.В., Беленкова Н.С., Заплатина А.А.* Объединение возможностей технологий BIM и GIS // КОГРАФ - 2020: сб. мат-лов 30-й Всероссийской научно-практической конференции по графическим информационным технологиям и системам. Нижний Новгород : НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2020. С. 261–265. DOI: 10.46960/43791586_2020_261. EDN: QFGOBC.

3. *Грибкова И.С., Белоконь И.А.* Перспективы интеграции ГИС и BIM технологий для использования в области земельно-имущественных отношений // Современные проблемы и перспективы развития земельно-имущественных

отношений: сб. статей по мат-лам III Всеросс. научно-практи. конф. Краснодар : КубГАУ им. И.Т. Трубилина, 2021. С. 13–16. EDN: UZQYMX.

4. *Малиновский М.А., Ершов А.В., Аленин И.Э.* Проблемы и перспективы применения BIM-технологий для создания виртуальных моделей городов в формате 3D ГИС // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2021. Т. 7, № 1. С. 223–231. EDN: IKAWWZ.

5. *Яскевич В.В., Ходжиков А.В.* Информационное моделирование и геоинформационные системы в современном городском планировании // Проблемы современной урбанизации: преемственность и новации : сб. статей Междунар. конф. М. : Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 2022. С. 217–226. EDN: WOUAQZ.

УДК 004.942+69.059
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.053

Пешеков Михаил Сергеевич, студент
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: 23003311@edu.spbgasu.ru, ORCID: 0009-0008-6323-5524

Peshekov Mikhail Sergeevich, student
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)

ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТ ПО РЕКОНСТРУКЦИИ ЖИЛОГО ФОНДА ДОРЕВОЛЮЦИОННОЙ ПОСТРОЙКИ

ASSESSMENT OF THE FEASIBILITY OF USING DIGITAL TECHNOLOGIES IN THE ORGANIZATION OF RECONSTRUCTION OF PRE-REVOLUTIONARY HOUSING STOCK

Обоснована необходимость внедрения цифровых технологий в организацию реконструкции жилого фонда дореволюционной постройки. Для проведения оценки целесообразности применения цифровых технологий в организации реконструкции жилого фонда дореволюционной постройки отобраны цифровые технологии наиболее эффективно проявившие себя на рынке строительства. Предложен метод повышения качества организационно-технологических решений в организации реконструкции зданий и сооружений, алгоритм системно-структурного подхода к переходу в цифровую экономику.

Ключевые слова: BIM, ТИМ, цифровые технологии, реконструкция жилого фонда, цифровая трансформация.

The necessity of introducing digital technologies in the organization of reconstruction of pre-revolutionary housing stock is substantiated. To assess the feasibility of digital technologies in the organization of reconstruction of pre-revolutionary housing stock, the digital technologies that have proved to be the most effective on the construction market are selected. The method of improving the quality of organizational and technological solutions in the organization of reconstruction of buildings and structures, the algorithm of system-structural approach to the transition to the digital economy is proposed.

Keywords: BIM, TIM, digital technologies, reconstruction of housing stock, digital transformation.

Организация работ по реконструкции жилого фонда дореволюционной постройки требует индивидуального подхода к каждому проекту. Причиной послужили нестандартные планировки зданий, их архитектурные изыски, возможное наличие статуса объекта культурного наследия. Нередко эти здания находятся именно в стесненных условиях плотной городской застройки, что создает проблему размещения складских площадей и обязывает застройщика организовывать работы «с колес», что автоматически несет в себе риски несвоевременного снабжения объекта ресурсами [1]. Помимо прочего, необходимо провести тщательную оценку технического состояния здания перед началом работ. Несущие конструкции имеют различные дефекты, как возрастные, так и приобретенные. Традиционные методы организации реконструкции недостаточно эффективны, приводят к задержкам, перерасходу бюджета и некачественному выполнению работ.

Цифровизация капитального строительства – неизбежный шаг на пути вступления государства в цифровую экономику, в соответствии с Указом Президента Российской Федерации 07.05.2024 г. № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года». Данные, сформированные и хранящиеся в цифровом виде являются ключевым фактором экономического роста государства, повышения конкурентоспособности на мировой экономической арене и укрепления национального суверенитета страны.

Целью данного исследования является оценка целесообразности и эффективности применения цифровых технологий в организации работ по реконструкции жилого фонда дореволюционной постройки, определение весомости фактор, ограничивающих применение данных технологий на сегодняшний день.

Для достижения целей исследования был проведен экспертный опрос оценки весомости факторов, ограничивающих внедрение цифровых технологий в организацию реконструкции зданий и сооружений. В опросе принял участие 51 эксперт, связанный с ТИМ, реконструкцией, капитальным ремонтом и новым строительством (табл. 1).

Таблица 1

Сведения об экспертах, принявших участие в опросе

Контрольные характеристики		% от общего числа респондентов	В абсолютных значениях
Пол	Мужской	45,1	23
	Женский	54,9	28
Опыт работы	1–3 года	41,2	21
	3–10 лет	33,3	17
	10 лет и более	25,5	13
Специальность	Проектировщик	19,6	10
	Архитектор	5,9	3
	Руководитель организации/ отдела	21,6	11
	ГИП/ГАП	15,7	8
	Инженер	37,3	19

В качестве цифровых технологий были рассмотрены: 3D-моделирование; лазерное сканирование; 4D-моделирование; цифровые датчики измерения напряжения и деформаций. Остановимся на каждом поподробнее:

1) 3D-моделирование инструмент, позволяющий создать виртуальную модель здания и провести визуализацию реконструированного объекта. Каждый элемент 3D-модели наделяется необходимой информацией для проектировщика об объекте, что упрощает процесс составления спецификаций, ведомостей объемов работ и уменьшает количество несоответствий с реальной картиной;

2) лазерное сканирование является современным и эффективным инструментом сбора пространственных данных о сложных архитектурных элементах и геометрических формах здания, что особенно актуально для домов дореволюционной постройки. По результатам лазерного сканирования формируется облако точек, применение которого значительно упрощает процесс переноса существующего здания в цифровую реальность. Помимо возможности применения в целях дальней разработки цифровой модели объекта, приборы наземного лазерного сканирования также эффективно проявляют себя в качестве геодезических средств измерений

при мониторинге зданий в период проведения строительно-монтажных работ [2];

3) 4D-моделирование представляет собой синтез 3D-модели с календарным графиком производства работ, что позволяет визуализировать строительно-монтажные работы и предупредить ошибки календарного планирования. 4D-моделирование получило распространение при организации управленческих решений уникальных, масштабных и технически сложных объектов, при этом все еще ограничено применение в строительстве жилых и общественных зданий [3]. Визуализация строительства позволяет произвести компьютерную имитацию различных вариаций организации строительно-монтажных работ, определить риски и выбрать наиболее целесообразный вариант метода производства работ;

4) цифровые датчики измерения напряжения и деформаций применяются для оценки напряженно-деформированного состояния и выдачи предупреждающего сигнала при превышении упругой зоны деформации и перехода в зону необратимой деформации.

Респондентам были представлены на оценку по значимости внешние и внутренние факторы, ограничивающие внедрения цифровых технологий в реконструкции зданий и сооружений, а именно: нехватка квалифицированных специалистов, высокая стоимость выполнения работ, проблема интероперабельности и необходимость перестройки управленческих решений организации.

Эксперты дали высокую оценку всем приведенным факторам вместе, выделив как наиболее значимые – нехватку квалифицированных специалистов на рынке труда (7,51) и стоимость работ и оборудования (7,43). Диаграммы распределения оценок наиболее высоко-оцененных факторов представлены на рис. 1 и 2.

Несмотря на планы Правительства Российской Федерации по цифровой трансформации строительной отрасли, городского и жилищно-коммунального хозяйства, в вузах все еще недостаточно используются цифровые инструменты для организации образовательного процесса, в связи с чем выпускаемые специалисты, занимая должности разных уровней, не в силах самостоятельно применять полученные знания.

В процессе опроса эксперты также выделили иные факторы: отсутствие нормативной и законодательной базы для применения цифровых технологий; низкий уровень технической поддержки; консервативные взгляды на проектирование; боязнь рисков со стороны руководителей; отсутствие комплексного представления у конечного потребителя, исполнителей и заказчиков о цифровых технологиях в отрасли, преимуществах и выгодах в среднесрочной и долгосрочной перспективе.

1★ - низкое влияние
10 ★- высокое влияние

51 ответ

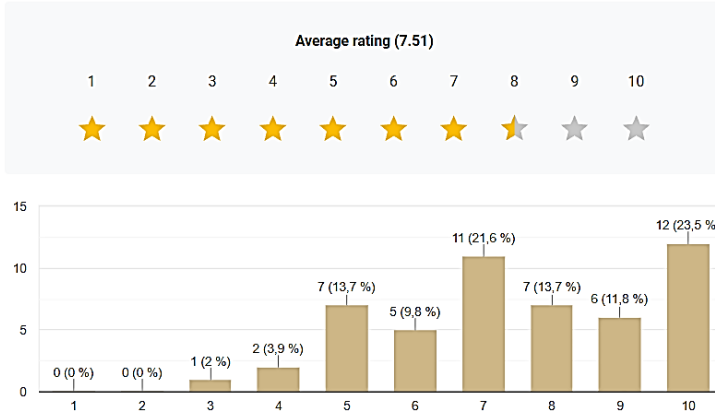


Рис. 1. Диаграмма распределения оценок степени влияния фактора «нехватка квалифицированных специалистов»

1★ - низкое влияние
10 ★- высокое влияние

51 ответ

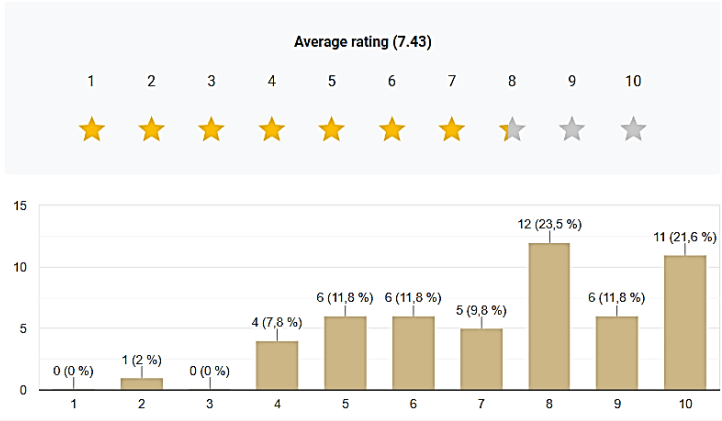


Рис. 2. Диаграмма распределения оценок степени влияния фактора «стоимость работ и оборудования»

Решениями для снятия данных ограничений могут служить: обучение персонала при помощи организации обучающих курсов и семинаров по работе с новыми технологиями и программным обеспечением; сотрудничество практиков строительного рынка с высшими учебными заведениями, подготавливающими будущих строителей и проектировщиков [4]; привлечение субсидий со стороны государства для ускорения цифровой трансформации строительства и сферы ЖКХ.

На основании проведенного исследования можно сделать вывод, что для внедрения цифровых технологий при реконструкции жилого фонда дореволюционной постройки необходимо комплексное представление и понимание всех участников строительства о цифровых технологиях, затратах (трудовых и финансовых) на их применение и выгодах в среднесрочной и долгосрочной перспективе. Несмотря на широкое применение ТИМ в новом строительстве, результаты информационной модели объекта используются, в основном, на этапе проектирования и строительства. Сформированная информационная модель может и должна использоваться на этапе эксплуатации объекта, что позволит проводить непрерывный мониторинг технического состояния здания, заносить данные об освидетельствовании строительных конструкций, инженерных сетей, текущем и капитальном ремонте здания [5]. Обязательным требованием также является сформированная нормативная база и требования к конечному продукту на законодательном уровне. Данные решения, помимо предохранения от непредвиденного удорожания строительно-монтажных работ, приведут к повышению культуры строительства в стране в целом.

Литература

1. *Субботин Е.В., Руденко А.А.* Факторы, влияющие на продолжительность строительства в стесненных условиях // Современные направления развития технологии, организации и экономики строительства. Сб. статей межвуз. научно-практ. конф. СПб. : Политех-ПРЕСС, 2024. С. 78–85. EDN: VFRQJG.

2. *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.

3. *Галиев И.Х., Ибрагимов Р.А.* Мониторинг реконструируемых зданий с использованием 3D-сканеров // Строительное производство. 2021. № 3. С. 19–26. DOI: 10.54950/26585340_2021_3_3. EDN: CNIKBB.

4. *Енауленко Н.В., Коробкова Т.А., Карманова М.М.* Опыт обучения технологиям информационного моделирования на примере разработки информационной модели жилого комплекса с использованием BIM-системы Renga // Информационное моделирование в задачах строительства и архитектуры : мат-лы VII Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб. : СПбГАСУ, 2024. С. 252–259. DOI: 10.23968/BIMAC.2024.034. EDN: YTQRPR.

5. *Пешеков М.С.* Обзор цифровых технологий для внедрения в организацию капитального ремонта жилого фонда дореволюционной постройки Санкт-Петербурга // Информационное моделирование в задачах строительства и архитектуры : мат-лы VII Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб. : СПбГАСУ, 2024. С. 363–369. DOI: 10.23968/BIMAC.2024.049. EDN: KUNBHJ.

УДК 004.6
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.054

Свинцов Степан Евгеньевич, аспирант
(Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I, АО «Институт «Стройпроект»)
E-mail: ssvintsov@stpr.ru, ORCID: 0009-0001-1170-6821

Svintsov Stepan Evgenievich, postgraduate student
(Emperor Alexander I St. Petersburg State
Transport University, Stroyproekt Engineering Group)

ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ СВЯЗИ МЕЖДУ ИНФОРМАЦИОННЫМИ И РАСЧЕТНЫМИ МОДЕЛЯМИ С ПОМОЩЬЮ ВНЕШНЕГО ИСТОЧНИКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

DYNAMIC LINK BETWEEN BUILDING INFORMATION MODELS (BIM) AND STRUCTURAL MODELS USING AN EXTERNAL SOURCE OF INITIAL DATA

В статье рассматривается вопрос возможности повышения производительности труда в строительной сфере за счет автоматизации процесса передачи данных между цифровыми информационными моделями и расчетными моделями при помощи их интеграции. Изучаются и сравниваются между собой различные варианты схем интеграции. Приводится анализ достоинств и недостатков каждой из приведенных схем. Подробнее рассматривается с точки зрения реализации наиболее оптимальная по результатам сравнения схема, предполагающая объединение моделей через внешний источник исходных данных. Рассматриваются возможные формы внешнего источника исходных данных. В качестве наиболее оптимальной формы выбрана среда визуального программирования.

Ключевые слова: Building information modeling (BIM), расчетные модели, интеграция, среда визуального программирования, цифровые информационные модели.

The article considers the possibility of increasing labor productivity in the construction industry by automating the process of data transfer between building information models (BIM) and structural models through their integration. Various options for integration schemes are studied and compared. An analysis of the advantages and disadvantages of each of the given schemes is provided. The most optimal scheme based on the comparison results, which involves combining models through an external source of initial data, is considered in more detail from the point of view of implementation.

Possible forms of an external source of initial data are considered. The visual programming environment is chosen as the most optimal form.

Keywords: Building information modeling (BIM), structural models, integration, visual programming environment, digital information models.

Строительная сфера является относительно нечувствительной к инновациям, что можно заметить, проследив рост производительности труда в строительстве относительно других сфер экономической деятельности во времени [1]. График производительности труда, демонстрирующий отставание строительной сферы относительно других секторов экономики в период с 2000 по 2022 год представлен на рис. 1.

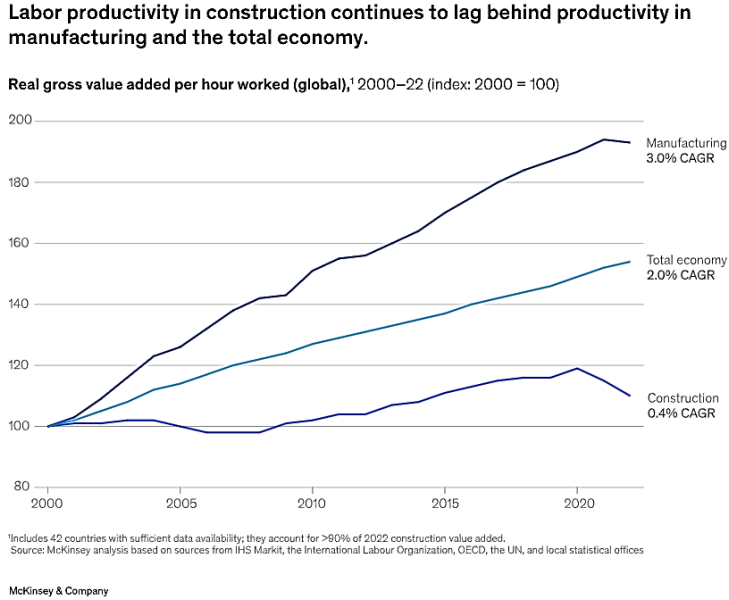


Рис. 1. График продуктивности в строительном секторе, производстве и других секторах экономики [3]

Значительным шагом вперед для строительства должно было стать применение и распространение технологий информационного моделирования (BIM), которое значительно ускорилось в последние десятилетия [5]. Применение BIM в строительных проектах увеличивает качество передаваемых данных и таким образом позволяет избежать многих

ошибок, связанных с недостаточностью или неактуальностью передаваемой информации, а также улучшить коммуникацию между участниками проекта и оптимизировать процессы, связанные с проектированием и строительством, кроме того BIM предоставляет значительные возможности для консолидации информации об объекте и его элементах, что оказывает поддержку участникам проекта в процессе принятия решений и, как следствие, повышает их качество [6, 7]. Тем не менее распространение BIM на данный момент не привело к значительному росту производительности труда в строительстве.

Возможности для консолидации информации и для увеличения скорости и качества передачи данных, тем не менее, не ограничиваются созданием и применением цифровых информационных моделей (ЦИМ) зданий и сооружений и информационных моделей объектов строительства. Следующим шагом в развитии BIM, которое может повысить продуктивность труда в строительстве, может стать развитие методов объединения информационных моделей с другими источниками данных об объектах, зданиях и сооружениях в их составе, а также автоматизация передачи данных. Значительным шагом в данном направлении могло бы стать осуществление динамической связи между ЦИМ и расчетными моделями на стадиях проектирования и эксплуатации.

Реализация данной динамической связи позволила бы сократить трудозатраты, требуемые для итерационной разработки, как расчетных, так и цифровых информационных моделей, а также позволило бы избежать ошибок моделирования, вызванных человеческим фактором. Как следствие, необходимо определить наиболее оптимальный способ осуществления данной связи и представить ее концептуальное описание, которое сможет стать основой для дальнейшей разработки соответствующего технического решения. Для решения данной задачи будут рассмотрены и проанализированы различные варианты осуществления связи между моделями, после чего наиболее оптимальный вариант, определенный по результатам сравнения, будет рассмотрен подробнее.

Идея осуществления динамической связи между расчетными и цифровыми информационными моделями существует относительно давно и различными участниками строительной отрасли предпринимались попытки создания подобной связи [2]. Ни одна из попыток на данный момент, тем не менее, не легла в основу создания общепринятого метода интеграции моделей.

Неудачи в части разработки универсального метода интеграции моделей связаны с рядом сложностей:

– различия в предпосылках, допущениях и упрощениях, принимающихся при создании информационных и расчетных моделей (а также между различными расчетными моделями);

– отсутствие поддержки открытых форматов обмена данными у большинства программ для расчета методом конечных элементов.

Тем не менее, учитывая потенциальные выгоды от осуществления интеграции расчетных моделей и ЦИМ, а также общую потребность строительной отрасли в автоматизации, поиск оптимального решения необходимо продолжить с учетом описанных сложностей.

Интеграция моделей может быть реализована одним из четырех способов:

1) Экспорт данных из ЦИМ в расчетную модель.

2) Экспорт данных из расчетной модели в ЦИМ.

3) Создание одной модели для расчета методом конечных элементов и информационного моделирования.

4) Создание связи между ЦИМ и расчетной моделями через внешний источник данных.

Первый способ интеграции представляется рациональным вследствие того, что в таком случае экспорт данных производится из более наполненной информацией модели в менее наполненную, что уменьшает необходимость в ручном дополнении и доработке передаваемых данных. Рациональность такого способа также подтверждается тем фактом, что в части программного обеспечения для информационного моделирования от отечественных и зарубежных вендоров уже сейчас в базовой комплектации предоставляется возможность экспорта моделей в различные расчетные комплексы. Для ряда программного обеспечения данный функционал реализован с помощью соответствующих плагинов.

Однако применение способа интеграции моделей, подразумевающего экспорт данных из цифровой информационной модели в расчетную на практике сопряжен с рядом технических и организационных трудностей и ограничений, которые снижают его эффективность: при применении данного способа интеграции моделей зачастую возникает необходимость осуществить доработку информационной модели, предназначенной для экспорта в расчетный комплекс, в связи с необходимостью отражения в ней специфических для расчетных моделей элементов, связей и атрибутов (например, в случае с моделью здания или сооружения может возникнуть необходимость создать фиктивные элементы для приложения к ним нагрузки, указать тип связей между соседними элементами, или указать расчетные характеристики материала элемента и т.п.),

что, соответственно, усложняет создание ЦИМ. Кроме того, применение данного метода приводит к насыщению ЦИМ лишней информацией, что усложняет любое последующее взаимодействие с ней. Также, необходимость определять расчетные параметры в процессе информационного моделирования приводит к переносу ответственности за создание расчетной модели на разработчиков ЦИМ, что в случаях разделения ролей на «конструкторов» и «расчетчиков» в рамках подразделения, или между подразделениями не является оптимальным. Данное препятствие, тем не менее, может быть отчасти преодолено с помощью применения ПО для информационного моделирования, имеющего функционал для осуществления совместной работы в едином пространстве модели, но подобный функционал реализован далеко не всегда.

Второй способ интеграции также имеет ряд преимуществ и ограничений. Интеграция моделей с передачей данных из расчетной модели позволяет автоматически наполнить цифровую информационную модель информацией о геометрии сооружения и его несущих конструкций, а также о материалах. Основным достоинством данного способа является отсутствие неопределенности в части принятых для расчетных моделей допущений и упрощений, свойственных первому способу интеграции, так как в данном случае именно расчетная модель создается первой и является источником информации.

Однако применение данного способа представляется нерациональным вследствие того, что информационная наполненность расчетной модели всегда ниже, нежели наполненность ЦИМ, что изначально ограничивает объем данных для передачи теми, что присутствуют в расчетной модели. Таким образом, переданных данных всегда будет недостаточно для наполнения ЦИМ, и она будет требовать значительной доработки, что противоречит одной из целей осуществления интеграции – автоматизации.

Третий способ интеграции имеет ряд общих черт с описанными выше, но отличается от них тем, что при его применении отсутствует процесс передачи данных из одной модели в другую, так как обе модели изначально разрабатываются в едином пространстве. В данном случае в рамках единой модели изначально консолидируются как пространственная, геометрическая и атрибутивная информация, так и исходные данные для расчета – нагрузки, свойства материалов, условия опирания, связи, типы элементов и т.д. Данный способ интеграции имеет ряд преимуществ перед описанными выше: при применении данного способа отсутствует необходимость наполнения моделей какими-либо дополнительными данными

после экспорта; применение данного способа позволяет сосредоточить наибольшее количество данных в едином пространстве.

Недостатком данного способа интеграции является необходимость постоянной координации действий большого количества участников разработки модели, что усложняет управление процессом создания модели на этапе проектирования. Тем не менее, основным препятствием перед применением данного способа интеграции являются ограничения доступного на данный момент программного обеспечения в части организации совместной работы пользователей и доступных инструментов, а также высокие требования к производительности рабочих станций для применения потенциального ПО, в рамках которого может быть реализован подобный подход к интеграции. Таким образом, осуществление интеграции моделей данным способом в настоящее время не представляется возможным.

Четвертый способ интеграции предполагает введение в процесс обмена данными между моделями дополнительного элемента – внешнего источника данных, который представляет собой интеграционную шину данных для расчетной модели и ЦИМ. Преимуществом данного способа является независимость моделей друг от друга при сохранении автоматизации их наполнения, а также гибкость в адаптации к нативным форматам моделей. Кроме того, применение подобного решения позволяет осуществить интеграцию не только непосредственно между расчетной моделью и соответствующей ЦИМ, но также реализовать обмен данными с другими источниками, например, с системой мониторинга здания или сооружения.

Важно также отметить, что в отличие от других представленных способов осуществления связи моделей, данный способ также предоставляет возможность осуществлять связь не только с ЦИМ, но и с информационной моделью (ИМ), которая содержит полный комплект документации по соответствующему сооружению и в которую из расчетной модели, помимо прочего, могут быть автоматически переданы результаты расчета.

Тем не менее данному способу интеграции также свойственен недостаток, а именно сложность разработки внешнего источника данных для моделей, а также адаптации его к применяемому ПО.

Сравнение вариантов реализации связи между расчетными моделями и ЦИМ в сокращенном варианте представлено в табл. 1, где описаны специфические для каждого из них преимущества и недостатки.

Таблица 1

Сравнение вариантов связи ЦИМ и расчетных моделей

Вариант связи	Преимущества	Недостатки
Экспорт данных из ЦИМ в расчетную модель	– достаточное количество данных для передачи в исходной модели; – наличие соответствующего функционала в ПО для разработки ЦИМ	– необходимость доработки ЦИМ для экспорта; – перенасыщение ЦИМ нерелевантной информацией; – размытие ответственности за создание расчетной модели и ЦИМ
Экспорт данных из расчетной модели в ЦИМ	– отсутствие неопределенности в части расчетных упрощений и допущений	– ограничение передаваемой информации, представленной в расчетной модели
Создание единой модели для расчета методом конечных элементов и информационного моделирования	– консолидация всей информации в едином цифровом пространстве; – отсутствует необходимость дополнения экспортированных данных	– усложнение организации работы, связанной с созданием моделей; – высокие требования к аппаратным и программным средствам
Создание связи между ЦИМ и расчетной моделями через внешний источник данных	– возможность гибкой адаптации под требования ПО; – возможности интеграции с дополнительными источниками данных для импорта и экспорта	– сложность разработки внешнего источника данных с требуемым функционалом

По результатам сравнения наиболее рациональным представляется применение для связи моделей внешнего источника данных. Предлагается рассмотреть способ интеграции с применением внешнего источника данных, а также особенности самого внешнего источника данных подробнее, определив его возможные формы и основные принципы передачи данных между моделями.

Внешний источник данных может быть представлен в различных формах, например в виде алгоритма, созданного в среде визуального программирования, в табличной или в текстовой форме, созданной в отдельной от моделей среде.

Внешний источник данных должен быть интегрирован с моделями для того, чтобы позволить в автоматическом режиме производить их создание и обновление в зависимости от задаваемых в нем данных.

Интеграция моделей с источником внешних данных при применении данного способа может быть выполнена параллельно. То есть, расчетная модель и ЦИМ не будут находиться в непосредственной зависимости друг от друга.

В рамках внешнего источника данных информация может быть условно разделена на три связанных между собой блока: блок исходных данных – используется для ввода общей информации о сооружении и используется в качестве основы для наполнения двух других блоков, блок создания информационной модели – используется для сортировки, корректировки и дополнения информации для создания информационной модели, блок создания расчетной модели – выполняет те же функции для расчетной модели. Общая схема устройства внешнего источника данных представлена на рис. 2.

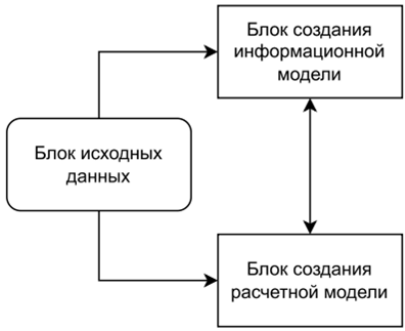


Рис. 2. Общая схема внешнего источника данных

Более детализированное представление схемы передачи информации в ЦИМ и расчетную модель в рамках внешнего источника данных представлено на основе двух примеров: опоры освещения, как варианта осуществления связи для которого не требуется передача в ЦИМ результатов расчета; главной балки пролетного строения моста, для которой возможно также осуществление непосредственной связи между моделями

путем передачи в ЦИМ или ИМ результатов расчета. Схемы представлены на рис. 3 и рис. 4, соответственно. В примерах представлен сокращенный набор исходных данных, который может быть расширен и дополнен при разработке и редактировании внешнего источника данных.

Применение внешнего источника данных в качестве связи между моделями отчасти решает вопрос автоматизации формирования расчетных моделей, ЦИМ и ИМ на этапах проектирования и строительства. Тем не менее, для этапа эксплуатации при применении данной схемы также возможна интеграция внешнего источника данных с системой мониторинга зданий и сооружений, что позволит обеспечить автоматическую передачу получаемых с помощью нее данных в соответствующие ИМ и расчетную модель.

В заключение необходимо отметить, что связь между расчетными и информационными моделями может стать важным элементом автоматизации в процессах, связанных со строительством, и ее разработка и применение могли бы позволить увеличить производительность труда на всех этапах жизненного цикла объекта строительства.

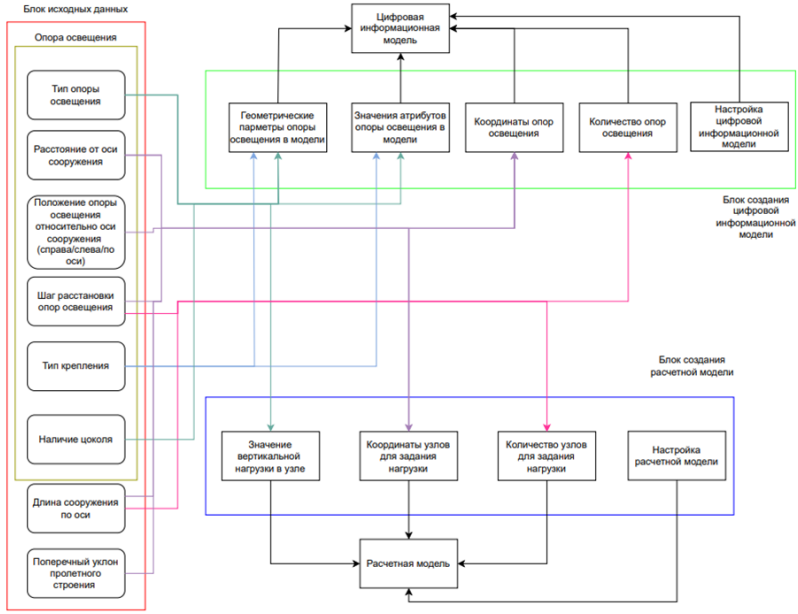


Рис. 3. Схема передачи данных во внешнем источнике для опор освещения

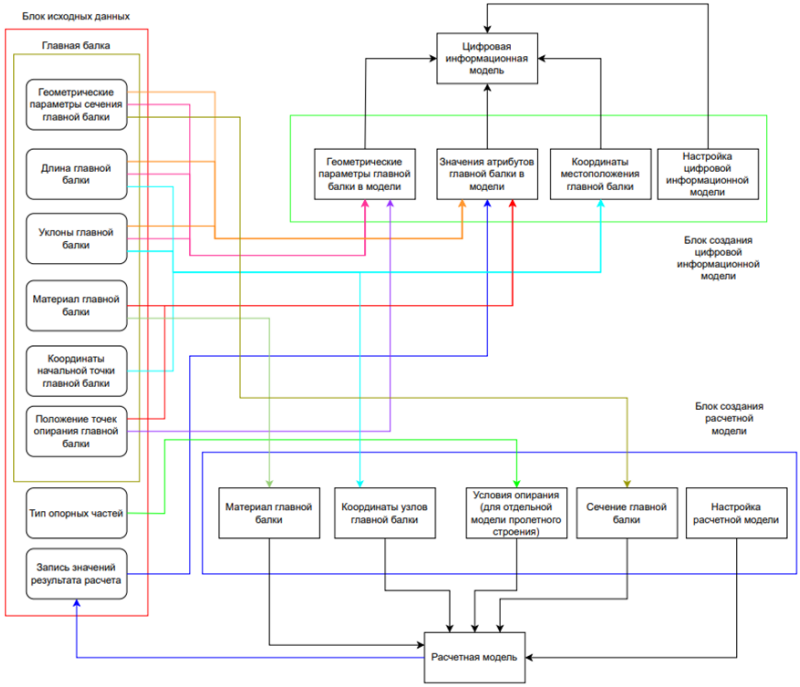


Рис. 4. Схема передачи данных во внешнем источнике для главной балки пролетного строения моста

Обеспечение связи между расчетными и информационными моделями возможно различными способами, наиболее перспективным для дальнейшей разработки из которых представляется реализация связи через внешний источник данных. В данной работе представлены описания и схемы, определяющие общие принципы связи моделей с применением внешнего источника данных. Для разработки системы связи моделей необходима дальнейшая проработка данного решения как на теоретическом, так и на техническом уровнях. Дальнейшая проработка связи моделей через внешний источник данных должна включать в себя определение необходимого набора исходных данных, их типов, форматов передачи, а также методов взаимодействия с программным обеспечением для создания ЦИМ, формирования ИМ и создания расчетных моделей, кроме того, необходима разработка соответствующего описанным

задачам источника внешних данных. В дальнейшем также необходимо рассмотреть вопросы получения набора исходных данных из систем мониторинга зданий или сооружений, что позволит эффективно применять данный метод не только на этапах проектирования и строительства, но и на этапе эксплуатации.

Литература

1. *Andersen B., Langlo J.A.* Productivity and performance measurement in the construction sector // WBC16 Proceedings: Volume IV. Understanding Impacts and Functioning of Different Solutions. Tampere: Tampere University of Technology, 2016. P. 497–510.

2. *Khungar H., Bhandari H.S.* Interoperability Between Building Information Modeling (BIM) and Structural Engineering // IOP Conference Series Earth and Environmental Science. 2023. Vol. 1193, No. 1. P. 012023. DOI: 10.1088/1755-1315/1193/1/012023. EDN: TZRKFT.

3. *Mischke J., Stokvis K., Vermeltfoort K., Biemans B.* Delivering on construction productivity is no longer optional. McKinsey & Company, 2024. URL: https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/delivering-on-construction-productivity-is-no-longer-optional#/.

4. *Monteiro A.* Visual Programming Language for Creating BIM Models with Level of Development 400 // São Paulo & Lisboa: 4th BIM International Conference. 2016.

5. *Padwal P.* Building Information Modeling (BIM) Market Size & Outlook // SNS Insider. 2024.

6. Оценка применения BIM-технологий в строительстве. Результаты исследования эффективности применения BIM-технологий в инвестиционно-строительных проектах российских компаний. URL: https://www.nopriz.ru/upload/iblock/2cc/4.7_bim_rf_otchot.pdf (дата обращения: 19.02.2025).

7. *Горохова Т.В.* BIM-Технологии в проектировании // Вестник магистратуры. 2022. № 2-2(125). С. 35–37. EDN: AHWUOW.

УДК 69.001.5
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.055

Сейтенов Руслан Ерланович, студент
(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)
E-mail: sejtenov.re@edu.spbstu.ru
Беляева Светлана Вячеславовна, ст. преподаватель
(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)
E-mail: belyaeva_sv@spbstu.ru, ORCID: 0000-0002-3981-973X

Seytenov Ruslan Erlanovich, student
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)
Belyaeva Svetlana Vyacheslavovna, senior lecturer
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ВНЕДРЕНИЕ АДДИТИВНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В РОССИИ

ANALYSIS OF FACTORS DETERMINING THE IMPLEMENTATION OF ADDITIVE CONSTRUCTION IN RUSSIA

В данной статье рассматриваются особенности аддитивного производства в строительной отрасли, а также его основные преимущества по сравнению с традиционными методами строительства. Произведен анализ ряда успешно выполненных объектов и сделаны выводы о факторах, влияющих на распространение данной технологии на территории России. В первую очередь – это экономическая целесообразность строительства и только потом устойчивое развитие и свобода в выборе форм. В статье приводятся расчёты стоимости строительства малоэтажного здания и возможные способы экономии при использовании аддитивного строительства на каждом из этапов возведения здания. Поиск новых форм и строительных конструкций совместно с применением BIM-технологий является одним из ключевых факторов на пути развития аддитивного строительства в России.

Ключевые слова: аддитивное строительство, 3D-печать зданий, малоэтажное строительство, BIM.

This article discusses the features of additive manufacturing in the construction industry, as well as its main advantages over traditional construction methods. A number of successfully completed projects are analyzed and conclusions are made about the factors influencing the spread of this technology in Russia. First of all, this is the economic feasibility of construction and only then sustainable development, and freedom in choosing forms. The article provides calculations of the cost of building a low-rise

building and possible ways to save money when using additive construction at each stage of building construction. The search for new forms and building structures together with the use of BIM technologies is one of the key factors in the development of additive construction in Russia.

Keywords: additive construction, additive manufacturing, 3D printing, low-rise construction, BIM.

Аддитивное строительство, или строительство с использованием 3D-печати, представляет собой новаторский подход к возведению зданий и сооружений. Эта технология позволяет строить более сложные геометрические структуры и сокращать общие затраты на строительство [1]. Мировые тенденции в аддитивном строительстве указывают на его быстрое развитие и интеграцию в строительную отрасль.

Целью данного исследования является анализ выполненных объектов с использованием 3D-печати и выявлением факторов, влияющих на распространение данной технологии на территории России.

Определяющими факторами в строительной отрасли являются эффективность, экономичность и долговечность возведенного сооружения. Применение аддитивного строительства представляет собой один из способов достижения этих целей.

В отличие от так называемого субстрактивного метода, при котором приходится обрезать часть материала, затрачивая лишнюю энергию и увеличивая отходы, аддитивный способ производств является энергетически более эффективным и позволяет использовать строительные отходы в составе печатающих смесей [1].

Эти базовые особенности аддитивного строительства в большей степени согласуются с современной концепцией устойчивого развития, призванной обеспечить удовлетворение потребностей настоящего без ущерба для возможностей будущих поколений. Этот подход направлен на то, чтобы сбалансировать экологические, экономические и социальные аспекты человеческой деятельности для долгосрочного процветания и стабильности общества и планеты в целом.

Технология аддитивного строительства зданий достаточно молода, но уже сейчас можно оценить её достоинства по успешно реализованным прототипам [2]. В России, как и в других странах наблюдается интерес в этой области, но на данный момент сектор аддитивного строительства представлен преимущественно небольшими компаниями, частными заказчиками и группами энтузиастов. Так, в 2022 г. в Республике Татарстан с помощью строительного 3D-принтера S300 фирмы AMT был напечатан посёлок из 34 домов (рис. 1).

Ещё один интересный прототип – капсула отдыха для «Газпромнефть-Снабжение» – Лабытнанги, ЯНАО, 2023 г. (рис. 1), это первое здание, напечатанное за полярным кругом [3].



Рис. 1. Примеры печати в России: *слева* – процесс печати посёлка в р. Татарстан; *справа* – капсула отдыха для «Газпромнефть-Снабжение» – Лабытнанги

Технологии уже более 20 лет, она всё ещё не получила повсеместного распространения. Хотя аддитивное строительство обладает множеством преимуществ, перед его широким распространением стоят определенные барьеры – отсутствие налаженных проектных навыков, высокая стоимость оборудования и строительных смесей, нормативные документы, регулирующие и контролирующие строительную печать, находятся в стадии развития. Для того чтобы 3D-печать нашла более широкое применение, необходимо разработать и ввести ряд нормативных документов, направленных на технологию, методов контроля качества строительной печати на начальном и конечном этапе и т.д.

В России становится популярным малоэтажное индивидуальное жилое строительство, в частности печать целых посёлков. Такой подход является максимально рентабельным, так как определяющим фактором развития аддитивного строительства является экономическая целесообразность. В первую очередь здание должно быть недорогим в производстве. Для того чтобы определить сколько стоит здание, напечатанное на 3D-принтере, нужно понять, с какими видами строительства его целесообразно сравнивать.

Для ориентира можно воспользоваться усредненной стоимостью квадратного метра «коробки здания», возводимого различными методами, (рис. 2) [4].

Рассмотрим возведение здания простой формы без отделки. Стоимость строительства такой коробки из дерева или каркасным методом начинается от 15 000 ₽/м². В случае использования кирпича и бетона,

стоимость аналогичного дома может достигать 25 000 ₽/м². 3D-печатные дома занимают нижнюю часть диапазона – до 20 000 ₽/м².



Рис. 2. Средняя стоимость 1 м² коробки здания [4]

Сравнение стоимости различных методов строительства показывает, что аддитивные технологии имеют экономические преимущества в сравнении с более сложными вариантами традиционного строительства, такими как кирпич, пенобетон, монолитный бетон, при этом не уступая по эксплуатационным характеристикам.

В целом, строительство дома включает в себя следующие виды работ: возведение фундамента, стен, перекрытий, кровли; облицовка фасада; отделочные работы и т.д. (рис. 3).

На рис. 3 видно, что наибольшую долю затрат на строительство дома занимают «коробка» и ее отделка, включая фундамент, стены, кровлю, перекрытия, лестницы и фасадную облицовку. Исходя из возможностей аддитивных технологий, эти элементы представляют собой потенциал для сокращения затрат.

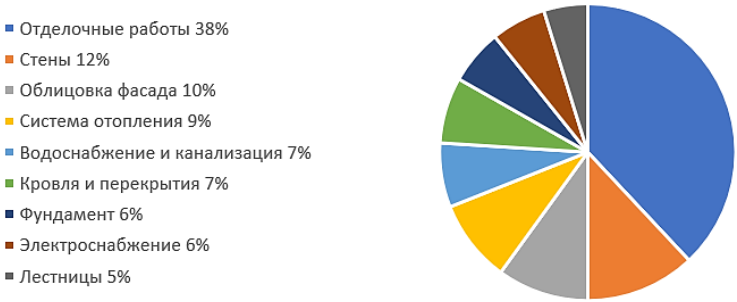


Рис. 3. Распределение затрат на строительство дома

Возведение стен с помощью 3D-печати уже сейчас демонстрирует эффективность и экономичность, напечатанные стены действуют как несъемная опалубка [5].

Фундаменты могут быть напечатаны с учётом особенностей рельефа, что позволяет сэкономить на их заливке, хотя это и не касается опор стоек принтера.

В процессе строительства одноэтажных домов использование 3D-печати позволяет избежать необходимости в межэтажных перекрытиях, что делает этот тип жилья особенно привлекательным.

Лестницы уже успешно печатаются, дизайн фасадной облицовки и внутренней отделки может быть учтён в проекте, что не только способствует экономии на работах, но может предложить более интересные дизайнерские решения в современных тенденциях. Применение декоративной печати можно наблюдать при строительстве капсулы отдыха для «Газпромнефть-Снабжение».

Печать кровли аддитивным методом связана с так называемой «проблемой нависаний» при печати, так как бетон будет падать из экструдера вниз. И эта задача является невыполнимой для аддитивного строительства на текущий момент, если брать во внимание технические аспекты печати.

Таким образом, для достижения комплексной экономии на этапах строительства требуется поиск новых архитектурных форм и технологий печати, позволяющих построить здание без традиционной кровли.

Из возможных решений можно выделить: печать отдельных блоков с последующим подъёмом и поворотом, печать с углом ниже угла критического нависания (куполоподобные конструкции). Изучение возможностей печати кровли может привести к неочевидным формам зданий, определенных математическими расчётами.

Строительство дома с использованием аддитивных технологий трудно представить без использования информационной модели здания, что позволяет учесть все аспекты на полном жизненном цикле здания, оптимизировать расходы на всех этапах, и достичь успешных результатов.

Подводя итоги, можно сказать, что в сфере аддитивного строительства существует ряд препятствий на пути широкого распространения этой технологии. Учитывая особенности рынка в России, можно сказать, что определяющим фактором внедрения на данный момент является экономическая целесообразность строительства.

Значительное распространение этой технологии в ближайшем будущем зависит от поиска новых форм, технологий печати и других

возможных способов комплексного снижения стоимости аддитивного строительства совместно с применением BIM-технологий.

Литература

1. *Максимов Н.М.* Аддитивные технологии в строительстве: оборудование и материалы // Аддитивные технологии. 2017. № 4. С. 54–62.

2. *Дребезгова М.Ю.* Современные аддитивные технологии в малоэтажном строительстве // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. № 6. С. 66–69. DOI: 10.12737/article_5926a0597879f0.60859363. EDN: YQPJLJ.

3. *Монастырев П.В., Мищенко Е.С., Азауи Дубла Б., Овсянникова В.А., Овсянников О.А.* Анализ технологий возведения зданий с помощью 3D-принтеров // Жилищное строительство. 2019. № 9. С. 53–59. DOI: 10.31659/0044-4472-2019-9-53-59. EDN: UTQAKR.

4. 3D-печать домов. Архитектурное бюро 3d4art: официальный сайт. URL: https://3d4art.ru/3d-pyechatь-doma-eez-byetona/ (дата обращения: 12.03.2025).

5. *Свинцов Е.В., Петренева О.В.* Строительные 3D-принтеры и их преимущества при использовании в малоэтажном строительстве // Архитектура, строительство, транспорт. 2023. № 2. С. 16–25. DOI: 10.31660/2782-232X-2023-2-16-25. EDN: NVWXAN.

УДК 69+004.9
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.056

Солдатенко Павел Владимирович, аспирант
(Самарский государственный экономический университет)
E-mail: soldatenko_vs@mail.ru, ORCID: 0009-0004-0200-5435

Soldatenko Pavel Vladimirovich, postgraduate student
(Samara State Economic University)

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ДЕВЕЛОПЕРСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

THE IMPACT OF INFORMATION MODELING TECHNOLOGIES ON ENSURING THE ECONOMIC SUSTAINABILITY OF A DEVELOPMENT ORGANIZATION

Внедрение и эффективное применение технологий информационного моделирования связано с необходимостью учета нескольких групп факторов, которые могут оказать влияние на экономическую устойчивость девелоперов. Предложено использовать сценарный метод при выборе вариантов внедрения и использования указанных инструментов. Оценивание уровней риска появления негативных ситуаций и уровней возможного ущерба от них осуществлено с помощью метода экспертного опроса. Целесообразность внедрения технологий информационного моделирования определена методом сравнения деятельности предприятия при наличии данных продуктов и при их отсутствии. Сформулированы направления дальнейших исследований по этой задаче.

Ключевые слова: девелоперская организация, экономическая устойчивость, экспертное оценивание, метод диаграмм.

The introduction and effective use of information modeling technologies is associated with the need to take into account several groups of factors that may affect the economic sustainability of developers. It is proposed to use the scenario method when choosing options for the implementation and use of these tools. The assessment of the risk levels of negative situations and the levels of possible damage from them was carried out using the expert survey method. The expediency of introducing information modeling technologies is determined by comparing the company's activities in the presence of these products and in their absence. The directions of further research on this task are formulated.

Keywords: development organization, economic sustainability, expert assessment, diagram method.

Строительная отрасль является одной из ведущих сфер экономической деятельности. В 2020–2022 гг. строительная отрасль показала высокий уровень устойчивости. Так, объем ежегодно вводимого в РФ жилья возрастал на 10 %. В настоящее время национальной экономике приходится развиваться в условиях санкционного давления и влияния внешних воздействий [1]. После введения санкций строительная отрасль одной из первых ощутила на себе их негативное воздействие, прежде всего, существенную зависимость производства стройматериалов от импортного оборудования (до 70 %) [2].

Девелоперские организации являются одними из наиболее значимых участников инвестиционно-строительной деятельности в стране. Эта роль определяется их целевыми задачами по системному сопровождению проекта – от его обоснования до организации эксплуатации построенного объекта. Важнейшим свойством девелоперской компании является ее экономическая устойчивость. Под эти термином в настоящей работе рассматривается способность девелоперской компании своевременно адаптироваться к внутренним и внешним изменениям среды функционирования при условии сохранения основных параметров экономического движения компании. Оперативность принятия необходимых и адекватных решений обусловлена использованием в деятельности девелоперских организаций современных программных продуктов, важнейшими из которых можно рассматривать ТИМ-инструменты. Поэтому является актуальной задача анализа влияния сложных и дорогостоящих ТИМ-продуктов на обеспечение экономической устойчивости девелоперской компании. Рассмотрение возможного подхода к решению этой задачи является целью настоящей работы.

Предметом рассмотрения является методика оценивания влияния на риск снижения экономической устойчивости девелопера факторов, связанных с особенностями использования ТИМ-инструментов. Под данным риском понимается средний ущерб, определяемый сочетанием вероятностей проявления негативно действующих факторов, обусловленных ТИМ-продуктом, и ущербов девелопера от этих воздействий. Рассмотрим описание указанных факторов ТИМ-инструментов. Условно их можно разделить на группы, представленные на схеме рис. 1.



Рис. 1. Факторы влияния ТИМ-продуктов на экономическую устойчивость девелопера

К основным организационным и кадровым факторам можно отнести следующие [3]: необходимость создания специализированного структурного подразделения или контрактного взаимодействия с внешней организацией; недостаток квалифицированных кадров, умеющих не только осуществлять девелоперскую деятельность, но и использовать цифровой инструментарий; нетривиальность цифровизации сложных технологий строительных процессов; высокая стоимость внедрения и некоторые другие. К финансовым факторам относятся увеличение сроков окупаемости ТИМ-инструментов в девелоперских организациях, а также затраты на их сопровождение. Санкционные факторы обусловлены уходом с российского рынка ТИМ-инструментов компаний, достаточно авторитетных в указанной области, к которым можно отнести Autodesk, Nemetschek, Tekla Structures и некоторые другие. Продолжение использования иностранного программного обеспечения без поддержки поставщиками имеет существенные негативные последствия [3]. Имеются и технологические факторы риска снижения экономической устойчивости девелопера при использовании рассматриваемых технологий. ТИМ-решения

представляют собой сложные программные комплексы, которые не избавлены от не выявленных дефектов, влияющих на формируемые с их помощью результаты [4]. Для борьбы с этими недостатками требуются специализированные программные продукты, стоимости приобретения и сопровождения которых достаточно высоки [5]. Это, в свою очередь, также влияет на конечные показатели экономической устойчивости девелоперских предприятий.

Известны различные пути обеспечения экономической устойчивости девелопмента. Снижение рисков девелоперских проектов может быть достигнуто, например, методами управления ими [6], учетом влияния нестабильности рынка на размер ликвидности девелопера [7], повышением конкурентоспособности девелопера [8], проведением политики управления портфелем проектов [9]. Однако в известных публикациях не анализируются ТИМ-инструменты, как необходимые элементы девелоперской деятельности. В данной работе предлагается рассматривать влияние ТИМ-решений на экономическую устойчивость девелоперской организации на основе метода сравнительного анализа риска снижения экономической устойчивости этой организации без использования ТИМ-инструментов и с их использованием [10]. При решении указанной задачи для каждого из факторов, представленных на рис. 1, предлагается использовать сценарный метод описания соответствующих действий девелопера [11]. Пример сценария для фактора «организация внедрения ТИМ-инструментов» представлен в табл. 1.

Таблица 1

Организация внедрения ТИМ-инструментов в девелоперской организации

Возможный сценарий	Способ реализации	Ожидаемый результат (уровень риска снижения экономической устойчивости)
Без изменения кадров	Самостоятельное изучение сотрудником ТИМ-продукта	Высокий
	Изучение сотрудником ТИМ-продукта на курсах	Высокий
Изменение кадров	Прием на работу ТИМ-менеджера	Допустимый
Привлечение сторонней организации	Внедрение на основе консалтинга поставщика программного обеспечения	Допустимый

Окончание табл. 1

Возможный сценарий	Способ реализации	Ожидаемый результат (уровень риска снижения экономической устойчивости)
Привлечение сторонней организации	Внедрение поставщиком программного обеспечения	Малый

Сформулированы типовые ситуации, при появлении которых возможно снижение экономической устойчивости девелоперской компании из-за использования ТИМ-продуктов. К ним относятся следующие:

Z1. Выбор варианта девелоперского проекта с неудовлетворительной эффективностью.

Z2. Выполнение сметных расчетов для строительной деятельности с неудовлетворительным качеством.

Z3. Неточности в проектировании объекта строительства.

Z4. Затруднения в определении дефектов проектной документации.

Z5. Низкий уровень контроля качества строительно-монтажных работ.

Z6. Несоблюдение сроков выполнения работ.

Z7. Возникновение простоев в связи с задержками поставок материалов.

Точные числовые значения уровней рассматриваемого риска (вероятности появления) для каждого из факторов и уровней ущерба от них получить, как правило, достаточно затруднительно. Поэтому предложено использовать метод экспертного опроса для оценивания указанных показателей. Введена пятибалльная шкала как для вероятности возникновения факторов риска, так и для уровня возможного ущерба от фактора риска снижения экономической устойчивости. Описание этих шкал приведено в табл. 2.

Таблица 2

Значения шкал вероятности и уровня воздействия факторов

Значение балла	Уровень вероятности	Уровень ущерба от фактора
1	Очень низкий	Несущественный
2	Низкий	Существенный
3	Средний	Допустимый

Окончание табл. 2

Значение балла	Уровень вероятности	Уровень ущерба от фактора
4	Высокий	Недопустимый
5	Очень высокий	Катастрофический

Для удобства анализа полученных при обработке экспертных данных результатов предложено использовать метод диаграмм. Примеры приведены на рис. 2 (вероятности действия факторов) и рис. 3 (значения уровней возможных ущербов от действия факторов).

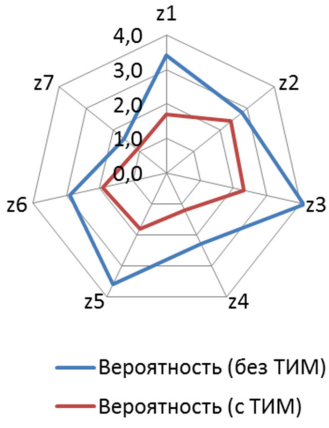


Рис. 2. Значения вероятностей ситуаций

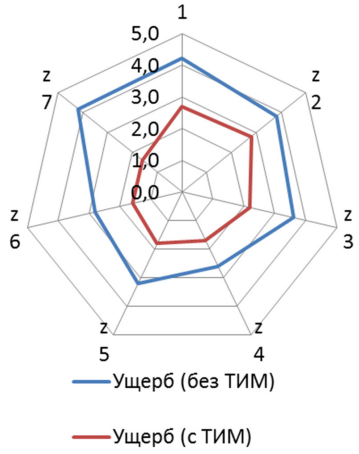


Рис. 3. Значения уровней ущербов от ситуаций

При экспертном опросе учитывались мнения пяти ведущих специалистов девелоперской компании «СЗ Развитие». Эти выводы использованы менеджментом компании при принятии решения о приобретении ТИМ-инструмента. Представленные результаты имеют частный характер. Специалисты других компаний могут получить иные результаты, исходя из своего анализа особенностей организаций. При развитии данной задачи целесообразно соотносить затраты на внедрение и применение ТИМ-продуктов с показателями экономической устойчивости девелоперской компании.

Таким образом, предложенный подход позволяет комплексно оценивать не только преимущества ТИМ-решений, но и их недостатки при поиске девелоперскими организациями путей противодействия риску снижения экономической устойчивости.

Литература

1. *Соболь Т.С., Шарай А.И.* Современное состояние экономики России в условиях санкций и перспективы ее развития // Вестник Московского университета имени С. Ю. Витте. Серия 1. Экономика и управление. 2023. № 1(44). С. 7–15. DOI: 10.21777/2587-554X-2023-1-7-15. EDN: CCASCJ.

2. *Бердникова В.Н., Гончарова Н.А., Афанасьев А.С.* Девелоперский бизнес в условиях новой экономической реальности: проблемы и перспективы // Вестник Самарского государственного экономического университета. 2023. № 4 (222). С. 64–71. DOI: 10.46554/1993-0453-2023-4-222-64-71. EDN: NCSBXU.

3. *Попов Д.В.* Преимущества и недостатки внедрения BIM-технологий в строительные организации // Universum: технические науки. 2024. № 3-2(120). С. 60–63. DOI: 10.32743/UniTech.2024.120.3.17032. EDN: CYBWTT.

4. *Расулов М.М.* Применение алгоритмов оценки надежности программного обеспечения на предприятиях ИТ-сферы // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. 2023. № 4. С. 163–170. DOI: 10.18137/RNU.V9187.23.04.P.163. EDN: JZUOZL.

5. *Савватеев А.* Larix.Manager – российское программное обеспечение для анализа и проверки BIM-моделей // САПР и графика. 2023. № 6. С. 9–11. EDN: GTJCQO.

6. *Мешкичев А.В.* Методологические подходы к управлению рисками при реализации девелоперских проектов // Экономика строительства. 2024. № 11. С. 361–363. EDN: ERQXPX.

7. *Тлешова А.Б.* Методика управления ликвидностью в инвестиционных проектах девелопмента в условиях нестабильного рынка // Universum: Экономика и юриспруденция. 2024. № 12-1(122). С. 14–20. DOI: 10.32743/UniLaw.2024.122.12.18789. EDN: WEOLVI.

8. *Пелешук П.А.* Стратегическое управление конкурентоспособностью девелоперских компаний в условиях трансформации спроса на недвижимость // Финансовые рынки и банки. 2024. № 4. С. 73–77. EDN: DGVTJF.

9. *Поликарпов С.В.* Особенности повышения эффективности в строительной сфере и девелопменте // Вестник науки. 2023. Т. 3, № 11(68). С. 120–126. EDN: BUGTGO.

10. *Шалина Д.С., Ларионова В.А.* Building information modeling (BIM) как способ снижения рисков удорожания стоимости проекта // Фундаментальные исследования. 2021. № 12. С. 215–222. DOI: 10.17513/fr.43179. EDN: QGNGVA.

11. *Елфимова А.Д., Кисель Т.Н.* Сценарии внедрения BIM: достоинства и недостатки // Российский экономический интернет-журнал. 2021. № 3. С. 10. EDN: YZXKVF.

УДК 69.04
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.057

Табакар Олеся Александровна, магистрант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: olesya.tabakar@mail.ru
Масёнене Александра Руслановна, ст. преподаватель
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: masenene.a.r@lan.spbgasu.ru

Tabakar Olesya Aleksandrovna, Master's degree student
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
Masyonene Aleksandra Ruslanovna, senior lecturer
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОГНЕЗАЩИТНОГО КОРОБА С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

MODELING A FIRE PROTECTION BOX USING INFORMATION MODELING TECHNOLOGY

В работе представлен процесс моделирования огнезащитных коробов с учетом функциональных и технологических особенностей в программном комплексе Revit. На примере разработки семейства крестовины рассмотрены основные принципы и правила, которых необходимо придерживаться для дальнейшей трассировки и моделирования огнезащитных конструкций. Проведен анализ категорий элементов, предложенных в Revit, с целью выбора наиболее оптимального решения для разработки семейств фитингов. Рассмотрена параметризация геометрических элементов с описанием управляющих параметров. Сделаны выводы о практической значимости моделирования трасс огнезащитных конструкций с использованием данного подхода.

Ключевые слова: технология информационного моделирования, Revit MEP, огнезащитные конструкции, электроснабжение, семейство.

The article presents the process of modeling fire protection boxes, taking into account the functional and technological features in the Revit software package. Using the example of developing a cross family, the main principles and rules that must be followed for further tracing and modeling of fire protection structures are considered.

The analysis of the categories of elements proposed in Revit is carried out in order to select the most optimal solution for developing families of fittings. The parameterization of geometric elements with a description of the control parameters is considered. Conclusions are made on the practical significance of modeling the routes of fire protection structures using this approach.

Keywords: Building Information Modeling, Revit MEP, fire protection structures, power supply, family.

Программное обеспечение Revit от зарубежной компании Autodesk включает в себя широкий функционал для организации и координации совместной работы специалистов технического профиля [1], в том числе инженеров раздела электроснабжения. В процессе разработки информационной модели здания, данные функции программы являются большим преимуществом для пользователей, так как позволяют достаточно быстро получать обновленную информацию от внешних моделей смежных сетей, разделять элементы с использованием рабочих наборов, выполнять мониторинг осей и уровней, что в результате оптимизирует процесс создания информационной модели.

Раздел электроснабжения и соответствующие ему подразделы проектируются с применением технологии информационного моделирования относительно недавно. В статьях [2, 3] авторы анализируют существующие методики работы с электротехническим разделом с помощью применения дополнительных программных обеспечений, расширяющих функционал Revit, и использования готовых шаблонов с библиотекой семейств от производителей. В статье [4] авторы акцентируют свое внимание на оптимизации процесса моделирования кабеленесущих конструкций в Revit с применением плагина «КНС Combitech» от компании ДКС.

Процесс моделирования огнезащитных коробов является не менее трудоемким процессом, так как в Revit MEP не предусмотрен специальный инструмент, соответствующий технологическим особенностям короба. На данный момент, самым популярным инструментов в данной области является плагин Teslabim [5], включающий инструмент моделирования огнезащитных коробов. Предлагаемое решение имеет ряд недостатков, связанных с трудоемкостью трассировки огнезащиты, отсутствием выбора перегородок и соответствующих им параметров, отсутствие поворотных, крестообразных и тройниковых секций.

Целью данной работы является исследование процесса моделирования огнезащитных коробов кабельных конструкций с применением технологии информационного моделирования. В рамках данной работы для достижения цели сформированы следующие задачи:

– анализ и выбор категории семейства огнезащиты для последующей разработки;

– разработка семейств фитингов, используемых для трассировки огнезащитного короба.

Огнестойкий кабельный короб – это короб, способный согласно ГОСТ Р 53316-2021[1] и СП 6.13130.2021[2] сохранять работоспособность (передавать электроэнергию или отдельные ее импульсы) проложенных в нём кабельных линий в условиях пожара в течение указанного времени. Короб состоит из огнестойких плит, монтажных элементов, крепёжных метизов и огнестойкого уплотнительного герметика.

В основе моделирования огнезащитных коробов является разработка набора компонентов, наполненных соответствующей визуальной и атрибутивной информацией, то есть семейств. В Autodesk Revit представлено большое количество категорий элементов, использующихся при разработке и использовании элементов в проекте. Категории помогают структурировать модель, корректно работать с данными в спецификациях, присваивать различные свойства элементам в зависимости от функционального назначения.

Все категории элементов можно условно разделить на несколько групп:

– архитектурные элементы (стены, окна, двери, перекрытия, крыши и т.д.);

– конструктивные элементы (несущая арматура, несущие колонны, балочные системы и т.д.);

– механические, электрические и сантехнические (MEP) элементы (воздуховоды, трубы, соединительные детали кабельных лотков, соединительные детали воздуховодов и т.д.);

– модели мебели и оборудования (мебель, оборудование, осветительные приборы).

В рамках моделирования семейств для использования в качестве огнезащиты был сделан выбор в пользу категории «Соединительные детали воздуховодов», так как данная категория имеет ряд преимуществ:

– возможность настройки трассировки с автоматическим проставлением фитингов;

---

[1] ГОСТ Р 53316–2021. Электропроводки. Сохранение работоспособности в условиях стандартного температурного режима пожара. Методы испытаний. М.: Российский институт стандартизации, 2021. 4 с.

[2] СП 6.13130.2021. Системы противопожарной защиты. Электроустановки низковольтные. Требования пожарной безопасности. Введ. 2021-10-06. М.: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2021. 2 с.

– категория предусматривает одинаковые фитинги отводов на вертикальных и горизонтальных участках;

– возможность автоматического расчета объема используемого материала.

Для автоматической трассировки огнезащитного короба необходимо разработать набор следующих фитингов (рис. 1):

– отвод;

– тройник;

– крестовина;

– переход;

– заглушка.

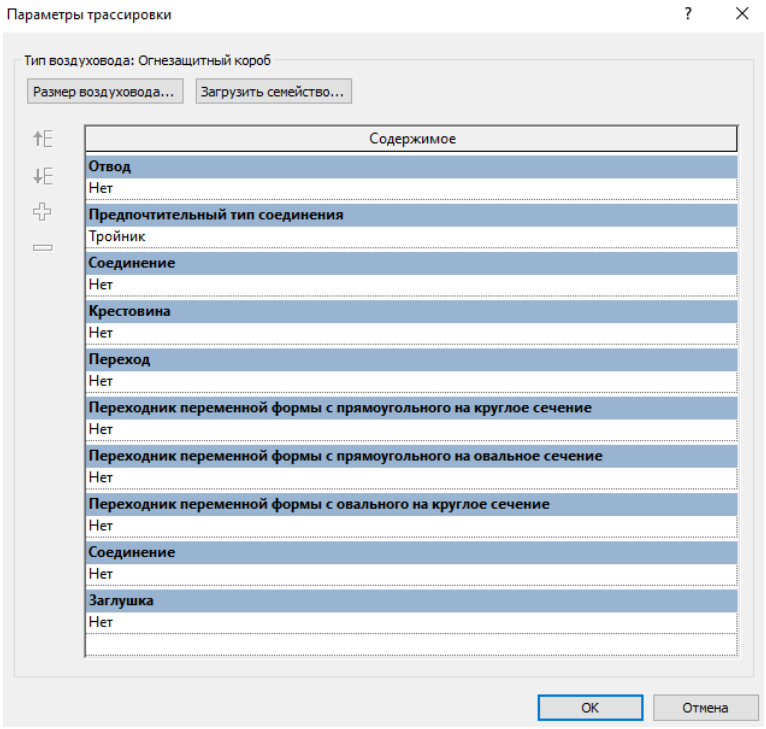


Рис. 1. Интерфейс незаполненных параметров трассировки

На примере разработки загружаемого семейства крестовины будут рассмотрены основные особенности при моделировании огнезащиты.

Крестовина представляет собой семейство категории «Соединительные детали воздуховодов» (рис. 2). Имеет тип детали – крестовина. Для настройки параметров трассировки в крестовине используются соединители, классифицирующиеся как фитинг. Данная классификация принята в использование в связи с тем, что при иной классификации автоматическая трассировка фитинга при работе с системными семействами будет недоступна.

В процессе моделирования семейство условно разделено на магистральную и ответвляющую части. Соответственно, для магистральной части применен первичный соединитель и выполнена их взаимосвязь. Следующим шагом были предусмотрены горизонтальные и вертикальные перегородки, так как зачастую несколько кабельных трасс проходят параллельно, и есть необходимость обшивать их одним коробом. Для перегородок настроена видимость, то есть пользователь в случае отсутствия необходимости с помощью параметров, перечисленных ниже, имеет возможность отключить видимость в модели:

– «Перегородка_1_Вертикальная_Видимость»;
– «Перегородка_2_Вертикальная_Видимость»;
– «Перегородка_Горизонтальная_Видимость».

Еще одной важной особенностью семейства крестовины является параметризация видимости верхней и нижней магистральной стенки (рис. 3). Предусмотрено это с возможностью монтажа короба под потолком.

Параметры «Ответвление_1_Смещение» и «Ответвление_2_Смещение регулируют положение ответвительных частей относительно магистральной (рис. 4).

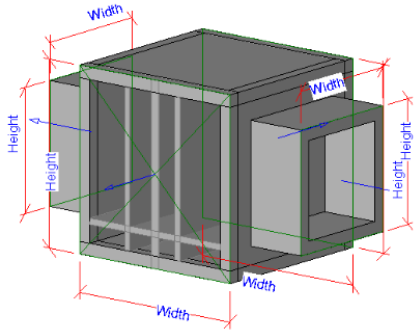


Рис. 2. 3D-вид прямоугольной крестовины

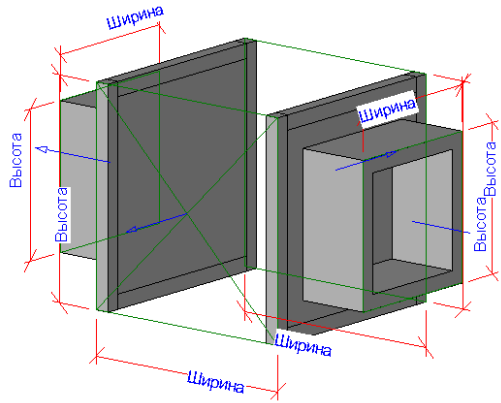


Рис. 3. Отключение видимости верхней и нижней граней

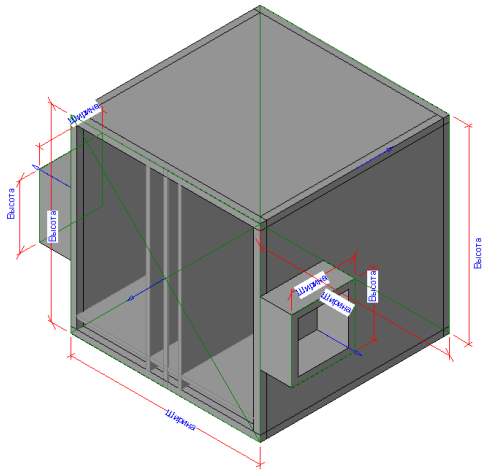


Рис. 4. Смещение ответвительных частей относительно середины

Следующие параметры (рис. 5) предусмотрены для возможности сдвига перегородок в пределах магистральной части короба (рис. 6):

– «Перегородка_Горизонтальная_Отступ»;
– «Перегородка_Вертикальная_1_Отступ»;
– «Перегородка_Вертикальная_2_Отступ».

Set			
ADSK_Размер_Толщина стенки	20.0	=	☐
Ответвление_1_Смещение (default)	0.0	=	☐
Ответвление_2_Смещение (default)	0.0	=	☐
Перегородка_Горизонтальная_Отступ (default)	30.0	=	☐
Перегородка_Вертикальная_1_Отступ (default)	50.0	=	☐
Перегородка_Вертикальная_2_Отступ (default)	50.0	=	☐
Перегородка_Толщина	10.0	=	☐
Магистраль_Стенка_Горизонтальная_Верхняя_Видимость (default)	☑	=	
Магистраль_Стенка_Горизонтальная_Нижняя_Видимость (default)	☑	=	
Перегородка_1_Вертикальная_Видимость (default)	☐	=	
Перегородка_2_Вертикальная_Видимость (default)	☐	=	
Перегородка_Горизонтальная_Видимость (default)	☐	=	
Graphics			

Рис. 5. Пользовательские параметры семейства прямоугольной крестовины

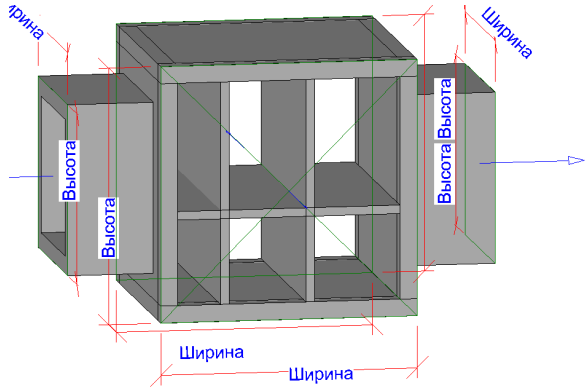


Рис. 6. Смещение перегородок на 3D-виде

Параметры «ADSK_Размер_Толщина стенки» и «Перегородка_Толщина» регулируют толщину стенок короба и перегородок соответственно.

Для каждого элемента фитинга производится вычисление площади, так как единица измерения огнезащитного полотна при закупке является м^2 (рис. 7). Расчет осуществляется поэлементно с учетом габаритов фитинга и толщин соответствующих элементов. Также такая методика позволяет учитывать последующее отключение граней и перегородок, что непосредственно влияет на реальное количество расходуемого материала на стадии монтажа.

Результаты расчета		
ADSK_Размер_Площадь (по умолчанию)	0.358	=if(Секция_Горизонтальная_Верхняя_Видимость, Секция_Горизонтальная_Верхняя_Видимость_Пл
Секция_Горизонтальная_Верхняя_Видимость_Площ	0.080	=Длина воздуховода 1 * (Перегородка_Секция_Горизонтальная_Отступ_Внутренний + Перегородк
Секция_Горизонтальная_Нижняя_Видимость_Площ	0.080	=Длина воздуховода 1 * (Перегородка_Секция_Горизонтальная_Отступ_Внутренний + Перегородк
Секция_Вертикальная_Внешняя_Видимость_Площад	0.099	=Длина воздуховода 1 * ADSK_Размер_Высота * 2
Секция_Вертикальная_Внутреняя_Видимость_Площ	0.099	=Длина воздуховода 1 * ADSK_Размер_Высота * 2
Перегородка_Вертикальная_Внешняя_Видимость_П	0.080	=Длина воздуховода 1 * (Перегородка_Вертикальная_Отступ_Вверх + Перегородка_Вертикальная_
Перегородка_Вертикальная_Внутренняя_Видимость	0.080	=Длина воздуховода 1 * (Перегородка_Вертикальная_Отступ_Вверх + Перегородка_Вертикальная_
Перегородка_Горизонтальная_Видимость_Площадь	0.080	=Длина воздуховода 1 * 2 * (Перегородка_Секция_Горизонтальная_Отступ_Внутренний + Перегор

Рис. 7. Расчет площади прямоугольного отвода в зависимости от конфигурации

Принцип моделирования фитинга крестовины для построения трассы огнезащитного короба, описанный выше, таким же образом применим к разработке остальных компонентов трассировки.

В работе описаны особенности моделирования огнезащитного короба с применением технологии информационного моделирования. На примере исследования семейства фитинга крестовины, необходимой для трассировки, рассмотрены основные принципы работы с геометрической проработкой и информационной наполненностью элемента. В результате моделирования огнезащитных трасс с использованием разработанных семейств, инженер получает количественную величину площади используемого материала с учетом специфики монтажа, необходимую для расчета стоимости материала. Более того, данный подход позволяет получить более достоверный цифровой аналог огнезащитных конструкций.

Литература

1. *Шипелев И.Л., Аверин В.Э., Нелюдимов А.Д.* О преимуществах и недостатках при работе с ПК Autodesk Revit // Новые идеи нового века : мат-лы Междунар. науч. конф. ФАД ТОГУ. 2023. Т. 1. С. 409–414. EDN: ZCLHOR.

2. *Епишкин А.Е., Курмелев Д.А.* Анализ методов построения систем электроснабжения в Revit // Инженерный вестник Дона. 2023. № 5(101). С. 26–34. EDN: KBOMCU.

3. *Челышков П.Д., Бражников П.А.* Решение расчетных электротехнических задач при проектировании систем электроснабжения в Revit // Системотехника строительства. Киберфизические строительные системы : сб. мат-лов семинара, проводимого в рамках VI Междунар. научн. конф. М. : НИУ МГСУ, 2018. С. 16–19. EDN: VKVHYG.

4. *Епишкин А.Е., Курмелев Д.А., Иванов А.Д.* Моделирование кабеленесущих систем в Revit // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : мат-лы VI Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб. : СПбГАСУ, 2023. С. 149–156. DOI: 10.23968/BIMAC.2023.021. EDN: BNYNNO.

5. Плагин «КНС Combitech». URL: https://teslabim.ru/?ysclid=m74p70ggqe33548805. (дата обращения: 12.02.2025).

УДК 69.002.5+007.52
DOI: 10.23968/BIMAC.2025.058

Шлыков Константин Олегович, аспирант, ассистент
(Уральский федеральный университет имени
первого президента России Б.Н. Ельцина)
E-mail: constantine.shlykov@gmail.com

Shlykov Konstantin Olegovich, postgraduate student, assistant lecturer
(Ural Federal University named after the first
President of Russia B.N. Yeltsin)

АДАПТИВНОСТЬ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ИНФОРМАЦИОННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ

ADAPTABILITY OF ROBOTIC CONSTRUCTION PROCESSES USING INFORMATION MODELING

Рассмотрены случаи использования технологий информационного моделирования (ТИМ) при обеспечении адаптивности роботизированных строительных процессов, определены геометрические и семантические данные, алгоритм, используемое аппаратное оборудование в разных сценариях. Описаны характеристики адаптивности робототехники, выделены требования, которые могут быть удовлетворены при помощи внедрения ТИМ. При рассмотрении концепций установлено, что «динамическая» и «активная» концепция управления информационным потоком жизненного цикла ТИМ являются наиболее подходящими для обеспечения адаптивности строительных роботов. Значимыми будущими исследованиями являются переход от симуляции к реальной среде, исследование монолитного строительства, отделочных работ, а также исследование применения роботизации совместно с ТИМ на более сложных геометрических формах.

Ключевые слова: строительство, робот, адаптивность, технологии информационного моделирования, автоматизация.

The article considers the cases of using building information modelling (BIM) to ensure the adaptability of robotic construction processes, defines geometric and semantic data, algorithm, and the hardware used in different scenarios. The characteristics of robotics adaptability are described, and the requirements that can be met by implementing BIM are highlighted. When considering the concepts, it was found that the “dynamic” and “active” concepts of managing the information flow of the BIM life cycle are the most suitable for ensuring the adaptability of construction robots. Significant future research includes the transition from simulation to a real environment, the study of

monolithic construction, finishing works, and the study of the use of robotics together with BIM on more complex geometric shapes.

Keywords: construction, robot, adaptability, building information modelling, automation.

Строительство является одной из важнейших отраслей, обеспечивающих 6,6 % мирового внутреннего валового продукта. Вместе с тем, данная отрасль остается слабо развитой по уровню автоматизации и роботизации по сравнению с промышленностью: среднее количество роботов в промышленности составляет 162 единицы на 10000 рабочих против 1,2 единицы на 10000 рабочих[1] в строительстве.

Одним из драйверов роста внедрения автоматизации и роботизации строительства является активное применение технологий информационного моделирования (ТИМ), что обеспечивает улучшение коммуникации и снижение числа ошибок среди участников инвестиционно-строительного процесса [1].

В линейном процессе инвестиционно-строительного проекта важно внедрение инноваций, таких как применение робототехники в строительстве и современных средств проектирования в проектно-изыскательской деятельности [2]. Применение роботизированных систем позволяет экономить время на транспортных операциях в 2–3 раза, увеличить скорость и производительность монтажных машин в 5–6 раз, особенно в условиях отрицательных температур [3].

Одним из возможных катализаторов активного внедрения робототехники в строительство может являться разработка и применение «адаптивных» роботов, которые могут подстраиваться под изменяющиеся задачи и окружающую среду.

Цель исследования: обзор применения ТИМ для обеспечения адаптивности роботизированных строительных процессов.

Задачи исследования:

1. Сопоставить характеристики адаптивности робототехники и ТИМ.

2. Определить ключевые методы управления информационным потоком жизненного цикла ТИМ.

3. Провести системный анализ применения ТИМ по признакам: строительный процесс, последовательность действий, аппаратное обеспечение, геометрические и семантические данные.

4. Определить направления для будущих исследований.

[1] URL: https://think.ing.com/articles/european-builders-frontrunners-in-robotics/ (дата обращения: 13.02.2025).

Концептуально в работе [4] характеристики адаптивности робототехники описаны в виде таксономии, представленной на рис. 1.



Рис. 1. Характеристики адаптивной робототехники (переведено из [4])

ТИМ позволяет получать набор геометрических и семантических данных различного уровня детализации, позволяющий удовлетворить эти два требования: качество данных и представление особенностей среды [4].

При интеграции ТИМ в строительные процессы с применением роботов важен информационный поток от исходных данных проекта до передачи в виде задания на выполнение конкретному строительному роботу.

В литературе различают две концепции, связанные с управлением информационным потоком жизненного цикла ТИМ [5]:

1. «Статический/динамический» – в первом случае информация не меняется по типу и содержанию после ее создания. Во втором случае информация постоянно обновляется.

2. «Пассивный/активный» – в первом случае поведение жизненного цикла объекта (информационная модель) определяется действиями человека (субъекта). Во втором случае объект обладает самостоятельностью в рамках набора предопределенных механизмов, а субъект одобряет, проверяет или вмешивается в процесс.

Динамический и активный подходы способствуют приближению к уровню максимальной автономности и адаптивности строительных роботов.

Примеры информационных моделей (далее – ИМ) представлены на рис. 2. Сбор данных ИМ осуществлялся при помощи формата IFC. В табл. 1 приведены некоторые направления применения ТИМ для автоматизации и роботизации строительства.

Таблица 1

Направления применения ТИМ для автоматизации и роботизации строительства

Применение	Краткое описание действий	Тип робота	Геометрические данные	Семантические данные
Сборка строительных конструкций в заводских условиях (на примере деревянных панелей) [6]	– подготовка данных из ИМ; – выбор робота, подходящего по характеристикам; – создание симуляции; – определение операций и контроля робота; – симуляция процесса и оценка	роботизированная рука, параллельный захват, гвоздомет, конвейер	– координаты элементов; – местные оси элементов; – размеры элемента (ширина, длина, высота); – центр тяжести (центроид элемента); – направление местной оси	– тип элемента (ригели, стойки); – масса элементов
Сварочные работы (на примере сварной балки – двутавра) [7]	– подготовка данных из ИМ; – генерация карт движения робота; – калибрация балки для обеспечения доступа робота; – генерация программы и контроль	робот-сварщик с модулем дополненной реальности	– размеры элемента; – расположение свариваемых элементов (ребро жесткости, стенка, полка)	– порядок свариваемых элементов

Продолжение табл. 1

Применение	Краткое описание действий	Тип робота	Геометрические данные	Семантические данные
Мониторинг процесса строительства (на примере сооружения для очистки воды) [8]	– построение карты движения на основе ИМ; – планирование сканирования; – генерация траектории и управление полетом	беспилотный летательный аппарат со сканером LiDAR	– полигональное облако точек	– форма объекта; – коэффициент масштаба; – коэффициент покрытия; – коэффициент безопасности
Локализация объектов в неизвестной среде [9]	– поиск информации из ИМ; – обучение детектора объектов; – первичная локализация; – разработка стратегии принятия решений роботом; – уточнение локализации	автономный робот для мониторинга	– размеры элемента; – направление нормали плоскости	– уникальный идентификатор элемента; – категория элемента
Планирование задач робота – создание узла для связи между ИМ и роботом	– подготовка данных из ИМ; – инициализация узла для связи;	мобильный робот с роботизированной рукой	– размеры элемента	– имя действия (перенос, установка и т.д.); – масса элемента;

для установки колонн [10]	– генерация в узле и координация робота			– уникальный идентификатор; – технические характеристики робота
3D-печать [11]	– подготовка данных из ИМ; – оптимизация пути; – генерация команд для печати	робот для печати	– размеры элемента; – разбивка по слоям; – параметры площадки	– спецификация материалов; – свойства робота

а) *б*)

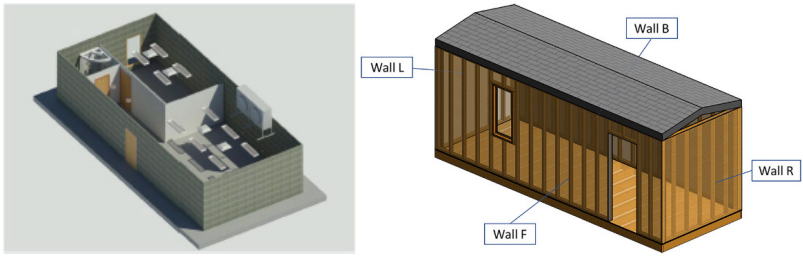


Рис. 2. *а* – 3D-модель здания для печати при помощи робота; *б* – 3D-модель здания для сборки строительных конструкций в заводских условиях

Можно сделать следующие выводы:

1. Операции планирования, мониторинга и локализации робота требуют меньшего количества семантических данных. Для строительных процессов они важны для выбора робота, точности идентификации.

2. Строительно-монтажные работы описаны применимо к сборке зданий с высокой заводской готовностью. Необходимо рассмотреть монолитное строительство, отделочные работы и проанализировать перечень данных, требуемых из ИМ.

3. Необходимы исследования в условиях строительной площадки при известной проблеме перехода от симуляции к реальной среде.

4. Строительные процессы рассмотрены как плоская геометрическая задача. Необходим переход к более сложным формам.

Исследование этих вопросов позволит улучшить характеристики адаптивности роботов, повысить технологичность автоматизированных роботизированных процессов, и снизить затраты на возведение здания.

Литература

1. *Chen Q., García De Soto B., Adey B.T.* Construction automation: Research areas, industry concerns and suggestions for advancement // Automation in Construction. 2018. Vol. 94. P. 22–38. DOI: 10.1016/j.autcon.2018.05.028.

2. *Асаул А.Н., Заварин Д.А., Иванов С.Н.* Основные направления формирования экономических эффектов от внедрения инноваций в инвестиционно-строительный цикл // Вестник гражданских инженеров. 2015. № 3(50). С. 254–261. EDN: TZHMUV.

3. *Сычев С.А.* Высокотехнологичные, энергоэффективные и адаптивные (роботизированные) системы для строительства в сложных климатических условиях // Жилищное строительство. 2019. № 8. С. 26–34. DOI: 10.31659/0044-4472-2019-8-26-34. EDN: GVWLQF.

4. *Soufi Enayati A.M., Zhang Z., Najjaran H.* A methodical interpretation of adaptive robotics: Study and reformulation // Neurocomputing. 2022. Vol. 512. P. 381–397. DOI: 10.1016/j.neucom.2022.09.114. EDN: PDRPQV.

5. *Zhang J., Luo H., Xu J.* Towards fully BIM-enabled building automation and robotics: A perspective of lifecycle information flow // Computers in Industry. 2022. Vol. 135. P. 103570. DOI: 10.1016/j.compind.2021.103570. EDN: UJGMFA.

6. *Wong Chong O. Zhang J., Voyles R.M., Min B.Ch.* BIM-based simulation of construction robotics in the assembly process of wood frames // Automation in Construction. 2022. Vol. 137. P. 104194. DOI: 10.1016/j.autcon.2022.104194. EDN: UEUIDO.

7. *Tavares P., Costa C.M., Rocha L., Malaca P., Costa P., Moreira A.P., Sousa A., Veiga G.* Collaborative Welding System using BIM for Robotic Reprogramming and Spatial Augmented Reality // Automation in Construction. 2019. Vol. 106. P. 102825. DOI: 10.1016/j.autcon.2019.04.020.

8. *Song C., Chen Z., Wang K., Luo H., Cheng J.C.P.* BIM-supported scan and flight planning for fully autonomous LiDAR-carrying UAVs // Automation in Construction. 2022. Vol. 142. P. 104533. DOI: 10.1016/j.autcon.2022.104533. EDN: ZRFVXC.

9. *Zhao X., Cheah C.C.* BIM-based indoor mobile robot initialization for construction automation using object detection // Automation in Construction. 2023. Vol. 146. P. 104647. DOI: 10.1016/j.autcon.2022.104647. EDN: UQMJWX.

10. *Zhu A., Pauwels P., Torta E.* Data linking and interaction between BIM and robotic operating system (ROS) for flexible construction planning // Automation in Construction. 2024. Vol. 163. P. 105426. DOI: 10.1016/j.autcon.2024.105426. EDN: UDTQFF.

11. *Davtalab O., Kazemian A., Khoshnevis B.* Perspectives on a BIM-integrated software platform for robotic construction through Contour Crafting // Automation in Construction. 2018. Vol. 89. P. 13–23. DOI: 10.1016/j.autcon.2018.01.006.

Содержание

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТИМ (BIM)

Qais A.A.Q., Thabit helal T. A., Kotlyarevskaya A. V.
BIM Adoption in Lightweight Construction 3

Romanovich M. A., Nuhu A. N., Dahiru U. M.
Adoption of BIM as Emerging Trend in Nigeria Construction Industry 9

Романович М. А., Ткаченко О. Е.
Применение 4D-моделирования при контроле сроков строительства:
анализ мирового и отечественного опыта 14

Хапин А. В., Махиев Б. Е., Кенетбаев Б. С.
Примеры применения цифровых технологий
при натурных обследованиях зданий и сооружений 20

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗДАНИЙ

Адам Л. А.
Необходимость создания цифровых двойников городов
для устойчивого развития общества 27

Алпатов В. Ю., Алпатов Ар. В., Алпатов Ан. В.
Применение BIM-технологии при инженерном обследовании
для решения задачи оценки технического состояния
здания подземного паркинга. 35

Белоусов М. Ю., Конюшков В. В.
Представление результатов инженерно-экологических изысканий
в виде цифровой информационной модели. 44

Болдырев Г. Г.
Информационное моделирование в геотехнике 52

Воднев Б. С., Воднева В. С., Гныря А. И.
Уровни зрелости BIM в строительной отрасли Томской области:
анализ и перспективы 64

Заторский С. П., Шумилов К. А.
Использование расчетной прогностической модели
для проектирования префаб-модулей 70

Згода Ю. Н.
Перспективы развития технологий информационного моделирования зданий и сооружений через наложение ограничений. 79

Золотова М. В., Токунова Г. Ф.
Стратегические подходы к внедрению технологий информационного моделирования в систему гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций. 85

Исупов Н. С., Фомин Н. И.
Основные проблемы в работе с файлами формата STL при подсчете объема материала по облаку точек. 91

Кабайлов Д. Д., Наместников А. М.
Подготовка и анализ данных для классификации элементов цифровых информационных моделей 97

Каракозова И. В.
Электронная библиотека свойств строительных машин и механизмов 102

Карелин Д. В., Тырышкина М. С.
Обзор цифровых инструментов для анализа и разработки проектных решений благоустройства 108

Комарова М. Н.
3D-сканирование и 3D-печать как информационные технологии в архитектурной реставрации. 116

Конопацкий Е. В., Безсольнов М. В., Чучмар Н. Д.
Геометрическое представление элементов строительных конструкций в формате IFC 122

Максимова С. В., Райзих Е. В., Семина А. Е.
Метод определения основного цвета фасада здания с применением нейронных сетей 129

Морозов С. В., Шуткин В. Н., Гринченко А. И.
Открытые сервисы верификации и валидации цифровых информационных моделей в архитектуре и строительстве. 135

Романович М. А., Спиридонова Е. В.
Разработка схемы планировочной организации земельного участка с применением 4D-моделирования 145

Сайфутдинов Д. Р.
Метод децентрализации и автоматизации назначения
классификатора строительной информации 151

Семенов В. А., Аришин С. В., Зорин Е. М.
Перспективный российский формат IDS++
для машинно-интерпретируемых требований
в архитектуре и строительстве 158

Телемаков М. И., Бузало Н. А.
Снижение воздействия ветровых нагрузок на высотные здания
путем оптимизации контура фасада с использованием технологий
информационного моделирования 166

ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТИМ (BIM)

Алпатов В. Ю., Ильдияров Е. В., Алпатов А. В.
Применение BIM-технологий для решения задачи
организации работ по замене тяжелого теплообменника
печи действующего предприятия 176

Белова В. А., Бовтеев С. В.
Применение технологии лазерного сканирования объектов
с помощью робособак в целях 4D-моделирования реконструкции 186

Вин К. М. Т.
Особенности параметрического моделирования в технологии BIM
для проектирования транспортных объектов 194

Ивянский А. М., Лавреняк С. Н., Горинский М. Е.
Сметно-нормативные базы и технология информационного
моделирования – путь навстречу 200

Кизченко А. А., Семенов А. А.
Разработка скрипта в Dynamo для определения
освещенности помещений 210

Клековкин Е. А., Тарануха Н. Л.
Учет собственного веса стержневых стальных несущих
конструкций в информационной модели при интегрированном
алгоритмическом проектировании 217

Кондратьев С. О., Бакусов П. А.
Интеграция результатов геотехнического мониторинга
в информационную модель здания. 226

Кузнецов Д. Н., Кузнецов И. А.
Моделирование решетчатых покрытий синусоидального вида 234

Мазняк Е. В.
Применение технологии информационного моделирования
ландшафтов на примере благоустройства территории
жилого комплекса. 241

Максимова С. В., Полыгалова А. А., Белякова Д. П.
Нейросетевое 3D-моделирование памятника архитектуры
по фотографии 250

Осипова О. Н., Пономаренко А. Д., Скиба А. А.
Определение целесообразности создания BIM-модели здания
на этапе обследования 259

Ромашкина Ю. Э., Копейкин А. Б.
Применение технологии лазерного сканирования
на строительной площадке для определения объема земляных масс. 265

Семина А. Е., Кривелева Э. Ш.
3D-моделирование декоративных элементов объектов
культурного наследия А. Б. Турчевича с использованием нейросетей. 272

Сорокин В. В., Конюшков В. В.
Применение информационного моделирования
при реконструкции объектов метрополитена 280

Чумакова Е. А., Стрелец К. И.
Методика автоматизации проектирования поверхностей
ограничения препятствий посадочных площадок для вертолетов 288

Яковлев П. С., Астафьева Н. С.
Применение параметрического моделирования
для определения нагрузок на балочные системы 296

ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ, ВЛАДЕЮЩИХ ТИМ (BIM)

Баженова Е. А., Самодурова Ю. П., Воронцова Н. С.
Особенности взаимодействия специалистов проектных групп
в среде информационного моделирования 302

Захарова Г. Б.
Формирование ИТ-компетенций у студентов-архитекторов
через участие в научно-исследовательской лаборатории. 310

Карманова М. М., Машкин О. В., Шестеров М. А.
Методика обучения инженеров-строителей разработке скриптов
для Renga на языке Python 316

Ращепкин А. А.
Технологии VR в образовательном процессе и при работе
с BIM-моделями 325

ДОКЛАДЫ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

Баденко Г. В., Мохирева А. О., Карташов М. А.
Автоматизация построения онтологий для представления
нормативных документов в промышленно-гражданском
строительстве с применением нейросетей 330

Байдина И. А.
Методика автоматизации проектирования путем
написания плагинов для наполнения информационной
модели атрибутивной информацией 338

Володин Д. С., Нижегородцев Д. В.
Интеграция BIM-технологий в архитектурные решения метрополитенов:
практический опыт проектирования в структуре мегаполиса. 348

Ворожцов Г. Д., Букунова О. В.
Разработка программы для расчета теплопотерь
здания с использованием Dynamo 355

Джураев Ф. М.
Расчет объема утеплителя в зонах пересечения
инженерных и строительных элементов
в среде информационного моделирования 363

Елисеев Е. А.
О возможностях технологии BIM для автоматизации
проектирования мостовых сооружений. 372

Зайкова Е. А.
Современные методы анализа и устранения коллизий
при проектировании металлических конструкций. 380

Иващенкова Ю. А.
Возможности интеграции технологии информационного моделирования и геоинформационных систем 387

Пешеков М. С.
Оценка целесообразности применения цифровых технологий в организации работ по реконструкции жилого фонда дореволюционной постройки 395

Свинцов С. Е.
Осуществление динамической связи между информационными и расчетными моделями с помощью внешнего источника исходных данных 402

Сейтенов Р. Е., Беляева С. В.
Анализ факторов, определяющих внедрение аддитивного строительства в России 413

Солдатенко П. В.
Влияние технологий информационного моделирования на обеспечение экономической устойчивости девелоперской организации 419

Табакар О. А., Масёнене А. Р.
Моделирование огнезащитного короба с применением технологии информационного моделирования 426

Шлыков К. О.
Адаптивность роботизированных строительных процессов при информационном моделировании 434

Научное издание

ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
В ЗАДАЧАХ СТРОИТЕЛЬСТВА
И АРХИТЕКТУРЫ

Материалы VIII Международной научно-практической конференции

BIMAC 2025

Компьютерная верстка *В. С. Весниной*

Подписано к печати 16.04.2025. Формат 60×84 $^{1}/_{16}$. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 26,0. Тираж 300 экз. Заказ 43. «С» 22.
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.